

**T.C
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2 BOYUTLU NESNELERE BİLGİSAYAR
DESTEKLİ DESEN KAPLAMA**

**Tezi Hazırlayan
Fehim KÖYLÜ**

**Tezi Yöneten
Yrd. Doç. Dr. Mustafa DANACI**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından
FBA-05-03 kodu ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2006
KAYSERİ**

Yrd. Doç. Dr. Mustafa DANACI danışmanlığında **Fehim KÖYLÜ** tarafından hazırlanan “**2 Boyutlu Nesnelere Bilgisayar Destekli Desen Kaplama**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

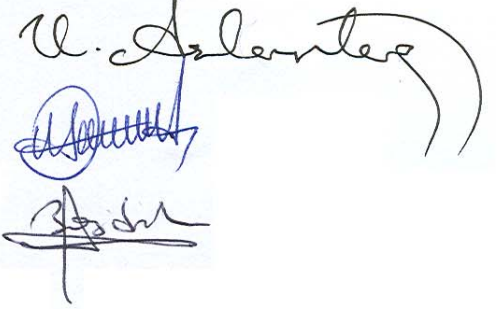
08/09/2006

JÜRİ:

Başkan: Yrd.Doç.Dr. Veysel ASLANTAŞ

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa DANACI

Üye : Yrd.Doç.Dr. Erkan BEŞDOK



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 15/09/2006 tarih ve 2006/27-43 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

20 / 09 / 2006

N. Ayyıldız
Prof. Dr. Nusret Ayyıldız

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının danışmanlığını yürüten ve lisan ve yüksek lisans çalıŐmalarım süresince danışmanlık yönünden yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa DANACI'ya, ve öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Veysel ASLANTAŞ'a, Bilgisayar Mühendisliği Bölümündeki diğer hocalarıma, destekleri ile yanımda olan bilgisayar mühendisi arkadaşlarım Ömer ÇOLAKOĞLU'na ve Ahmet Salih BÜYÜKKAYHAN'a, elektronik mühendisi arkadaşlarım Bilal KARAASLAN'a ve Osman ÖZCAN'a, son olarak da hayatım boyunca üstün sabırları ve fedakârlıkları ile her zaman yanımda olan çok değerli ailemin fertlerinin herbirine ayrı ayrı teşekkürlerimi arz ederim. Ayrıca bu çalışmanın yapılması sırasında destek sağlayan Erciyes Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

2 BOYUTLU NESNELERE BİLGİSAYAR DESTEKLİ DESEN KAPLAMA

Fehim KÖYLÜ
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2006
Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa DANACI

ÖZET

Ülkemizde hızlı gelişim gösteren mobilya sektörü, dünya pazarına açılmayı, esnek, müşteri taleplerine cevap verecek ürün çeşitliliğine sahip olmayı gerektirmektedir. Firmalar, tüketicilere ürün portföylerini katalog olarak sunmaktadır. Müşterilerin katalog dışı ürün karşılaştırma talepleri, geleneksel tekniklerle, hızlı bir şekilde karşılanamamaktadır. Bilgisayar ve internet teknolojisinin etkin kullanılmaması sebebiyle ürün üretiminde yaşanan gecikme, üretici firma ve bayilerinin gereksiz ürün stok maliyetleri, tüketicinin tercih etmediği yanlış ürün imalatı vb. pazar kaybına neden olmakta, maliyetleri yükseltmektedir.

Tez çalışmasının birinci aşamasında, literatürde görüntü işleme ve üç boyutlu grafik olarak ifade edilen algoritmalar kullanılarak birçok farklı sektöre uygulanabilecek Türkçe arayüzlü endüstriyel bir yazılım hedeflenmiştir. Bu yazılım, ürünlerin alternatif yüzey kaplamalarının sanal olarak bilgisayar ortamında gözlenmesine dayanır. Mobilya sektörü hedef sektör olarak seçilmiş, gerekli veriler bu sektörden temin edilmiştir.

Desen kaplamada daha iyi sonuçlar elde edebilmek için çalışmanın ikinci aşamasında geliştirilen yazılımda, öncelikle bilgisayara aktarılan iki boyutlu ürün resmi üzerinde bölgeler tanımlanmakta, perspektif etkiye sahip, nesnenin yüzey kıvrımlarına uyumlu üç boyutlu ızgara yüzey tasarımı yapılabilmekte, istenen yeni desen ilgili doku kaplama teknikleri ile başarı ile uygulanmaktadır.

Bu yazılım, tekstil, ahşap kaplama, halıcılık, ıslak zemin kaplama, otomotiv vb. sektörlerde de pratik ve esnek çözümler elde etmek için uygulanabilir. Böylece endüstrinin değişik alanlarındaki kuruluşların ar-ge birimlerinde yeni model-ürün geliştirme çalışmalarını kolaylaştırarak, maliyetler düşürülebilir ve yeni ürünlerin pazarlanma ve tüketiciye ulaşması hızlandırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Üç Boyutlu Modelleme, Doku Kaplama, Bilgisayar Destekli Benzetim, Resim Çarpıtma, OpenGL

COMPUTER AIDED TEXTURE MAPPING TO 2 DIMENSIONAL OBJECTS

Fehim KÖYLÜ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, August 2006

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Mustafa DANACI

ABSTRACT

Furniture sector in Turkey has a rapid improvement within world market. For this reason, these companies have to be flexible and have to meet customers' requirements rapidly. Companies generally use traditional techniques. They introduce their products with catalogues to their customers. Nowadays, less usage of computer and internet technologies cause loss in global market. Not desirable product types cost much for a company. Consequently companies have to be flexible in manufacturing process. A new product demand which is not in the catalogue will not be delivered in time.

In this study, advanced image processing and three dimensional graphic techniques are studied to aim new software for manufacturing sectors with Turkish interface. This software bases on testing different materials on a concept product. Furniture industry is preferred for experimental tests. Required data is collected from furniture sector, such as product models, texture pictures etc.

Two dimensional product images which are acquired from real model are used for defining areas. After that, three dimensional surface patches that defined the models curls are designed. Finally two dimensional texture images used in texture mapping algorithms to cover new models surface. Product model with new texture is successfully generated.

Research and development department's costs can be reduced with this software that offers industrial application which is fast and easy to use for textile, wood-covering, wet-ground covering, carpet, automotive sectors to research new models color and texture.

Keywords: Three Dimensional Modelling, Texture Mapping, Simulation, Image Warping, OpenGL

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TABLOLAR LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Tez Çalışmasının Genel Çerçevesi.....	3
2. BÖLÜM	
SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME	
2.1. Sayısal Görüntü İşleme	5
2.2. Tarihçesi.....	8
2.3. Sayısal Resmin Temeli.....	9
2.4. Görüntü İşlemenin Adımları	10
2.5. Örnekleme ve Kuantalama (Sampling ve Quantization)	11
2.5.1. Tekdüze (Uniform) Örnekleme ve Kuantalama.....	11
2.5.2. Tekdüze Olmayan (Nonuniform) Örnekleme ve Kuantalama.....	15
2.6. Pikseller Arası İşlemler.....	15
2.6.1. Pikselin Komşuları.....	15
2.6.2. Bağlılık.....	16
2.6.3. Bağlı Bileşenlere Etiket Atama.....	17
2.7. Otomatik Kenar Tespit Algoritmaları	18
2.7.1. Eğim Operatörleri	20
2.7.2. Laplasyen Filtresi	22
2.7.3. LoG Filtresi	23
2.7.4. Kenarların Birleştirilmesi.....	25
2.8. Resim Dönüşümleri.....	26
2.8.1. Yer Değiştirme	28

2.8.2. Ölçekleme	29
2.8.3. Döndürme.....	29
2.8.4. Genelleştirilmiş Lineer Dönüşüm	29
2.8.5. İki Geçişli Dönüşüm İşlemi	30
2.8.6. Resim Çarpıtma (Warping).....	31

3. BÖLÜM

3 BOYUTLU GRAFİK İŞLEME

3.1. Üç Boyutlu Grafik İşleme Temelleri.....	35
3.2. Tarihçesi.....	35
3.3. Yazılımlar.....	36
3.4. Uygulama Geliştirme Araçları	38
3.5. Koordinat Sistemi	40
3.6. Nesne Modelleme.....	42
3.6.1. Çokgen yüzeyler (Polygonal Mesh).....	43
3.6.2. Yapısal Katı Geometrisi (Constructive Solid Geometry, CSG).....	44
3.6.3. Sürüklenme Modelleme (Sweeped Modelling)	44
3.6.4. Damlacık Modelleme	45
3.6.5. Superquadric Modelleme	45
3.6.6. Parametrik Eğriler	46
3.6.7. Parametrik yüzey kafesleri (parametric surface patch).....	50
3.7. Geometrik Dönüşümler.....	52
3.8. Doku Kaplama (Texture Mapping).....	54
3.9. Render İşlemi	56

4. BÖLÜM

DESEN KAPLAMA YAZILIMI

4.1. İki Boyutlu Desen Kaplama	58
4.1.1. İki Boyutlu Yazılımın Yetersiz Kaldığı Konular	64
4.2. Üç boyutlu desen kaplama yazılımı	65
4.2.1. Kartela ve sahne görüntülerinin elde edilmesi	66
4.2.2. Sahne Görüntüsünün İyileştirilmesi.....	68
4.2.3. Nesne Parçaları Seçme ve Çıkartma Aşaması	70
4.2.4. Üç boyutlu Yüzey Izgarası Tasarımı.....	73

4.2.5. Doku kaplama aşaması.....	79
5. BÖLÜM	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	84
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	90

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Piksel komşuluk gösterimleri	16
Tablo 2.2. Görüntüde bağlı bileşenlere etiket atama.....	18
Tablo 2.3. Görüntüde 8’li bağlı bileşenlere etiket atama	18
Tablo 2.4. İleri yönlü eşleme (mapping) algoritması.....	28
Tablo 2.5. Geri yönde eşleme (mapping) algoritması.....	28
Tablo 3.1. Küp nesnesi için köşe ve kenar listesi	44
Tablo 3.2. Doku kaplama aşamaları.....	55
Tablo 3.3. Doku kaplama algoritması.....	56
Tablo 3.4. Üç boyutlu gösterim render işlem aşamaları	57
Tablo 4.1. İki boyutlu desen kaplama algoritması.....	60
Tablo 4.2. Kolluk yüzeyinin köşe noktalarının koordinat değerleri	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Gri seviye resim.	6
Şekil 2.2. Renkli bir resmin kırmızı, yeşil, mavi filtreli renk tonu matrisleri.	7
Şekil 2.3. (a)Karşıtlık işlemi uyg. resim, (b) köşe işlemi uyg. resim[8].	7
Şekil 2.4. Gürültü temizleme işlemi (a) gürültülü resim (b) düzeltilmiş resim[5].	9
Şekil 2.5. Görüntü işlemede temel adımlar.	10
Şekil 2.6. Farklı boyutlarda örneklenmiş resim.	12
Şekil 2.7. Resimde çözünürlük farklılıklarının görüntüye etkisi.	12
Şekil 2.8. Resim örneklemedeki bit sayılarının görüntüye etkisi.	13
Şekil 2.9. Iso preference eğrileri.	14
Şekil 2.10. Piksel kombinasyonları.	17
Şekil 2.11. Kenar tespit uygulama örneği.	19
Şekil 2.12. Resimde kenar geçişi (a) Kusursuz kenar (b) gri tonlar arası rampa kenar.	19
Şekil 2.13. Rampa kenarın ikinci türevi.	19
Şekil 2.14. Kenar tespit operatörleri.	21
Şekil 2.15. Kenar tespit algoritması örneği.	21
Şekil 2.16. Köşegen kenar tespiti operatörleri.	22
Şekil 2.17. Laplasyen maskeleri.	22
Şekil 2.18. LOG filtresi.	24
Şekil 2.19. LOG kenar tespit örneği.	24
Şekil 2.20. Dikey-yatay kenarların birleştirilmesi.	26
Şekil 2.21. Kartezyen koordinat sistemi ile çıkış resmi arasındaki dönüşüm.	27
Şekil 2.22. İki aşamalı döndürme işlemi.	31
Şekil 2.23. Resim çarpıtma işleminde piksel taşıma işlemi.	33
Şekil 2.24. Resim çarpıtma işlemi.	34
Şekil 2.25. İkinci dereceden resim çarpıtma işlemi.	34
Şekil 3.1. Üç boyutlu koordinat sistemi.	41
Şekil 3.2. Kartezyen koordinat sistemleri.	41
Şekil 3.3. Üç boyutlu gösterim şekilleri.	42
Şekil 3.4. Köşe listesi ve kenar listesi ile tanımlanmış küp nesnesi.	43
Şekil 3.5. Küre ile küp nesnelere ile elde edilen farklı modeller.	44
Şekil 3. 6. İki damlacığın farklı uzaklıklardaki görünümü.	45

Şekil 3.7. ε_1 ve ε_2 parametreleri değiştirilerek tanımlanmış superquadric modellenmiş nesne şekilleri.....	46
Şekil 3.8. Üçüncü dereceden 6 kontrol noktalı B-Spline eğrisi.....	47
Şekil 3.9. Bezier eğrisi.....	49
Şekil 3.10. Bezier eğrileri ile çizilmiş Utah çaydanlığı ve çay takımı.....	49
Şekil 3.11. Bezier eğrisi temel fonksiyonları.....	50
Şekil 3.12. Parametrik yüzey.....	50
Şekil 3.13. Bezier yüzeyi.....	51
Şekil 3.14. Nurbs Yüzeyi.....	52
Şekil 3.15. Üç boyutlu uzayda nesnenin yer değiştirilmesi işlemi.....	53
Şekil 3.16. Üç boyutlu uzayda nesnenin ölçeklendirilmesi işlemi.....	54
Şekil 3.17. Doku kaplama işlemi.....	56
Şekil 4.1. Desen kaplama işlemleri uygulanması ile elde edilmiş yeni sonuç resmi.....	61
Şekil 4.2. Mobilya resmi üzerinde desen kaplama işlemi adımları.....	62
Şekil 4.3. Mobilya parçaları seçme ve perspektif eğim parametresi ayarlama ekranı....	63
Şekil 4.4. İki boyutlu kaplama tekniği ile mobilya nesnelere üzerine kumaş kaplanmış sonuç sahne resmi.....	63
Şekil 4.5. İki Boyutlu teknikte kaplanmış mobilya resmi.....	64
Şekil 4.6. (a) iki boyutlu kaplama tekniği ile elde edilmiş sonuç resim (b) üç boyutlu yüzey kaplama tekniği ile elde edilmiş resim.....	67
Şekil 4.7. Sahne resmi açma, görüntü iyileştirme ve parça çıkartma penceresi görüntüsü.....	68
Şekil 4.8. Kanepenin filtre görüntüleri.....	69
Şekil 4.9. Kanepesine uygulanmış filtreler.....	69
Şekil 4.10. Kanepenin üzerinde parça çokgen seçim işlemi.....	70
Şekil 4.11. Kanepenin seçim öncesi görüntüsü.....	72
Şekil 4.12. Kanepenin sırt minderi kenarının otomatik seçilme işlemi.....	72
Şekil 4.13. Kanepenin sırt minderinden çıkartılmış yeni parça resim.....	73
Şekil 4.14. Yüzey modelleme yazılımı nesne köşe noktaları seçme işlemi.....	74
Şekil 4.15. Yüzey üçgen ağı (mesh) düzenleme işlemi.....	75
Şekil 4.16. Yüzey üçgen ağı (mesh) düzenleme işlemi ekran görüntüsü.....	75
Şekil 4.17. Düzlem ağı ile kaplanmış üç boyutlu yüzey modeli.....	76
Şekil 4.18. Mobilyanın kolluk kısmının üç boyutlu yüzey modeli.....	76

Şekil 4.19. Düzlem ağı yardımı ile desen kaplanmış sonuç resim.....	78
Şekil 4.20. Parametrik Bezier yüzey tasarlama ekranı.....	78
Şekil 4.21. Gerçek fotoğraf.....	79
Şekil 4.22. Üç boyutlu yüzey kaplama işlemi ile elde edilmiş sonuç resimler.....	80
Şekil 4.23. Zemine halı kaplanmış sanal stüdyo sahne resmi.....	81
Şekil 4.24. Zemine granit mermer kaplanmış sanal stüdyo sahne resmi.....	81
Şekil 4.25. Zemine laminant parke kaplanmış sanal stüdyo resmi.....	82
Şekil 4.26. Zemine fayans kaplanmış sanal stüdyo resmi.....	82
Şekil 4.27. Zemine taş döşenmiş sanal stüdyo sahne resminde üç boyutlu yüzey kaplama tekniği ile desen giydirilmiş mobilya resmi.....	83

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Bilgisayarlı resim işleme ve bilgisayar destekli tasarım teknolojileri, günümüzde sağlıktan, güvenliğe, üretimden, eğitime, iletişimden, eğlenceye kadar her alanda çok çeşitli uygulamalarla insanlığın hizmetindedir. Bilgisayar yazılım ve donanımlarında son yıllarda görülen gelişmeler, bilgisayar grafikleri ve animasyon işlemlerindeki kalite ve hızı oldukça artırmıştır. Günlük hayatın her alanında etkisini göstermeye başlayan bilgisayar grafikleri alanına duyulan ilgi ve gereksinim giderek artmakta; bu alan standartların oluşması ve yeni kavramların eklenmesi ile her geçen gün zenginleşmektedir. Gerçek dünyanın üç boyutlu olması, bilgisayarlarda üç boyut gereksinimini arttırmaktadır. Üç boyutlu görüntüler daha fazla ilgi çekmekte ve görselleştirmeyi gerçeğe en yakın şekilde sağlamaktadır[1].

Üç boyutlu grafikler;

- Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim,
- Bilim ve bilimsel görselleştirme,
- Tıp,
- Savunma ve güvenlik,
- Eğitim ve öğretim,
- Eğlence,
- Reklâmcılık,
- Sanat,

- Sanal gerçeklik ve güçlendirilmiş gerçeklik

vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Ayrıca mimaride, şehir planlamada, otomobil endüstrisinde tasarımda, elektronik, tekstil, gıda ve diğer alanlardaki ürünlerin tasarımında da üç boyutlu bilgisayar grafiklerinden yararlanılmaktadır[1].

Bilim adamları, mühendisler, tıp personeli, iş analistleri ve diğerleri çok miktarlarda veriyi analiz etmek durumunda kalırlar. Bu gibi alanlardaki veri setlerinin grafiksel görüntülerinin oluşturulması bilimsel görselleştirme olarak adlandırılır.

Bilimsel görselleştirme;

- Güvenlik, savunma amacıyla askeri çalışmalarda,
- Tıp alanında, vücuttaki sistemlerin üç boyutlu görüntülerinin oluşturulmasında,
- Uzay çalışma ve araştırmalarında,
- Arkeolojik yapıların orijinal şekillerinin ve nesli tükenmiş canlıların modellenmesinde,
- DNA ve molekül yapılarının incelenmesinde, kazaların yeniden canlandırılarak neden olan faktörlerin bulunmasında,
- Şirketlerin aylık kar-zarar durumlarının anlaşılmasında,
- Uçak gibi taşıtların gövdelerindeki basınç değerlerinin renklendirilmesinde

ve bunun gibi birçok alanda çok önemli yer tutmaktadır.

Fiziksel, kimyasal, matematiksel, sosyal, ekonomik ve finansal sistemlerin bilgisayardaki sanal modelleri, özellikle kara, deniz, hava ve uzay araçlarına benzetilerek hazırlanan özel benzetim sistemleri, insanların her türlü fiziksel tehlikeden ve maliyetten uzak hedeflerine ulaştırmaktadır. Eğlence alanında, üç boyutlu karakterler ve modellemeler özellikle oyun ve sinema endüstrisinde büyük önem taşımaktadır.

Günümüz literatür çalışmalarında; bilgisayar grafikleri alanında yapılmakta olan çalışmaların önemli bir kısmı grafik çizim ve gösterimlerinde gerçekçilik ve nitelik artırma üzerine yapılmaktadır. Aydınlatma modelleri, yüzey kaplama teknikleri kullanılarak üç boyutlu ortamlar oluşturulması üzerine yapılan araştırmalar sonucunda günümüzde gerçekçi grafik ve animasyonlar hazırlanabilmektedir[2].

Bu çalışmada imalat sektöründe üretilen ürünün farklı kumaş ve deri birleşimleri, ileri görüntü ve üç boyutlu grafik işleme teknikleri ile kumaş seçimini kolaylaştıran endüstriyel bir sanal gerçeklik yazılımı geliştirilmiştir. Böylece ülkemizdeki hızla gelişen ve dış pazara açılan mobilya vb. sektörlerin Ar-Ge çalışmaları kolaylaştırılmış, maliyetleri düşürülmüş ve üretim süresinden tasarruf sağlanmıştır. Bu yazılım, tekstil, ahşap kaplama, ıslak zemin kaplama, halıcılık, otomotiv vb. sektörlerde de pratik ve esnek çözümler sunmaktadır. Herhangi bir yakalama donanımı ile dijital ortama iki boyutlu resim aktarılmaktadır. Bu resim üzerinde; bezier yüzeyler, parametrik üçgen düzlem ızgaralar kullanılarak nesnelerin yüzey eğim ve bükümleri tanımlanır. Üç boyutlu grafik işleme yüzey kaplama teknikleri yardımı ile yüzeye istenen desen kaplanır. Resim işleme teknikleri ile nesnenin resim üzerinde seçili alfa kanalı çakıştırılması ile nesnenin yeni deseninin gösterilmesidir[3-6].

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, maliyeti düşük, klasik modelleme yazılımlarındaki karmaşıklığın olmadığı, probleme özgü, mevcut yazılımların eksiklerinin giderildiği, üç boyutlu grafik tekniklerinin kullanıldığı, uygun bir desen kaplama sisteminin geliştirilmesidir.

Mevcut probleme özgü yazılımlarda, kıvrımlı yüzeylerin tanımlanamaması, yüksek teknik bilgi gereksinimi, yüksek maliyet, Türkçe arayüz eksikliği, dışa bağımlılık vb. dezavantajları ortadan kaldıran yeni bir çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

1.2. Tez Çalışmasının Genel Çerçevesi

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Tezin ikinci bölümünde resim çarpıtma (warp) işlemi gibi görüntü işlemenin yöntem ve fonksiyonları açıklanmıştır. Yazılımda kullanılan resim işleme tekniklerinin literatür taraması bu bölümde verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde çalışmada kullanılan üç boyutlu grafik kavramı açıklanmıştır. Yazılımda kullanılan üç boyutlu grafik fonksiyonları ile tekniklerin literatür taraması özeti bu bölümde verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde tez çalışmasında geliştirilen yazılımdan bahsedilmiştir. Yazılımda kullanılan teknikler ve parça seçme işlemi, yüzey tanımlama işlemi, desen kaplama, zemin kaplama işlemleri şekillerle anlatılmıştır. Son bölümünde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

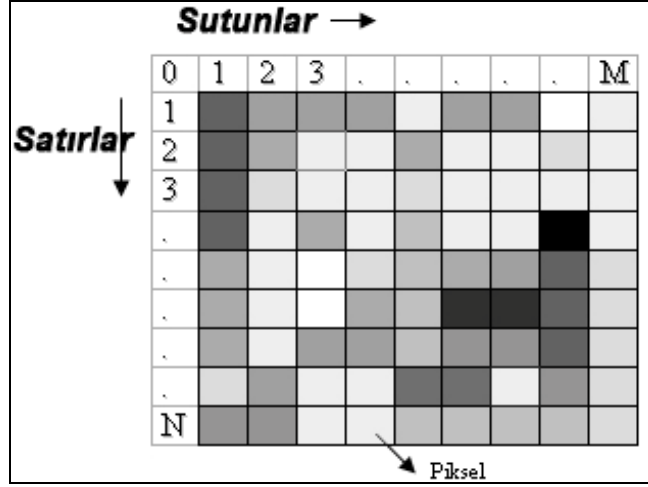
2. BÖLÜM

SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME

2.1. Sayısal Görüntü İşleme

Bilişim teknolojisinde yapılan uygulamalar gerçek hayattan alınmış modellerin benzetiminden başka bir şey değildir. Sayısal bilgisayarların işlem yapabilmesi için bilgilerin bilgisayara ikili düzende sayısallaştırılarak aktarılması gerekmektedir.

Sayısal resimlerin elde edilmesinde, gerçek dünyadan gelen ışık şiddetlerinin parlaklık seviyesini ölçümünü gerçekleştiren algılayıcılar kullanılmaktadır. Işık şiddetleri sabit bit sayısı ile ışık seviyelerini kuantalama yapmakta ve bu bilgi bilgisayara iletilmektedir. Bu işlem ile matris şeklinde dizili seviye değerleri elde edilmektedir. Bilgisayarda sayısal resim, birim noktaların sayısallaştırılmış ışık yoğunluğu değerlerini tutan iki boyutlu matris şeklinde tanımlanır. Sayısal resimdeki en küçük elemanına piksel adı verilmektedir. Her piksel değeri sadece bir bit ile temsil edildiğinde sadece siyah-beyaz renklerden müteşekkil sayısal resim meydana çıkar. Gri seviye olarak bir resmin istenmesi durumunda her piksel değeri 0 – 255 arası sayı değeri ile ifade edilir. Bunun ekranda farklı gri seviyelere karşılık gelecek şekilde gösterilmesi ile elde edilen gri-ton resim, insan gözü için daha fazla anlam ifade eder. Bu resmin kapladığı alan her bir piksel için 1 bayt olacak şekilde piksel sayısı ile çarpılarak elde edilir. N satır ve M sütun olması halinde $M \times N$ bayt kadar hafızada yer kaplayacaktır. Her piksel değeri 0, 255 arası 8 bitlik değer almaktadır, sonuçta buna gri-seviye resim denilmektedir. 0 siyaha, 255 beyaza ve ara değerler grinin tonlarına karşılık gelir. Şekil 2.1.'de M sütun, N satırdan meydana gelmiş gri-seviye bir resim gösterilmiştir[5-8].



Şekil 2.1. Gri seviye resim.

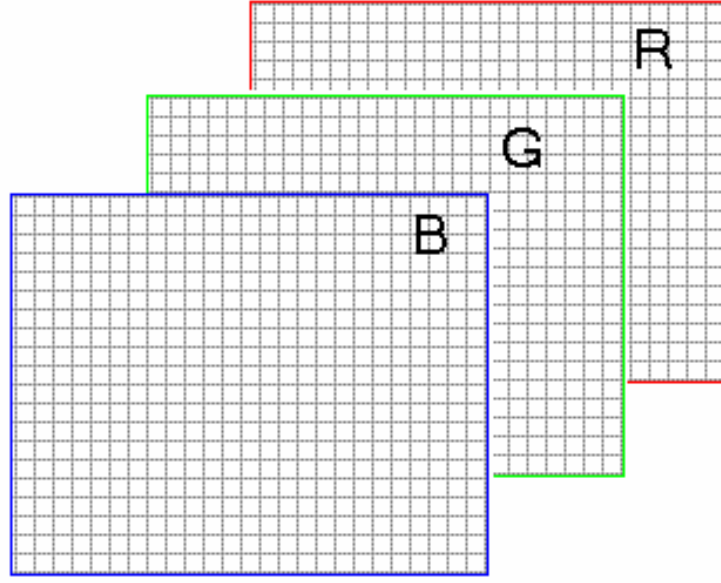
Renkli resimlerin bilgisayarda temsili her piksel değerinin 3 farklı gri seviye değeri ile ifade edilmesi ile sağlanır. Bu değerler 3 farklı rengin farklı tonlarda ifade edilmesi ile renkli resim ortaya çıkar. Şekil 2.2.'de kırmızı, yeşil, mavi olmak üzere üç kanaldan meydana gelmiş renkli bir resim gösterilmiştir. Her piksel kırmızı, yeşil, mavi ton değerleri için ayrı ayrı 8 bit ile tanımlanarak toplam 24 bit ile ifade edilir. Örnek olarak (25, 46, 255) rengi alınırsa; kırmızı tonu 25, yeşil tonu 46, mavi tonu 255 olan renk değerini belirtir.

Bilgisayar üzerinde çeşitli hesaplamalar yoluyla sayısal resimler üzerinde görüntü işleme gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler,

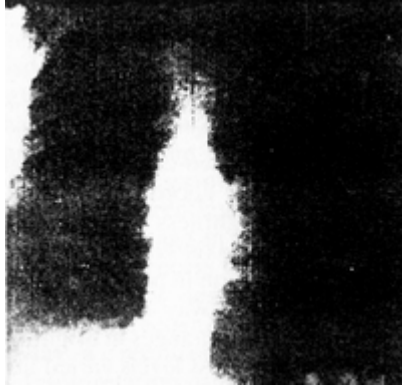
- Resim iletimi; resimlerin bir başka yere iletimi için gerekli sıkıştırma teknikleri,
- Resim onarımı; resimlerin gürültüsünü azaltma, bulanık resimleri netleştirme vb. teknikleri,
- Resim analizi; karakter tanıma, yüz tanıma, imalatta yüzey bozukluklarının tespiti vb teknikleri,
- Çevre analizi; araştırma robotlarının çevresi ile etkileşimi, elektronik göz vb. teknikleri,
- Bilgisayarla grafik; masaüstü yayıncılık teknikleri

olarak tarif edilebilir.

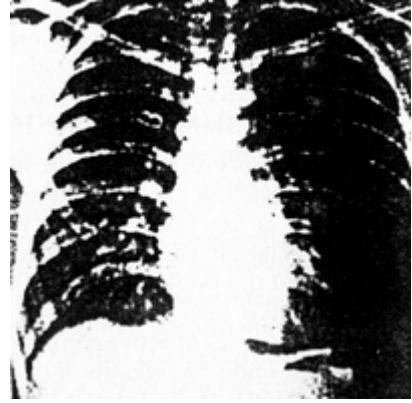
Resim işleme teknikleri noktasal işlemler, bölgesel işlemler, genel işlemler olmak üzere üç grup altında incelenmektedir. Şekil 2.3.'de bir x-ray resmine karşıtlık ve kenar işlemleri uygulanması ile elde edilmiş resimler gösterilmiştir[8].



Şekil 2.2. Renkli bir resmin kırmızı, yeşil, mavi filtreli renk tonu matrisleri.



(a)



(b)

Şekil 2.3. (a) Karşıtlık işlemi uyg. resim, (b) köşe işlemi uyg. resim[8].

Resim işleme teknikleri, resimlerin veri olarak, algılama sonucuna varılmak için kullanıldığı metotları da barındırmaktadır. Resimler bilgisayara bir takım işlemlerden geçirilip verilir. Bu işlemlere Fourier dönüşümleri örnek verilebilir. Karakter tanıma, endüstriyel makinelerle ürün gruplandırılması ve kontrolü, askeri uygulamalar, parmak izi tanıma, x-ray'lerin ve kan örneklerinin incelenip bilgisayar tarafından yorumlanması, havadan ve uydudan çekilmiş resimlerle hava durumu tahmini ve ürün ve mahsuller hakkında yorum yapma, coğrafi bilgi sistemleri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

2.2. Tarihçesi

Sayısal görüntü işleme konusundaki araştırmalar iki ana grupta toplanabilir:

- Görüntüyü kişinin işleyeceği şekilde iyileştirme,
- Otonom bir sistemin işleyip sonuç üretebileceği bir şekle dönüştürme.

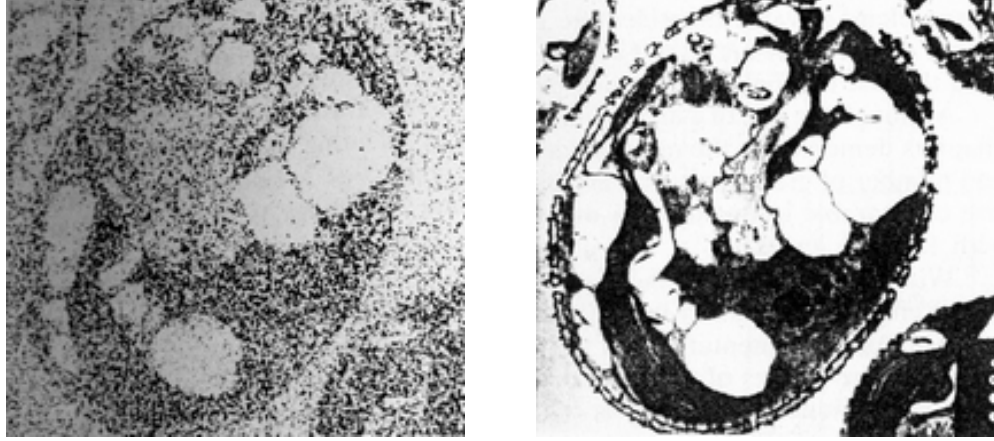
Birinci kategorideki işlemlere ilk örnek, Londra-New York arasında gazete basmak amacıyla deniz altı kablolarıyla resimlerin sayısallaştırılarak iletilmesidir. 1920'li yıllarda Bartlane hattının oluşturulmasıyla Atlantik'ten bir resmin transfer edilmesi bir haftadan, 3 saat gibi bir zamana indirilmiştir. Bu ilk sayısal görüntülerin kalitesini artırmada karşılaşılan ilk problemler görüntüleme rutinleri ve parlaklık seviyeleri ile ilgili sorunlardı.

İlk Bartlane sisteminde 5 ayrı parlaklık seviyesi kodlanabiliyordu. 1929 yılında bu kodlanabilen seviye sayısı 15'e yükseldi. 1964 yılında Jet Propulsion laboratuvarlarında uzay roketi Ranger 7'den elde edilen Ay'ın görüntüleri üzerinde kameradan kaynaklanan çeşitli bozulmaların bilgisayar teknikleri kullanılarak iyileştirilmesi işlemleri yapılmıştır. Bu teknikler, Surveyor uzay aracında, Mars'a yapılan Mariner deneme uçuşlarında, Ay'a gönderilen Apollo'da ve diğer uzay araçlarında, alınan görüntülerin işlenmesinde kullanılan tekniklerin temelini oluşturmaktadır.

1964 yılından bugüne, görüntü işleme gün geçtikçe daha farklı kullanım alanları bulmuştur. Günümüzde uzay araştırmalarının yanı sıra daha birçok uygulamada görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Hatta ilgisiz olduğu düşünülen birçok alanda bile insanların görüntü üzerinde yorum yapabilmesi için görüntülerin bir dizi işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Tıbbi alanda, x-ray gibi görüntülerin daha kolay yorumlanabilmesi için bilgisayar rutinleri yardımıyla karşıtlıklarının iyileştirilmesi ve renk yoğunluk seviyelerinin ayarlanması bu işlemlere örnek verilebilir.

Coğrafya alanında, havadan ve uydudan çekilen resimlerle çevre analizi yapmak için bu teknikler kullanılır. Arkeoloji alanında, tarihi eserlerin mevcut resimleri üzerinde gerekli işlemlerin yapılması ile bu eserlerin zarar görmemiş hallerinin görüntüsü elde edilmektedir. Fizikte ve benzer alanlarda yüksek enerji plazmaları ve elektron mikroskobu gibi uygulamalarda görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Görüntü işleme teknikleri günümüzde astronomi, biyoloji, nükleer tıp, savunma, endüstriyel

uygulamalar gibi birçok alanda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 2.4.(a)'da elektronik gürültüye maruz kalmış bir hücre görülmektedir. Şekil 2.4.(b)'de ise çeşitli tekniklerle bu gürültünün giderilmesi gösterilmiştir[5-8].



Şekil 2.4. Gürültü temizleme işlemi (a) gürültülü resim (b) düzeltilmiş resim[5].

2.3. Sayısal Resmin Temeli

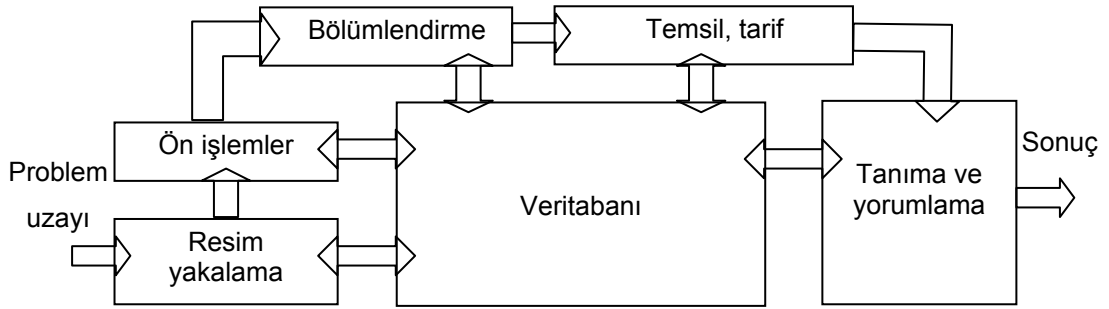
Sayısal resimde, x ve y uzaysal koordinatlara, $f(x,y)$ 'de resmin (x,y) noktasındaki ışık seviyesi değerini veren, iki boyutlu ışık seviye fonksiyonuna karşılık gelir. Işık enerjinin bir hali olduğuna göre, $0 < f(x,y) < \infty$ aralığında olmalıdır. $f(x,y)$ görüntülenen nesne üzerine düşen ışığın kameraya yansıyan miktarıdır. İnsanların algıladıkları görüntü, nesnelere yansıyan ışıklardan meydana gelmektedir. Bir sayısal görüntü, birim noktaların ışık değerini tutan satır ve sütunlardan oluşmuş iki boyutlu bir matris şeklinde tanımlanır. Her birim nokta sayı değeri piksel, resim element ya da pel olarak isimlendirilir.

Görüntülemeye iki temel değer sözkonusudur. Bunlar aydınlatma (illumination) ve yansıma (reflectance) olarak adlandırılırlar. Aydınlatma nesne üzerine düşürülen ışık miktarını, yansıma ise nesne üzerinden yansıyan ışık miktarını temsil eder. Gösterimleri $i(x,y)$ ve $r(x,y)$ şeklindedir. Bu iki değer çarpımı $f(x,y)$ değerini verir. $0 < i(x,y) < \infty$ ve $0 < r(x,y) < 1$ olmak üzere, $f(x,y) = i(x,y) * r(x,y)$ olarak hesaplanır. Resmin birim noktasında, $r(x,y)$ değeri sıfır olduğunda ışığın tamamını yutarken, bir olduğunda ise gelen ışığın tümünü yansıtmaktadır. Yansıma değeri nesnenin yapıldığı maddenin özelliğine, nesnenin şekline göre farklılık göstermektedir. Bu şekilde nesnenin resmi

sayısal olarak elde edilmektedir.

2.4. Görüntü İşlemenin Adımları

Sayısal görüntü işleme çok geniş yazılım, donanım ve teknik altyapı üzerine kuruludur. Şekil 2.5.'te görüntü işlemenin adımları gösterilmiştir. Görüntü işlemede, resim yakalama (Image Acquisition) gerçekleştirilen ilk işlemdir. Bu adımda sayısal görüntü elde edilmektedir. Görüntünün elde edilmesi için algılayıcı kullanılır, algılayıcının çıkışındaki işaret sayısallaştırılarak bilgisayara aktarılır. Görüntü yakalayıcı cihaz belli bir anda tek bir resim satırı üretebilen satır tarayıcı, ya da kamera olabilir. Cihazın hassasiyeti uygulamaya göre seçilmelidir. Sayısal görüntü elde edildikten sonra ön işlem (preprocessing) aşaması gelmektedir. Bu aşamada, daha iyi sonuçlar elde edebilmek için iyileştirme işlemleri gerçekleştirilir. Zıtlık (kontrast) genişletme, gürültü yok etme vb. işlemler bu aşamada gerçekleştirilir.



Şekil 2.5. Görüntü işlemede temel adımlar

Üçüncü aşamada bölümlendirme işlemi yapılır. Bölümlendirme işleminde, resim kendi içinde parçalara ayrılır. Otonom bölümlendirme sayısal görüntü işlemede en zor işlemlerden biridir. Yanlış ya da düzensiz bölümlendirme yapılması, işlemlerin başarısının gecikmesine veya başarısız sonuç elde edilmesine sebep olacaktır. Örnek olarak karakter tanıma probleminde bölümlendirme işlemi, karakterleri veya kelimeleri arka plandaki desenden doğru bir şekilde ayrılmasıdır. Bölümlendirme sonrası oluşan çıktı ham (raw, işlenmemiş) veridir. Bu verilerin bilgisayarın işleyebileceği bir hale getirilmesi gerekir. Bu noktada verilmesi gereken karar, verinin resimdeki nesneye ait bir dış bölgenin mi yoksa iç bölgenin mi olduğudur.

Sonraki temsil, tarif (representation and description) aşamasında, veri, işlenecek hale

getirilir. Elde edilen verinin hangi özelliklerinin kullanılacağı bu aşamada belirlenmelidir. Resimde birbirinden farklı ve sahip oldukları belirgin özelliklere göre birbirinden ayrılacak nesnelerin, hangi özelliğine bakılarak bu ayırma işleminin yapılacağı, bu aşamada tespit edilir. Son aşama tanıma ve yorumlama (Recognition and Interpretation) aşamasıdır. Tanıma işleminde resim içindeki her nesneye tanıma işlemi ile belirlenen özelliklerine göre bir etiket atanır. Yorumlama aşamasında etiket atanan nesneler arasındaki benzerliğe bakılarak nesnenin ne olduğuna karar verilmesi için yorumlama yapılır. Yorumlama etiket atanmış bölgelere mana yükler.

2.5. Örnekleme ve Kuantalama (Sampling ve Quantization)

2.5.1. Tekdüze (Uniform) Örnekleme ve Kuantalama

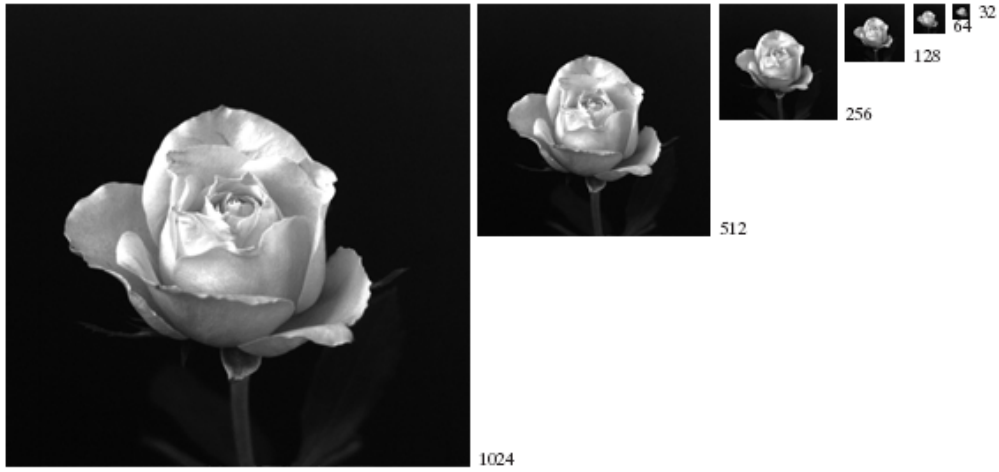
Bilgisayarın işleyebilmesi için görüntü fonksiyonu $f(x,y)$ koordinat ve genlik olarak sayısallaştırılmalıdır. (x,y) uzaysal koordinatlarının sayısallaştırılması görüntü örnekleme olarak genliğin sayısallaştırılması ise gri ton kuantalama olarak adlandırılır. Her bir elamanın ayrık olduğu $N \times M$ boyutundaki sürekli bir $f(x,y)$ resminin örneklenerek sürekli haline yaklaşımı Denklem 2.1'de gösterildiği şekildedir.

$$f(x,y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,M-1) \\ \vdots & & & \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Eşitliğin sağ tarafı sayısal görüntüyü göstermektedir. Dizideki her bir eleman bir piksele karşılık gelir. Buradaki piksel değerleri sayısallaştırılırken bazı sınırlamalar yapılmalıdır. Bunlar N ve M değerlerinin ne olacağı ve her bir piksel için verilebilecek ayrık gri seviye değerlerinin sayısıdır. Uygulamalarda piksel değerleri, G gri seviye sayısını, m her bir pikselin kaç bit ile temsil edileceğini göstermek üzere $G=2^m$ olmalıdır. Bu sonuçlara göre $N \times M$ boyutunda ve m bit gri ton seviyesine sahip bir görüntüyü saklamak için gerekli olan disk boyutu $b = N \times M \times m$ olarak hesaplanır.

Örneğin 64 gri ton seviyesine sahip 128×128 piksel boyutlarında bir resim 98,304 bitlik alan kaplar. Görüntü örneklenerek (sampling), $f(x,y)$ 'nin sürekli haline yaklaşım yapılır. Resmin sürekli haline çok iyi bir yaklaşım yapmak için kaç tane örnekleme yapılmalıdır

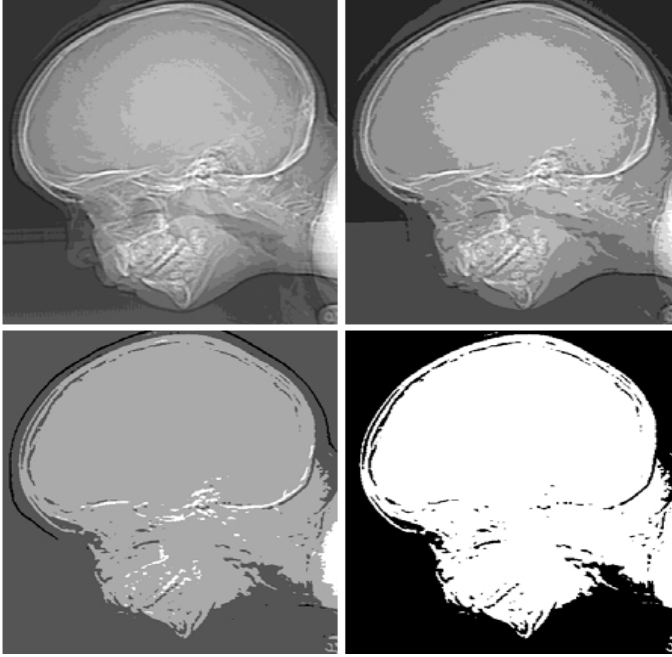
ve gri ton seviyesi değeri ne olmalıdır? Bir resmin çözünürlüğü bu iki değerle çok yakından ilişkilidir. Bu parametrelerin değerleri büyüdükçe, örnekleme sayısı ve gri ton seviyesi değeri arttıkça resmin çözünürlüğü artar ancak bu durumda da diskte kapladığı alanın boyutu büyür. Şekil 2.6.'daki görüntülerde aynı resmin değişik boyutlardaki örneklemeleri gösterilmiştir. Şekil 2.7.'de ise resimlerin sahip oldukları detay ile çözünürlük arasında doğru orantı olduğu gösterilmiştir. Şekil 2.6., Şekil 2.7. ve Şekil 2.8.'de N , M ve m 'nin birbirinden bağımsız olarak görüntü kalitesini nasıl etkilediği görülmektedir.



Şekil 2.6. Farklı boyutlarda örneklenmiş resim



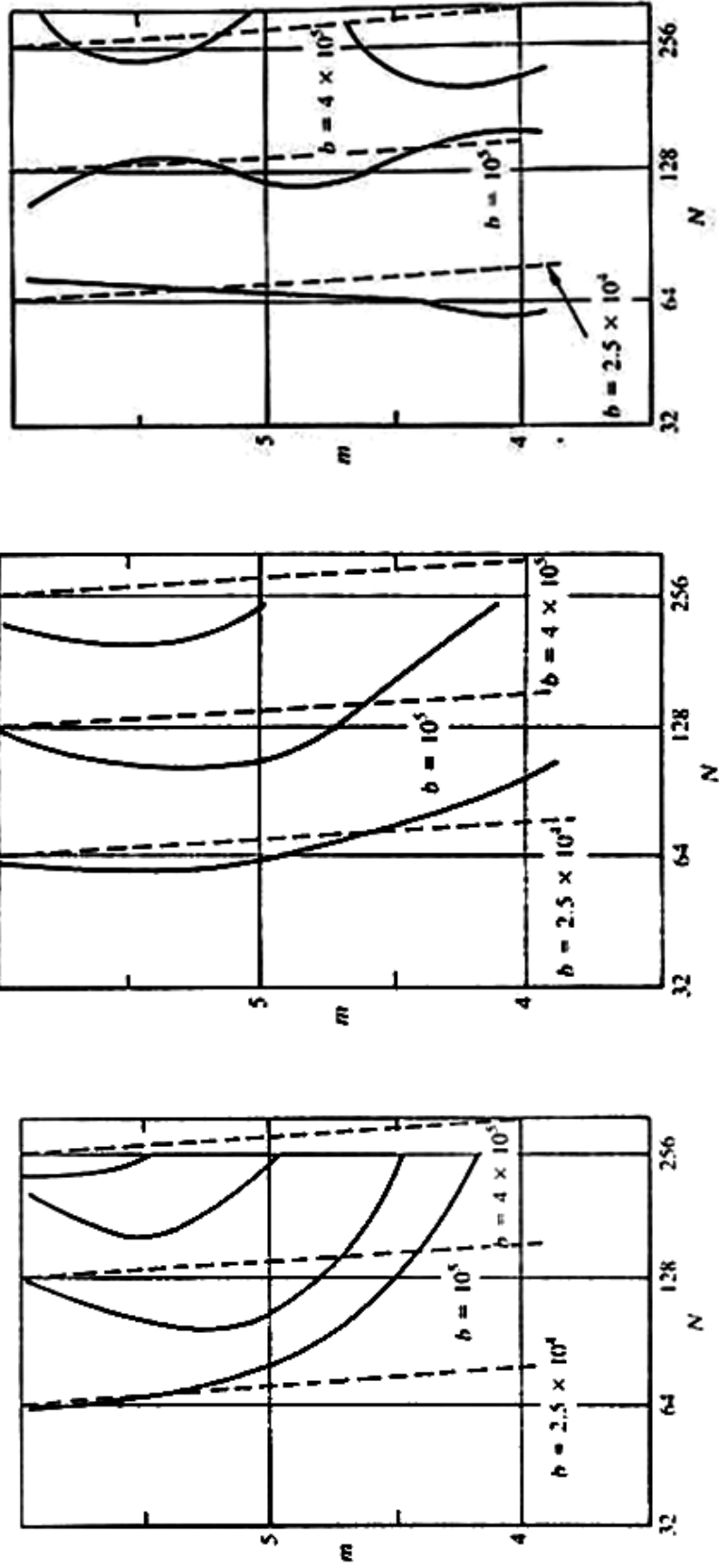
Şekil 2.7. Resimde çözünürlük farklılıklarının görüntüye etkisi



Şekil 2.8. Resim örneklemedeki bit sayılarının görüntüye etkisi

N , M ve m değerlerinin değiştirilmesiyle oluşan resim çeşitleri bağıl kalitelere göre derecelendirilmesi, Şekil 2.9.'da isopreference eğrileri gösterilmiştir. Düzlemdeki her bir nokta, N ve m değerlerine eşit boyuttaki bir görüntüye karşılık gelmektedir. İsoference eğrisindeki noktalar görüntünün bağıl kalitesini göstermektedir. Şekil 2.9.'daki isopreference eğrileri incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmaktadır:

- Resmin kalitesi N ve m değerleri arttıkça artmaktadır. Bazı durumlarda N sabit tutulduğunda kalite m 'nin azalmasıyla artmaktadır. Bunun nedeni m değerindeki bir azaltmanın resmin kontrast değerinde gözle görülür bir artışa neden olmasıdır.
- Resim içerisindeki detay arttıkça eğri dikeyleşmektedir. Bu çok detaylı görüntülerde sadece bir kaç tane gri ton seviyesi gerektiğini gösterir. Örneğin Şekil 2.9.(a) 'de $N=64$ ya da 128 iken görüntü kalitesi m de bir artış olsa da değişmemektedir. Şekil 2.9.(b) ve Şekil 2.9.(c)'deki diğer iki eğride bu sonuç görülmemektedir.
- $b=N \times M \times m$ eşitliği ile belirtilen b sabitinin eğrileri isopreference eğrilerinden ayrı olarak kesikli çizgilerle çizilmiştir.



Şekil 2.9. Iso preference eğrileri

2.5.2. Tekdüze Olmayan (Nonuniform) Örnekleme ve Kuantalama

Resmin görünümü, sabit bir çözünürlük değeri için, karakteristiğine bağlı olarak adaptif bir örnekleme tasarımı kullanılarak iyileştirilebilir. Genelde ilişkili düzgün alanlarda kötü (coarse) örnekleme kullanılırken, iyi bir örnekleme, keskin gri ton geçişlerinin komşuluğu durumunda gereklidir. Uniform bir arka plan üzerine bir yüzün yerleştirilmiş olduğu bir resim düşünülürken, arka plan deseni çok az detay içermektedir ve bu detay için kötü örnekleme yapmak bile bu detayların görülebilmesi için yeterli olacaktır. Yüz ise arka plana oranla çok daha fazla detay içermektedir ve bu alanda arka plana yapılan örneklemeden daha fazla örnekleme yapılırsa ayrıntılı sonuç üretilmiş olur. Örnekleme gruplandırılmasında en fazla örnekleme yapılması gereken yerler yüz ve arka plan arasındaki bölge gibi gri ton geçiş bölgelerinin olduğu yerlerdir.

Sadece ana hatlar bile olsa bölgeleri belirlemenin zorunluluğu nonuniform örnekleme yaklaşımının dezavantajıdır. Bu metot resimde birbiriyle ilişkili küçük uniform bölgeler olduğunda kullanılmaz. Örneğin bir kalabalığın resminde nonuniform örnekleme kullanılması oldukça güçtür.

Gri ton sayısının küçük tutulması gerektiğinde, eşit olmayan aralıklarla kuantalama işlemi yapılması istenir. Bu metot sınır belirleme ve detay içeriği hakkındaki araştırmalara bağlıdır. Gri ton gruplandırma için alternatif bir teknik olabilecek tüm gri tonların görünme frekansını hesaplamaktan ibarettir. Belli bir alanda diğer değerlerin frekansı az iken bazı gri ton değerleri sıklıkla görülüyorsa bu aralıkta kuantalama iyi bir şekilde bölümlenir bu alan dışında ise daha kötü bir kuantalama yapılır. Bu metot sivrilmiş kuantalama (tapered quantization) olarak adlandırılır.

2.6. Pikseller Arası İşlemler

2.6.1. Pikselin Komşuları

(x,y) koordinatlarındaki p pikseli için yatay ve dikey olmak üzere aşağıda koordinatları verilmiş piksellerle komşudur. Tablo 2.1.'de bir pikselin komşulukları gösterilmiştir. Merkez pikselin sağ, sol, alt ve üst piksellerine p pikselinin 4 komşuluğu denilir ve $N_4(p)$ ile gösterilir. Her bir piksel (x,y) ye birim uzaklıktadır ve eğer (x,y) resmin kenar (border) piksellerinden biri ise komşularının bazıları dışarıda kalır. p pikselinin 4'lü köşe komşuları $N_D(p)$ ile gösterilir. Bu iki komşuluğun birleşiminden 8'li

komşuluk değeri elde edilir. 8'li komşuluk $N_8(p)$ ile gösterilir. $N_4(p)$ 'de olduğu gibi $N_D(p)$ ve $N_8(p)$ 'de de kenardaki pikseller için bazı komşu pikseller resim dışında kalabilir.

Tablo 2.1. Piksel komşuluk gösterimleri

$(x-1, y-1)$	$(x-1, y)$	$(x-1, y+1)$
$(x, y-1)$	(x, y)	$(x, y+1)$
$(x+1, y-1)$	$(x+1, y)$	$(x+1, y+1)$

2.6.2. Bağlılık

Bir nesnenin kenarları belirlenirken veya belli alan içindeki elemanları belirlerken komşu pikseller arasındaki bağlılık önemlidir. İki pikselin bağlı olup olmadığını belirlemek için değişik mantıklarla bu iki pikselin bitişik olup olmadığına ve iki pikselin gri tonlarının belirlenen bir kıstasa göre yeteri kadar birbirine benzerlik gösterip göstermediğine ya da eşitliğine bakılabilir. Yalnızca 1 ve 0 değerlerinin olduğu ikili bir resimde iki piksel birbirine göre 4'lü komşulukta komşu iken bu iki piksel aynı değere sahip olmadıkça birbirlerine bağlı oldukları söylenemez.

V değeri bağlılık tanımlaması yapabilmek için kullanılan gri ton değerlerinden oluşan bir küme olsun. İkili resimde 1 değerine sahip piksellerin bağlılığı için $V = \{1\}$ dir. Gri seviye bir resimde 32'den 64'e kadar yoğunluk değerlerine sahip piksellerin bağlılığı için $V = \{32, 33, \dots, 63, 64\}$ olmaktadır.

3 çeşit bağlılık tipi vardır:

- 4 bağlılık: V deki değerlere sahip iki piksel p ve q , q eğer $N_4(p)$ içinde ise 4-bağlılık vardır.
- 8 bağlılık: V deki değerlere sahip iki piksel p ve q , q eğer $N_8(p)$ içinde ise 8-bağlılık vardır.
- m-bağlılık (mixed): V deki değerlere sahip iki piksel p ve q eğer

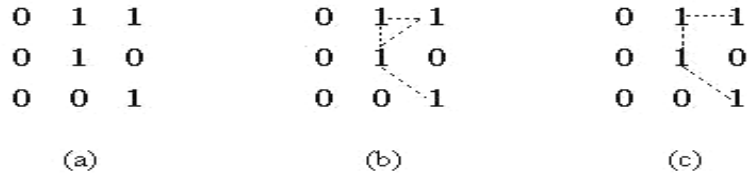
(a) q $N_4(p)$ de ise;

(b) $q \in N_D(p)$ de ve $N_4(p) \cap N_4(q)$ kümesi boş küme olmalıdır

M-bağlılık 8 bağıllığın değiştirilmiş halidir ve 8 bağıllıkta ortaya çıkan yol bağlantılarının çoğullanması ortadan kalkar.

Şekil 2.10.(b)'deki 8'li komşuluğa göre yapılan bağıllık analizindeki sonucun belirsiz olduğu görülmektedir. Şekil 2.10.(c)'de uygulanan *m* bağıllık ile bu belirsizlik ortadan kalkmaktadır.

Eğer p pikseli q pikseline bağlı ise bu iki piksel bitişiktir. İki resim parçası S_1 ve S_2 bazı piksellerinin bitişik olması durumunda bağlıdır. (x,y) koordinatlarındaki p pikselinden (s,t) koordinatlarındaki q pikseline bir yol $(x_0,y_0)=(x,y)$, $(x_n,y_n)=(s,t)$, (x_i,y_i) 'nin (x_{i-1},y_{i-1}) 'e bitişik, n yolun uzunluğu olmak üzere $1 \leq i \leq n$ olduğu durumda $(x_0,y_0)(x_1,y_1), \dots, (x_n,y_n)$ koordinatlarındaki ayırık ardışık piksellerden geçer.



Şekil 2.10. Piksel kombinasyonları (a) Piksel kombinasyonu, (b) Merkezdeki pikselin 8li komşuluğu, (c) Merkez piksele ait *m* komşuluğu

2.6.3. Bağlı Bileşenlere Etiket Atama

Resim, soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru pikseller arasında 4 bağılı bileşenler tarandığında, p her adımda incelenen pikseli, r üst ve t sol yanındaki komşuluğunu göstermektedir.

Tarama sonunda 1 değerine sahip tüm noktalara etiket atanmaktadır. Ancak etiketlerden bazıları aynı olabilir. Bu aşamada resim ikinci kez taranarak her sınıfa ayrı bir etiket verilmektedir.

8 'li bağılı komşulukta etiket atama işlemi de bu şekilde gerçekleşir ancak r ve t 'nin yanında p 'nin üst köşe komşuları q ve s pikselleri de işleme katılmaktadır. Geçirgenlik özelliği burada geçerlidir. Eğer a , b ile ilişkili, b de c ile ilişkili ise bu durumda a , c ile

ilişkilidir denir. Tablo 2.2. ve Tablo 2.3.'de resimde bağlı bileşenlere etiket atama algoritmaları verilmiştir.

Tablo 2.2. Görüntüde bağlı bileşenlere etiket atama

Eğer p 'nin değeri 0 ise bir sonraki piksele geç.
 Eğer p 'nin değeri 1 ise r ve t ye bak. Her ikisi de 0 ise p 'ye yeni bir etiket ata.
 r veya t 'den sadece biri 1 ise değeri 1 olanın etiketini p 'ye ata.
 r veya t 'nin her ikisi de 1, aynı etikete sahiplerse etiketi p 'ye ata.
 r veya t nin her ikisi de 1 ise ve farklı etiketlere sahiplerse bu etiketlerden birini p 'ye ata ve farklı olan etiketleri de p 'ye atanan etiket hangisi ise ikisini de o etiket yap

Tablo 2.3. Görüntüde 8'li bağlı bileşenlere etiket atama

Eğer $p=0$ ise bir sonraki piksele geç.
 Eğer $p=1$ ve diğer tüm komşular 0 ise p ye yeni bir etiket ata.
 Eğer $p=1$ ve komşulardan sadece bir tanesi 1 ise bu pikselin etiketini p 'ye ata.
 Eğer $p=1$ ve komşulardan iki veya daha fazlası 1 ise p ye bunlardan birini ata ve diğer 1 olan komşu piksellerin etiketlerini de bu etikete ata.

2.7. Otomatik Kenar Tespit Algoritmaları

Resim bölümlenme algoritmaları yoğunluk değerinin iki temel özelliğinden biri olan benzerlik (similarity) ve süreksizlik (discontinuity) üzerine kurulmuştur. Kenar tespit algoritmaları bölümlenme algoritmalarının en temel kısmıdır. Kenar tespit algoritmaları gri seviye görüntüde devamsızlığın anlamlı bir tespitini vermektedir. Şekil 2.11.'de hatalı üretilmiş bir merceğin sağ alt köşesindeki hatanın tespiti için kullanılmış kenar görüntüsü görülmektedir.

Görüntüde kenar, iki farklı bölgenin arasında bölgeleri birbirinden ayıran bağlı piksellerdir. Ancak bu sınır optik, örnekleme ve diğer resim yakalama sistem kusurlarından dolayı her zaman keskin ve mükemmellikten uzaktır. Bölgeler arasında sıklıkla bulanık bir geçiş ile karşılaşılır. Şekil 2.12.(b)'de gösterilen rampa kenarın ikinci türevi alındığında Şekil 2.13.'deki gibi iki ayrı kenar tespit edilir[8,9].



Şekil 2.11. Kenar tespit uygulama örneği (a) Hatalı üretilmiş kontak lens görüntüsü (b) Resmin sobel filtresi ile kenar görüntüsü [8]



Şekil 2.12. Resimde kenar geçişi (a) Kusursuz kenar (b) gri tonlar arası rampa kenar



Şekil 2.13. Rampa kenarın ikinci türevi

2.7.1. Eğim Operatörleri

Sayısal resmin birinci dereceden türevi, 2 boyutlu eğim hesaplama işlemine çeşitli yaklaşımlar getirmektedir. $f(x,y)$ vektör olmak üzere, bir resmin (x,y) noktasındaki eğimi (gradienti) Denklem 2.2.'de verildiği şekilde hesaplanır.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Kenar tespitinde önemli bir nicelik, vektörün büyüklüğü ∇f , Denklem 2.3'de verilmiştir. Bu nicelik $f(x,y)$ 'nin artışının maksimum oranını, ∇f 'in yönünde birim uzunluk başına hesaplar. Eğim vektörünün yönü $\alpha(x,y)$, Denklem 2.4'de verilmiştir.

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (2.3)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (2.4)$$

(x,y) deki kenarın yönü, o noktadaki eğim vektörünün yönüne diktir. Bir resimdeki eğiminin hesabı, her pikselin kısmi türevlerinin $\partial f / \partial x$, ve $\partial f / \partial y$ hesaplanması ile elde edilir. Şekil 2.14.(a)'da 3x3'lük bir resimde komşulukları göstermektedir. Komşuluk matrisinde z_5 pikselinde birinci dereceden kısmi türevi Roberts cross-gradient operatörleri ile hesaplanır.

$$G_x = (z_9 - z_5) \quad (2.5)$$

$$G_y = (z_8 - z_6) \quad (2.6)$$

Türev alma işlemi Şekil 2.14.(b)'de verilen maskeler ile resmin genelinde uygulanır. Burada 2x2 boyutunda bir pencerenin merkezi belirgin olmadığından dolayı 3x3'lük bir maske kullanılır. Prewitt ve sobel operatörleri yatay ve dikey kenarların tespiti için kullanılabilir. Şekil 2.15.'de örnek bir kenar tespit işlemi sonuç resmi gösterilmiştir. Şekil 2.16.'da köşelerdeki kenar tespiti için kullanılacak operatörler verilmiştir[12,13].

$$G_x = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \quad (2.7)$$

$$G_x = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7) \quad (2.8)$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

(a)

-1	0	0	-1
0	1	1	0

(b)

-1	-1	-1	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1

(c)

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

(d)

Şekil 2.14. Kenar tespit operatörleri (a) Komşu pikseller (b) Roberts operatörü (c) Prewitt operatörü (d) Sobel Operatörü



Şekil 2.15. Kenar tespit algoritması örneği (a) Kenar tespiti uygulanacak resim (b) Sobel operatörü ile kenar tespiti [8]

0	1	2	-2	-1	0	0	1	1	-1	-1	0
-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
2	1	0	0	1	2	-1	-1	0	0	1	1

Şekil 2.16. Köşegen kenar tespiti operatörleri (a) Sobel operatörü (b) Prewitt operatörü

2.7.2. Laplasyen Filtresi

İki boyutlu $f(x,y)$ fonksiyonunun laplasyeni ikinci dereceden türevidir,

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2.9)$$

3x3 boyutunda bir alan için laplasyenin sayısal yaklaşımı,

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) \quad (2.10)$$

Köşegen komşuların da hesaba katıldığı laplasyen sayısal yaklaşımı,

$$\nabla^2 f = 8z_5 - (z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_6 + z_7 + z_8 + z_9) \quad (2.11)$$

Denklem 2.10 ve Denklem 2.11'de verilen laplasyen işlemlerinin maskeleri Şekil 2.17.'de verilmiştir. Laplasyen operatörü bazı dezavantajlarından dolayı kenar tespiti için doğrudan kullanılamamaktadır. Bunun nedeni ikinci derece türevin gürültüye çok duyarlı olmasıdır. Ayrıca Laplasyen filtresi, kenar yönünü tespit edememektedir.

0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

Şekil 2.17. Laplasyen maskeleri

2.7.3. LoG Filtresi

Laplasyen filtreleri, transfer fonksiyonunun dalga sayısı karesi ile orantılı olmasından dolayı gürültü seviyesini artırma eğilimindedir. Bu olumsuzluğundan dolayı laplasyen filtresi yerine, kenar tespiti için gauss laplasyeni (LoG) olarak isimlendirilen farklı bir filtre kullanılabilir. Bu filtre, öncelikle resmi gauss filtresi ile yumuşatmakta ardından laplasyen operatörünü uygulamaktadır.

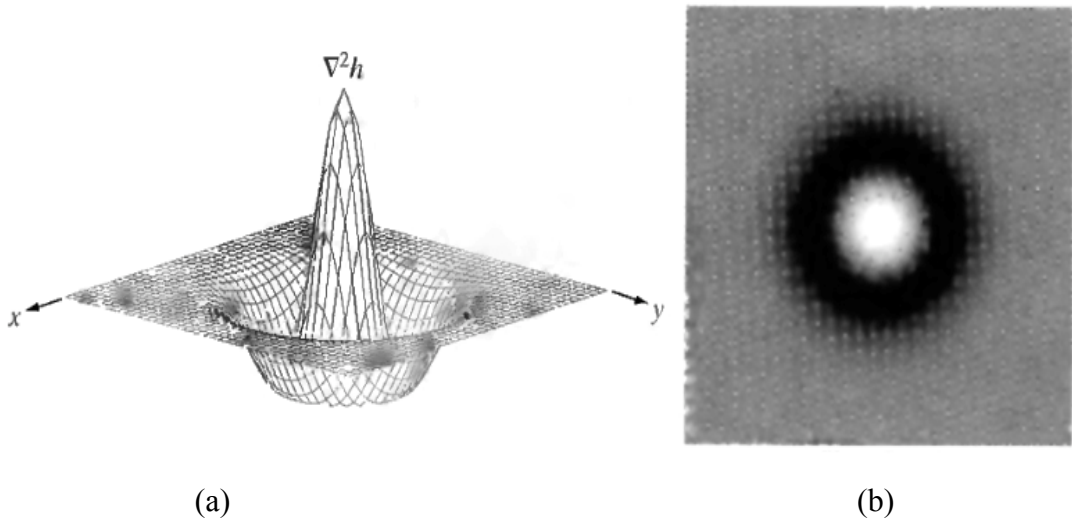
$$h(r) = -e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (2.12)$$

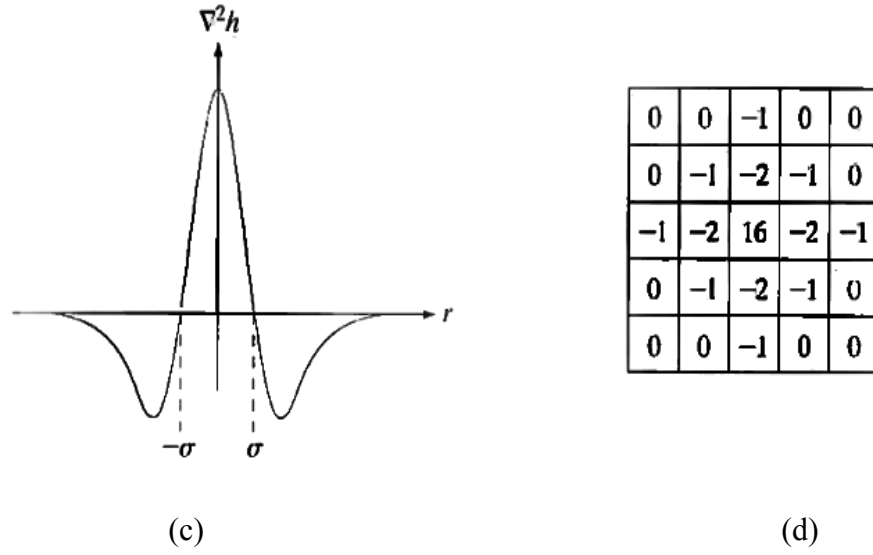
$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (2.13)$$

ve σ standart sapma olsun. Bu fonksiyon ile bir resmi konvolüsyon işlemine tabi tutmakla, görüntü σ değerine bağlı olarak bulanıklaşır. h fonksiyonunun laplasyeni, şu şekilde verilir:

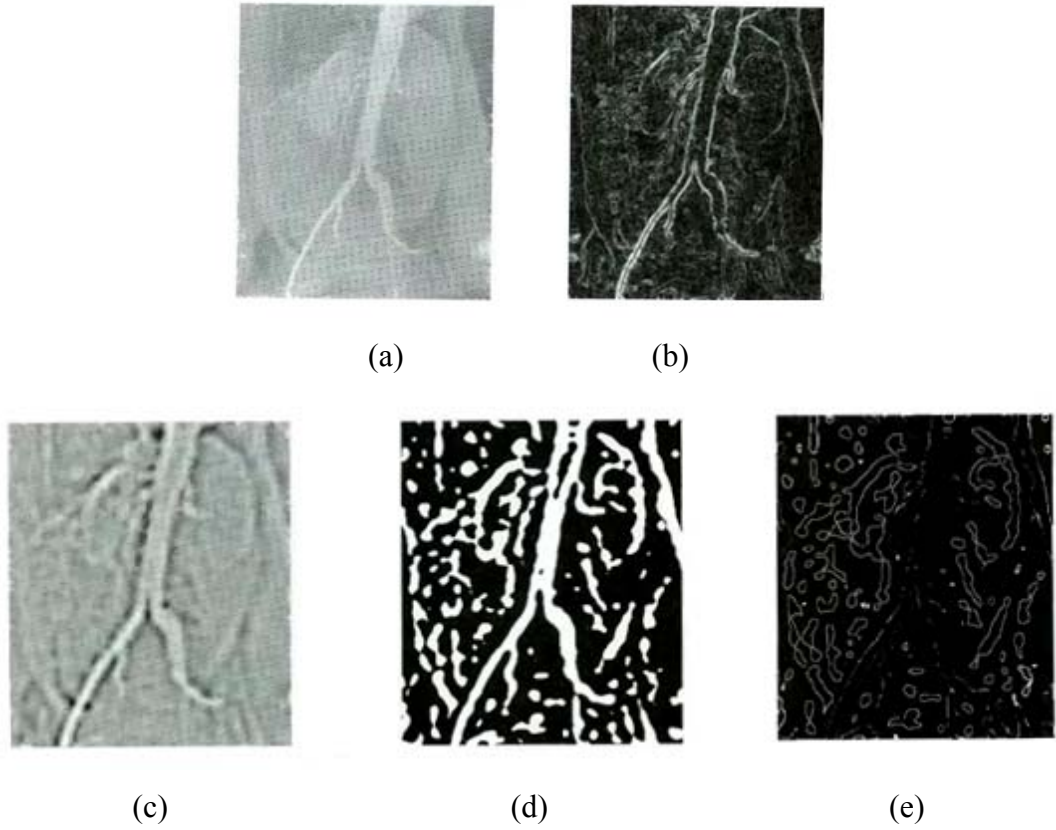
$$\nabla^2 h(r) = -\left[\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4} \right] e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (2.14)$$

Şekil 2.18.'de LoG filtresinin 3 boyutlu grafiği, görüntüsü, bir boyutlu kesit grafiği ve maskesi gösterilmiştir. Log fonksiyonuna verilen 5x5'lik yaklaşım tekil değildir. Yaklaşımlarda merkez katsayısı pozitif olmalı, komşu katsayılar merkezden uzaklaştıkça büyüyen negatif değerler almalı ve katsayıların toplamı sıfır olmalıdır. Şekil 2.19.(d)'de zero-crossing kenar hesaplaması gösterilmiştir[9,10].





Şekil 2.18. LOG filtresi: (a) 3 Boyutlu grafiği (b) Görüntüsü (c) Bir boyutlu kesit grafiği (d) 5x5 Boyutundaki maskesi [32]



Şekil 2.19. LOG kenar tespit örneği (a) anjiyogram görüntüsü (b) sobel operatörü uygulanmış görüntü (c) LoG filtresi uygulanmış resim (d) eşiklenmiş LOG uygulanmış resim (e) zero-crossing uygulanmış LOG [32]

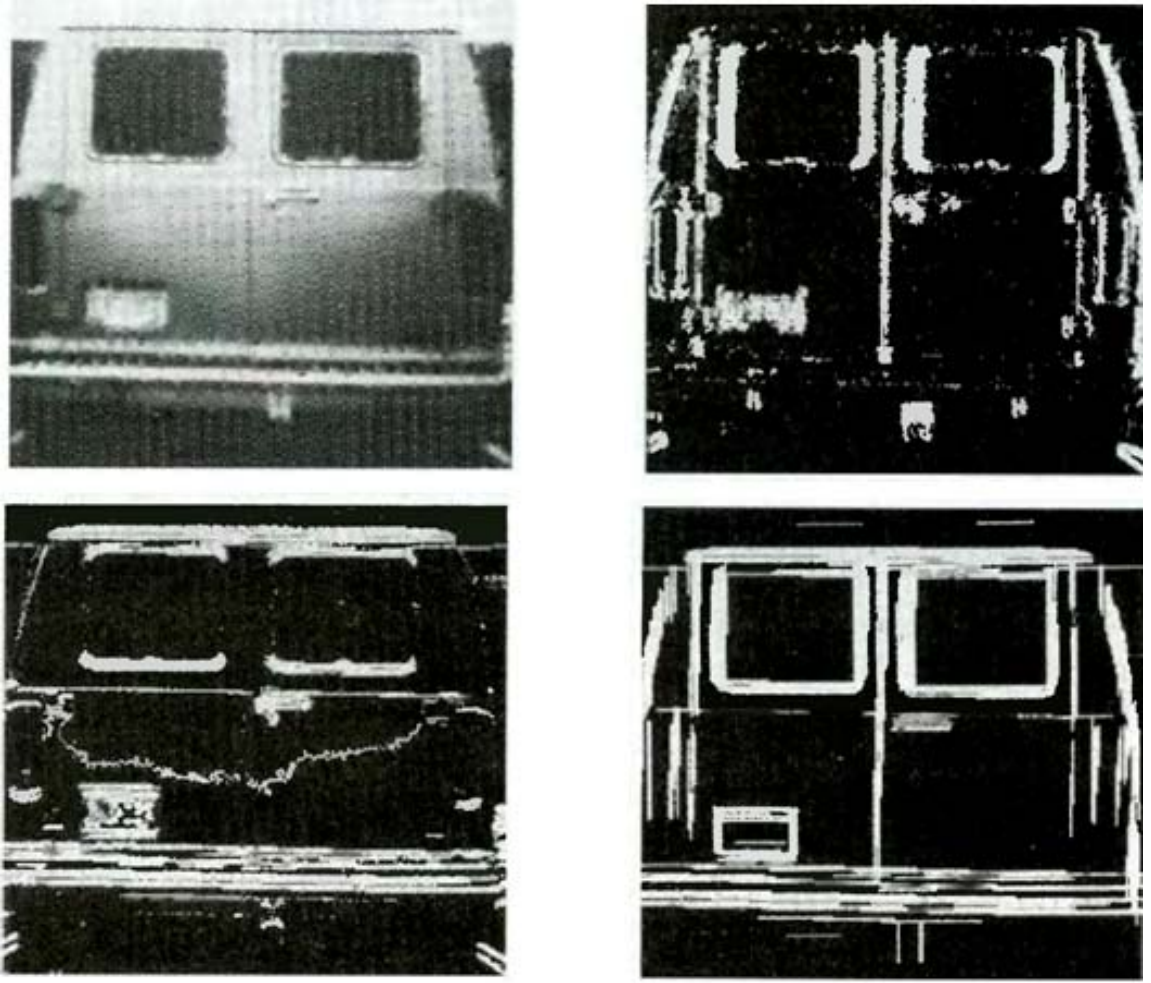
2.7.4. Kenarların Birleştirilmesi

Köşe noktalarının birleştirilmesi işlemine en temel yaklaşım, her (x,y) pikseli için 3×3 ya da 5×5 gibi küçük komşuluk bölgelerindeki piksel değerleri karakteristiğinin incelenmesi yaklaşımıdır. Eğim operatörünün cevabının şiddeti ve eğim vektörünün yönü köşe pikselleri arasındaki benzerlikleri tespit etmekte kullanılan iki temel özelliktir. Eğim operatörünün şiddeti, Denklem 2.3.'de tanımlanmış ∇f ile hesaplanır. (x,y) 'nin ön tanımlı komşuluğundaki (x_0, y_0) noktasındaki köşe pikseli, (x,y) noktasındaki değer ile Denklem 2.15'te tanımlanmış bir bağıntıya sahiptir. Bu denklemde E , pozitif bir eşik değeridir.

$$|\nabla f(x,y) - \nabla f(x_0,y_0)| \leq E \quad (2.15)$$

Denklem 2.4'de bir eğim vektörü yönünü hesaplayan denklem verilmiştir. (x,y) 'nin ön tanımlı komşuluğundaki (x_0, y_0) köşe pikseli, $|\alpha(x,y) - \alpha(x_0,y_0)| \leq A$ olmak üzere (x,y) pikselinin açısına benzer bir açıya sahiptir. Bu denklemdeki A , pozitif bir eşik değerini ifade etmektedir. (x,y) 'nin ön tanımlı komşuluğundaki bir pikselin yönü ve büyüklük değeri verilen şartlara uyuyor ise, (x,y) pikseli ile bağlanır. Bu işlem resimdeki her piksel için tekrarlanır.

Şekil 2.20.'de dikey ve yatay kenarların birleştirilmesi sonucu nesne kenarı elde edilerek anlamlı bir sonuç çıkarılmasına örnek verilmiştir. Şekil 2.20.(a)'da bir aracın arka kapı resmi verilmiştir. Şekil 2.20.(b)'de Dikey sobel operatörü ile elde edilen, Şekil 2.20.(c)'de yatay sobel operatörü ile elde edilen kenar resmi verilmiştir. Şekil 2.20.(d)'de bütün piksel değerleri birebir eşleştirilerek sonuç nesne kenarları elde edilmiştir. Eşleştirmede; her piksel koordinatının her iki resimdeki değerlerinin eğim büyüklüklerinin 25'den büyük olmasına ve eğim yönlerinin farkının 15 dereceden az olmasına dikkat edilerek sonuç resim elde edilmiştir[9,10].



Şekil 2.20. Dikey-yatay kenarların birleştirilmesi (a) Orijinal resim (b) dikey kenarlar (c) yatay kenarlar (d) kenarların birleştirilmiş hali[32]

2.8. Resim Dönüşümleri

Resim dönüşümleri, resmi başka bir konuma taşıma, resmi ölçeklendirme, döndürme ve resim çarpıtma işlemleri olarak sınıflandırılabilir. Resim dönüşümlerinde, asıl resim ile dönüştürülmüş yeni resmin boyutları farklı olabilir. Geometrik resim dönüşümü, kartezyen koordinat sisteminde koordinat dönüşümüne dayanmaktadır. Ancak matematikteki koordinat sisteminden farklı olarak sayısal resmin orijin noktası üst sol piksel değeridir. Resim dönüşümlerinde ileri yönlü eşleme ve geri yönlü eşleme olmak üzere iki farklı hesaplama yaklaşımı söz konusudur.

$1 \leq j \leq J$ ve $1 \leq k \leq K$ olmak üzere çıktı resmi $G(j,k)$ ile ifade edilsin. $1 \leq p \leq P$ ve $1 \leq q \leq Q$ olmak üzere girdi resmi $F(p,q)$ ile ifade edilsin. Kartezyen koordinat sistemi ve dijital resim piksel dizisi arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:

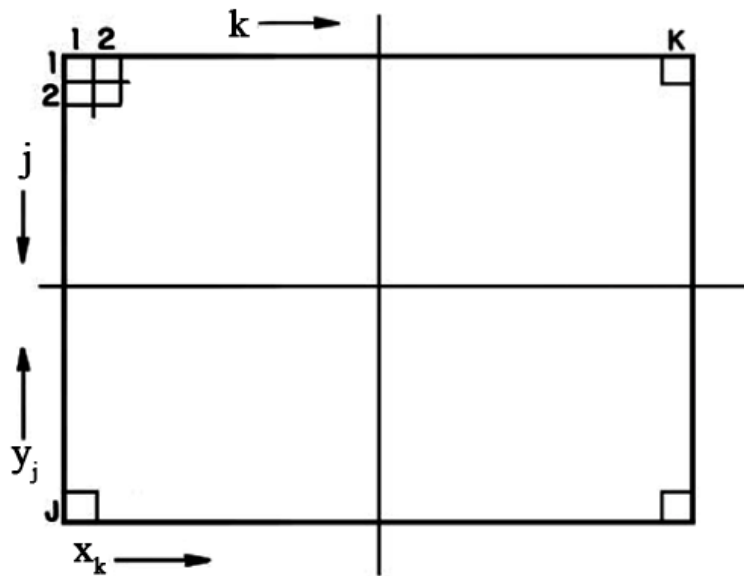
$$\begin{aligned} x_k &= k - 1/2 \\ y_j &= J + 1/2 - j \end{aligned} \quad (2.16)$$

Denklem 2.16'da J , çıkış resminin, yükseklik değerini ifade etmektedir. y eksenini, resimde yukardan aşağıya, kartezyen koordinat sisteminde aşağıdan yukarıya doğru arttığı için bu şekilde bir dönüşüme tabi tutulmuştur. Aynı şekilde giriş piksel koordinatları ile kartezyen koordinat sistemi arasındaki bağıntı şu şekilde ifade edilir:

$$\begin{aligned} u_q &= q - 1/2 \\ v_p &= P + 1/2 - p \end{aligned} \quad (2.17)$$

Denklem 2.17'de P , giriş resminin yükseklik değerini ifade etmektedir. Denklem 2.16. ve Denklem 2.17. ile elde edilen kartezyen koordinatları kullanılarak resim dönüşümü gerçekleştirilir. Şekil 2.21.'de çıkış resmi piksel koordinatı ile kartezyen koordinat sistemi arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Kartezyen koordinat sistemine dönüştürme gerçekleştirildiklerinden sonra giriş resmindeki koordinat değerleri ile çıkış resmindeki koordinat değerleri eşleştirilir. Bu eşleştirme işlemi, ileri yönlü ve geri yönlü eşleştirme olmak üzere iki farklı teknikle gerçekleştirilir.



Şekil 2.21. Kartezyen koordinat sistemi ile çıkış resmi arasındaki dönüşüm

İleri yönlü eşlemede, (p,q) giriş pikseli için u_q ve v_p kartezyen koordinat değerleri kullanılarak resim dönüşümü hesaplanır. Giriş resmindeki (p,q) koordinatındaki pikselin taşınacağı hedef (j,k) piksel koordinatı bulunur. (j,k) hesaplandığında geçerli bir tam sayı piksel değerine karşılık gelmeyebilir. Bundan dolayı en yakın komşu piksel değerine yakınsanır. Giriş resmindeki (p,q) piksel değeri, (j,k) hedef piksel değerine aktarılır. Bu eşlemede bir dezavantaj daha sözkonusudur. Eşleme işlemi tamamlandığında, giriş resmindeki piksel değeri aktarılmamış sonuç resim boş pikselleri bulunabilir. Bu durumlarda boş kalmış piksel değerleri enterpolasyon işlemleri ile tamamlanmaya çalışılır[10-15]. Tablo 2.4.'de ileri yönlü eşleme algoritması verilmiştir.

Tablo 2.4. İleri yönlü eşleme (mapping) algoritması

```

for u = 0 ... Umax-1
  for v = 0 ... Vmax-1
    x = fx(u, v)
    y = fy(u, v)
    hedefresim(x, y) = orjinalresim(u, v)

```

Geri yönlü eşleme metodunda, çıktı resminin (j,k) koordinat değeri ile (p,q) koordinat bilgisi hesaplanır. Hesaplanan (p,q) koordinatı yardımı ile $F(p,q)$ girdi resmi piksel renk değeri çıktı resmindeki $G(p,q)$ piksel değerine aktarılır. Bu eşleme metodunda, sonuç resimde boş bırakılmış piksel değeri bulunmayacaktır. İşlem kolaylığı açısından genellikle geri eşleme metodu kullanılmaktadır. Tablo 2.5'de geri yönlü eşleme algoritması verilmiştir.

Tablo 2.5. Geri yönde eşleme (mapping) algoritması

```

for x = 0 ... Xmax-1
  for y = 0 ... Ymax-1
    u = fx-1(x, y)
    v = fy-1(x, y)
    hedefresim(x, y) = orjinalresim(u, v)

```

2.8.1. Yer Değiştirme

Yer değiştirme işlemi, mevcut resimdeki piksel değerlerinin başka bir konuma taşınması işlemidir. $F(p,q)$ giriş resmini, $G(j,k)$ ise yer değiştirme uygulanması ile elde edilen çıkış resmini temsil etmektedir.

$$\begin{aligned}x_k &= u_q + t_x \\y_j &= v_p + t_y\end{aligned}\tag{2.18}$$

t_x ve t_y yer değiştirme sabitleridir. Geri yönlü eşleme tekniği ile yer değiştirme işleminde giriş resminin koordinatları,

$$\begin{aligned}p' &= j + (P - J) + t_y \\q' &= k - t_x\end{aligned}\tag{2.19}$$

denklemleri ile elde edilir.

2.8.2. lekleme

lekleme, giriş resminin s_x ve s_y ölçekleme sabiti değerleri ile ölçeklenerek çıkış resminin farklı bir boyutta elde edilmesidir. lekleme, giriş resminin kartezyen koordinatlarının bir sabit ile çarpılması ile elde edilir.

$$\begin{aligned}x_k &= s_x u_q \\y_j &= s_y v_p\end{aligned}\tag{2.20}$$

s_x ve s_y değerleri sıfırdan büyük değer almakla birlikte, birden küçük bir değer alması durumunda resim boyutları ktlr, birden büyük değer alması durumunda ise resim boyutları büyütülür.

2.8.3. Döndürme

Giriş resmini kartezyen orijin noktası etrafında döndürme işlemi, piksel adreslerini hesaplamak ile gerçekleşir. θ saat yönünün tersine döndürme aı değeridir.

$$\begin{aligned}x_k &= u_q \cos \theta - v_p \sin \theta \\y_j &= u_q \sin \theta + v_p \cos \theta\end{aligned}\tag{2.21}$$

2.8.4. Genelleştirilmiş Lineer Dönüşüm

Yer değiştirme, döndürme, ölçekleme işlemleri homojen koordinat gösterimi ile matris formunda tanımlanabilir. Ters yönlü koordinat adresi bulunmak istendiğinde dönüşüm

matrisinin tersi alınarak koordinat vektörlerinin yerleri değiştirilir.

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_j \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 & c_2 \\ d_0 & d_1 & d_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_q \\ v_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Ters yönlü eşleme işlemi için,

$$\begin{bmatrix} u_q \\ v_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ b_0 & b_1 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_j \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

2.8.5. İki Geçişli Dönüşüm İşlemi

Adres eşleme hesaplamalarında, x_k yatay çıktı resmi koordinatı sadece u_q girdi resmi koordinatı bağlıdır. Aynı şekilde y_j koordinatı v_p koordinatına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bundan dolayı hesaplama işlemi ayrı iki aşamada gerçekleştirmek mümkündür. Birinci aşamada tek boyutlu adres dönüşümü gerçekleştirilerek $I(p,k)$ elde edilecektir. İkinci aşamada ara konum bilgileri kullanılarak $G(j,k)$ sonuç resim koordinatları elde edilecektir. Döndürme işlemi için adres hesaplama işlemi hem u_q hem de v_p 'ye bağlıdır. Döndürme işleminin iki aşamada yapılmasının mümkün olmadığı düşünülebilir. Ancak Catmull, Smith yöntemine göre, $F(p,q)$ nin her satırı ara eleman $I(p,k)$ 'ya eşlenir[14].

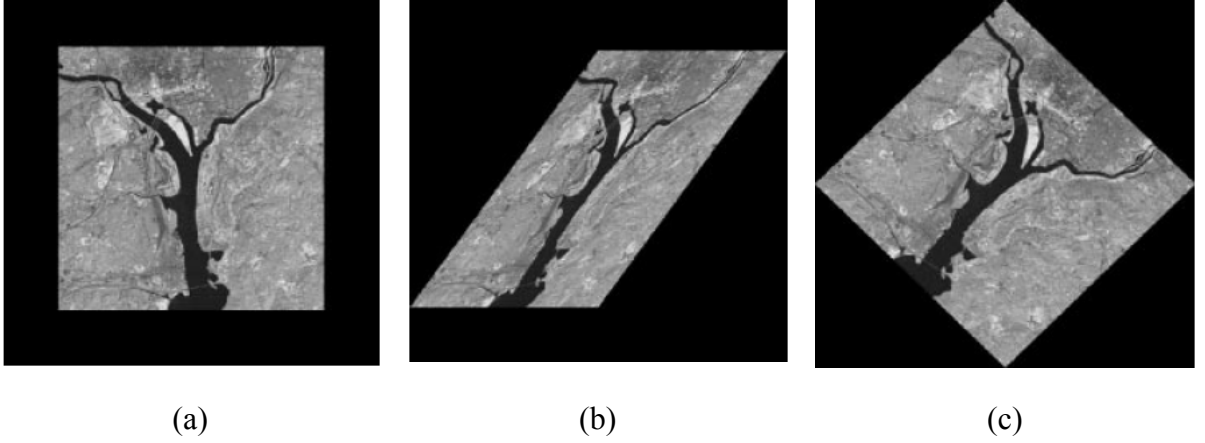
$$x_k = u_q \cos \theta - v_p \sin \theta \quad (2.24)$$

Daha sonrasında $I(p,k)$ 'nin her sütun değeri hedef $G(j,k)$ değerinin bulunması için kullanılır.

$$y_j = \frac{x_k \sin \theta + v_p}{\cos \theta} \quad (2.25)$$

Catmull-Smith iki geçiş yöntemi vektörel biçimde şu şekilde ifade edilir. İki aşamada dönüşüm işlemi basitleştirilmiş hesaplamalar ile sonucun elde edilmesini sağlamaktadır. Şekil 2.22.'de döndürme işleminin iki aşama sonucunda nasıl yapıldığı gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \tan \theta & 1/\cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_q \\ v_p \end{bmatrix} \quad (2.26)$$



Şekil 2.22. İki aşamalı döndürme işlemi (a) Döndürülecek resim (b) Birinci aşama sonucu (c) İki aşama ile döndürülmüş sonuç resim [10]

2.8.6. Resim Çarpıtma (Warping)

Literatürde rubber-sheet stretching olarak da anılmakta olan bu teknik dörtgen biçimli resmin, farklı bir şekil üzerinde gösterilmesidir[15-21]. Genelleştirilmiş ileri yönlü adres eşleme fonksiyonları,

$$\begin{aligned} x &= X(u, v) \\ y &= Y(u, v) \end{aligned} \quad (2.27)$$

olmak üzere, aynı şekilde çıkış resminden giriş resmi koordinatlarını elde etmek için genelleştirilmiş ters yönlü adres eşleme denklemleri ise şu şekilde verilir:

$$\begin{aligned} u &= U(x, y) \\ v &= V(x, y) \end{aligned} \quad (2.28)$$

u ve v giriş resmi satır sütun adreslerini, x ve y ise çıkış resmi satır, sütun adresleri ifade etmektedir. İkinci dereceden polinom çarpıtma denklemi aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 \quad (2.29)$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 \quad (2.30)$$

Denklem 2.30'da vektör biçiminde verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ x^2 \\ xy \\ y^2 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Şekil 2.23.'te çarpıtma işleminde pikselin çıktı resminde yeni koordinat değerine taşınması gösterilmiştir. Resim çarpıtma işlemlerindeki ikinci ve daha yüksek dereceli adres eşleme denklemleri genellikle fiziksel görüntüleme sistemlerinden kaynaklanan hataları düzeltmek için kullanılmakla beraber, başka sanatsal uygulamalarda da kullanılabilir. Şekil 2.23., normal dörtgen gösteriminde kamera sisteminden kaynaklanan lineer olmayan barrel ve pincushion çarpılmalarını göstermektedir. Bozulmuş resim ile asıl resim arasındaki fiziksel eşleme (mapping) fonksiyonları Denklem 2.32.'de tanımlanmıştır

$$\begin{aligned} u &= O_u \{x, y\} \\ v &= O_v \{x, y\} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Bu fonksiyonların bilinmesi durumunda eşleme fonksiyonunun tersi alınarak bozulmayı düzeltecek fonksiyon elde edilir. Ancak fiziksel bozulma fonksiyonları bilinmediği durumlarda, (a_i, b_i) ağırlık katsayılarına dayanan yaklaşımlar geliştirilir. Gözlem koordinat noktaları giriş resminde (u_m, v_m) ve çıkış resminde (x_m, y_m) kontrol noktaları kümesi, (u, v) polinom yaklaşımlarının en küçük kareler hatasını en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir. Eşleme fonksiyonu polinom yaklaşımı vektör biçiminde Denklem 2.33'de verilmiştir. Katsayılar vektörü Denklem 2.34'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} u^T &= [u_1, u_2, \dots, u_M] \\ v^T &= [v_1, v_2, \dots, v_M] \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} a^T &= [a_0, a_1, \dots, a_5] \\ b^T &= [b_0, b_1, \dots, b_5] \end{aligned} \quad (2.34)$$

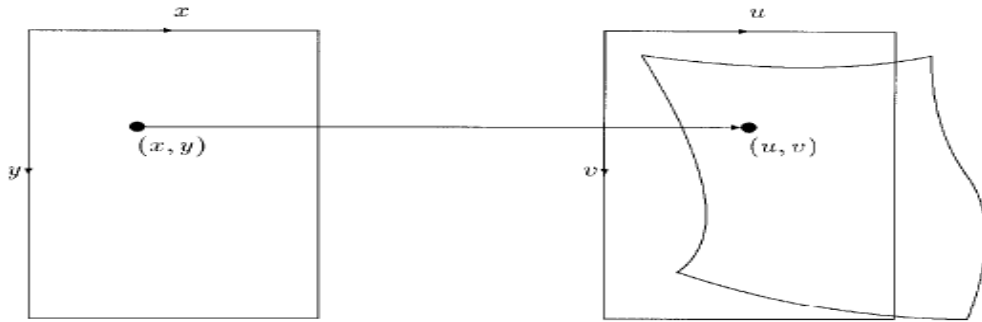
Bu polinom denklemlerinde en küçük kareler hatası

$$E = (u - Aa)^T (u - Aa) + (v - Ab)^T (v - Ab) \quad (2.35)$$

biçiminde ifade edilir.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_M & y_M & x_M^2 & x_M y_M & y_M^2 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$\begin{aligned} a &= A^{-1} u \\ b &= A^{-1} v \end{aligned} \quad (2.37)$$

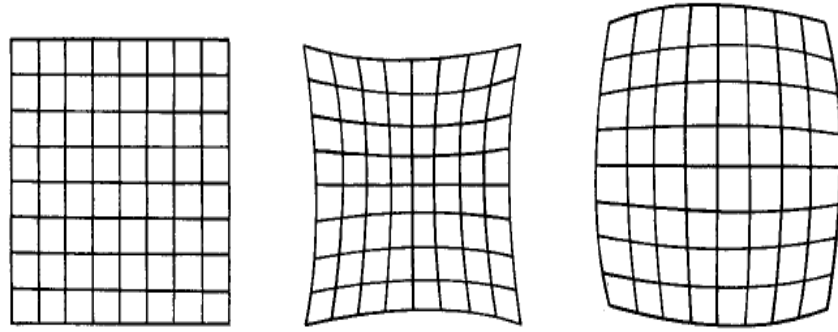


Şekil 2.23. Resim çarpıtma işleminde piksel taşıma işlemi (a) orijinal resimdeki piksel koordinatı (b) hedef resimdeki piksel koordinatı

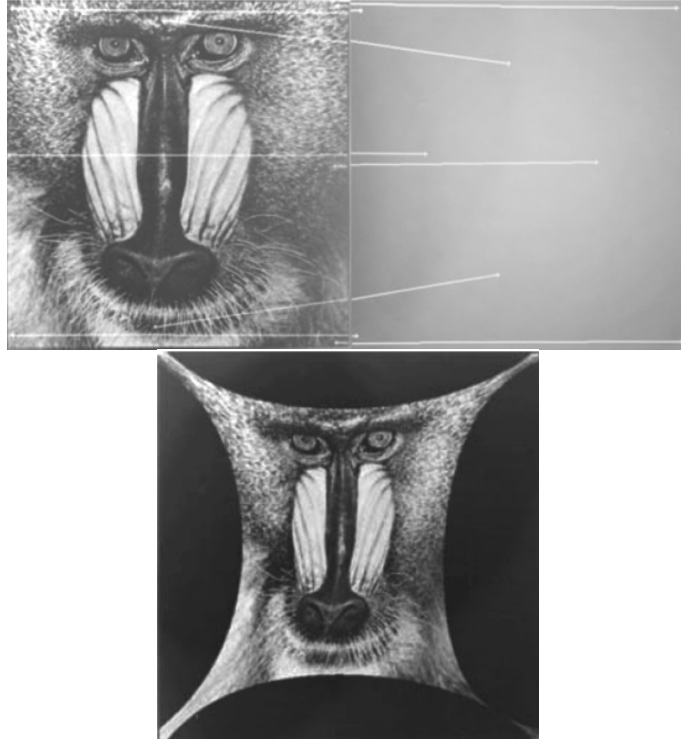
Denklem 2.36'da katsayılar ile çarpılarak polinom denklemini oluşturan denklem elemanları matris formunda verilmiştir. Denklem 2.37'de katsayılar kontrol noktaları vektörü ile denklem elemanları matrisinin çarpımı ile elde edilmektedir. Bu durumda hata minimum olacaktır. Denklemdeki A^{-1} , A matrisinin genelleştirilmiş tersidir. A matrisi kare matrisi olmadığı durumlarda, ters matrisi hesaplamak için genelleştirilmiş biçim kullanılır. Denklem 2.38'de genelleştirilmiş matris tersi verilmektedir.

$$A^{-} = [A^T A]^{-1} A \quad (2.38)$$

a, b katsayıları elde edildikten sonra resmin geneli için, polinom denklemi yardımı ile her piksel konumu hesaplanarak çıktı resmindeki yeni piksel değerleri bulunacaktır. Şekil 2.24.'te kamera merceğinden kaynaklanan bozulmalar gösterilmiştir. Şekil 2.25.'te çarpıtılmış bir resim gösterilmektedir.



Şekil 2.24. Resim çarpıtma işlemi (a) orijinal resim (b) pincushion çarpıtma (c) barrel çarpıtma [32]



Şekil 2.25. İkinci dereceden resim çarpıtma işlemi (a) orijinal resim ile hedef resim kontrol noktaları (b) çarpıtılmış resim[32]

3. BÖLÜM

3 BOYUTLU GRAFİK İŞLEME

3.1. Üç Boyutlu Grafik İşleme Temelleri

İki boyutlu grafikler yıllardır bilgisayar teknolojisinin uygulama alanlarında doğal bir parça olarak kullanılmaktadır. Üç boyutlu grafikler;

- Tıp
- Savunma, Güvenlik
- Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli Üretim
- Bilim ve Bilimsel Görselleştirme
- Eğitim ve Öğretim
- Eğlence
- Sanat
- Sanal Gerçeklik ve Güçlendirilmiş Gerçeklik
- Mimari

vb. alanlarda kullanılmaktadır.

3.2. Tarihçesi

Bilgisayar grafiklerinin temeli 1960'ların başında, MIT'e "Sketchpad" adlı doktora tezini hazırlayan Ivan Sutherland tarafından atıldı. Bu çalışmadan sonra bilgisayar grafiklerine ilgi, akademik ve endüstriyel alanda hızla arttı. Grafikleri gösterebilen cihaz teknolojisinde ve grafikleri saklayıp yönetebilme algoritmalarında kısa zamanda çok büyük yollar katedildi. 1969 yılında, özellikle grafik alanına ilgi gösterenler tarafından SIGGRAPH grubu kuruldu. 1971 yılında Gouraud, interpolated shading tekniğini geliştirdi. 1974 yılında Catmull Z-buffer, doku kaplama tekniğini geliştirdi. 3 Boyutlu modelleme çalışmalarının çok sınırlı olduğu bir dönemde Newell 1975 yılında Utah çaydanlığı olarak adlandırılan bezier eğrileri ile ilk free-form üç boyutlu modeli

geliştirdi. Teknolojinin hızlı gelişimi ile birlikte daha gerçekçi görünüme kavuşmak üzere çeşitli çalışmalar yapıldı. 1976 yılında Blinn evresel kaplama tekniğini geliştirerek yüzeyler üzerinde oluşan yansımaları elde etti. 1978 yılında Blinn ve Newell tarafından ortaya atılan yöntemle ise nesnenin geometrik yapısı değişmeden pütürlü, girintili çıkıntılı, kırıkık bir yüzeye sahip olması sağlandı. OpenGL standardının temeli olan IrisGL grafik kütüphanesinin geliştiricisi Silicon Graphics (SGI) firması 1982 yılında kuruldu. Opendgl'in 1992 yılında açık standart olarak duyurulmasının ardından üç boyutlu grafik yazılımları için kolay, hızla bir geliştirilme süreci başladı. 1995 yılında OpenGL'e alternatif olarak Microsoft firması tarafından DirectX duyuruldu. 1996 yılında pc'ler için ilk 3 boyut hızlandırıcılı grafik kartı 3dfx voodoo adı ile piyasaya sürüldü. 2001 yılında Geforce3 programlanabilir ekran kartı duyurulması ile nokta (vertex) programlama kavramı üç boyutlu grafiklerde daha gerçekçi yeni etkilere imkan sağladı. Üç boyutlu sahne gerçekliğini artırmaya yönelik çalışmalar sürmektedir[23-26].

3.3. Yazılımlar

Günümüzdeki birçok modelleme programı, 3B ( Boyutlu) modellere etkileşimli olarak herhangi bir eksen etrafında döndürülerek kolaylıkla bakabilme ve ayrıca modelin hareketli görüntülerini elde edebilme imkanı sunmaktadır. İki boyutlu grafikler bu açıdan bakıldığında çok yetersiz kalmaktadır.

Modelleme, benzetim, canlandırma ve tasarım işlemleri için paket yazılımlar kullanılmaktadır. Bu paket programlar mühendislikten, tıp alanına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu programların kullanılması üretim sürecini kolaylaştırmakta ve hızlandırmaktadır Bunun için ön koşul, yazılımı kullanan tasarımcının hem bilgisayar destekli tasarım (BDT - CAD) teknolojisine, hem de algı psikolojisine hkim olması ve yazılımı çok iyi bilmesi gerekmektedir. Aşağıda grafik sahasında yaygın kullanılan yazılımlar açıklanacaktır.

3DSMax[®], Autodesk tarafından geliştirilen bir 3B modelleme yazılımıdır. Ms-dos ortamında alışan 3D Studio programının devamı olan 3ds Max'in 2006 Mart'ta duyurulan son sürümü 3ds Max 8'dir. Gelişmiş eklenti desteği ve kolay kullanımı ile 3ds Max, 3D modelleme programları arasında en yaygın kullanıma sahip uygulamalardan biridir. Gelişmiş karakter modelleme özellikleri ile geliştiricilerinin

gözdesi haline gelmiştir. Film özel efektleri, mimari sunumlar ve endüstriyel tasarım sunumları gibi alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır.

3DSMax, parçacık sistemleri, karakter modelleme araçları, hareket yakalama araçları ve gelişmiş denetçiler gibi özellikleriyle tek bir pakette çok sayıda özelliği sunmaktadır. Ayrıca *MAXScript* adında tümleşik bir betik dili vardır. 3ds Max çok sayıda temel objeyi hazır olarak sunar. Mimari tasarımlar için duvar, kapı, pencere ve merdiven gibi bileşenleri ölçülerini kolayca değiştirerek projeye eklemek mümkündür. 3ds Max'in animasyon kontrolleri ile objelerin tüm özellikleri, materyaller, kameralar, ışıklar ve çevre özellikleri zaman içinde değiştirilebilir ve "*Curves Editor*" ile tüm bu özellikler üzerinde tam bir kontrol sağlanabilir. Değişken grafikleri Bezier eğrileriyle kontrol edilebilmektedir.

Maya[®], Alias firması tarafından uzun yıllar çıkarıldıktan sonra 2006 yılında 7.0 sürümü sonrasında, Alias firmasına ait diğer tüm yazılım ürünleriyle birlikte Autodesk firmasına satılan nurbs modelleme mantığı ile çalışan bir görsel tasarım yazılımıdır. Tasarım ve görsel efekt işlemleriyle uğraşan tüm dünya profesyonellerinin tercih ettiği bir yazılım olmasıyla da bilinmektedir. Maya için birçok özel şirket ve kişi öğrenimi ve eğitimi alanında da etkileşimli ortamda çalışan multimedya ürünleri geliştirmişlerdir.

Blender[®], 3B Modelleme, canlandırma, grafik oluşturma, üretim sonrası, etkileşimli tasarım ve oynatım için açık kaynak bir yazılımdır. En son sürümleri ticari yazılımlarla yarışabilecek düzeye gelmiştir. Oldukça küçük boyutta bir kurulum dosyasına sahip olup bir çok platformda sorunsuz çalışabilmektedir. Bir çok farklı geometri nesne desteğine sahiptir. YafRay açık kaynak ışın izleme ile bütünleştirilmiş içsel grafik oluşturma yeteneğine, birçok yeteneği olan canlandırma araçlarına, farklı işlevler için Python betik desteğine, doğrusal olmayan görüntü değiştirme ve birleştirme yeteneğine, gerçek zamanlı ve oyun uygulamalarında kullanılmak üzere etkileşim desteği sunan Game Blender alt projesine sahiptir.

Autocad[®], Autodesk firması tarafından hazırlanmış, dünya genelinde başta mühendisler ve mimarlar tarafından kullanılan, bilgisayar destekli çizim-tasarım yazılımıdır. Gerek kullanım ve öğrenim kolaylığı gerekse kullanıcı kitlesinin çok geniş olması tüm dünyada tartışmasız kullanılan en yaygın çizim yazılımı olmasını sağlamıştır. Son olarak 2006 sürümü çıkmıştır.

Rhinoceros[®], özellikle sanayi için 3 boyutlu modelleme ve prototipleme için tasarlanmış bir CAD/CAM yazılımıdır. Modellemede, Kafes (Mesh) modelleme yerine NURBS modelleme kullanıldığı için, 3 boyutlu prototipleme için uygundur. Poligon kafes (mesh) ve nokta bulutu (point cloud) desteği de vardır.

SoftImage XSI[®], Avid Technology'nin yan kuruluşu olan Softimage firması tarafından geliştirilen sinema, oyun ve reklamcılık sektöründe sıklıkla kullanılan bir üç boyutlu grafik yazılımıdır. SoftImage XSI Exp adlı bir sürümü ücretsiz kullanılabilir. Mental Ray bazlı rendercore motoru ile gelişmiş render özelliklerine sahiptir. Mixer adı verilen animasyon motoru ile modelleme, canlandırma, düzenleme işlemleri yapılmaktadır. XGs eşzamanlı gölgeleme aracı sayesinde tasarımcılar render yapmadan sonucu görmektedir.

Lightwave3D[®], Lightwave 1988 yılından bu tarafa geliştirilen, Newtek firmasına ait, 3 boyutlu modelleme, renderleme ve animasyon yazılımıdır. Yazılım bir çok farklı platformu desteklemektedir. Lightwave üstün render kabiliyeti ile uzun yıllar ön planda kalmıştır. Render uygulaması modelleme uygulamasında ayrı olarak bulunmaktadır ve ağ üzerinde eşzamanlı birden fazla makinede çalışabilmektedir. En üstün özelliği kaustik karmaşık ışık hesaplama kabiliyeti olan ışık-gölge hesaplama motorunu diğer bütün yazılımlardan önce barındırmasıdır. Lightwave LScript diye adlandırılan betik dili sayesinde programcılar tarafından geliştirilebilmektedir. Lightwave 3D 9 sürümü 2006 yılında piyasaya sürülmüştür.

Cosmos4D[®], Pilotlogic firması tarafından geliştirilen, kendi çalışabilir program, sunum, ekran koruyucu yapmak için özellikler barındıran, Object pascal betik dili kullanılarak programlanabilen bir yazılımdır. Birçok farklı programın dosya biçimini destekleyerek farklı yazılımlar ile dosya alışverişi sağlamaktadır.

MilkShape[®] 3D, Türk bir programcı tarafından geliştirilmiş düşük poligon üç boyutlu modelleme yazılımıdır. Kolay kullanımı ve diğer yazılımların dosya biçimlerini desteklemesinden dolayı modelleme aracı olarak diğer yazılımlar ile birlikte kullanılmaktadır.

3.4. Uygulama Geliştirme Araçları

Günümüzde üç boyutlu görüntüler oluşturmak için uygulama geliştirme

arabirimlerinden (API) yararlanılmaktadır. Kütüphaneleri tarafından sağlanan şekil, özellik ve hizmetlerin kullanımı, üç boyutlu grafik yazılımları geliştirme sürecini kolaylaştırıp hızlandırmaktadır. Birçoğu halen etkin kullanımda olan grafik API'leri, sunuldukları günden itibaren yenilenmektedirler. Bu arabirimler çok farklı amaçlar için kullanılabilir. Günümüzde en çok kullanılan grafik API olarak OpenGL, DirectX, Java 3D, JOGL sayılabilir.

OpenGL (Open Graphic Library), gelişmiş donanım desteğini kullanarak etkileşimli ve taşınabilir, platform bağımsız hem iki hem de üç boyutlu grafik uygulamaları geliştirmek için kullanılan tamamen açık kaynaklı ve ücretsiz bir grafik arabirimidir. 1992 yılında tanıtılmasından bu yana OpenGL endüstri içerisinde en çok kullanılan ve desteklenen API konumunu muhafaza etmiştir. Windows, Linux, MacOS ve Solaris gibi bir çok işletim sisteminde yaygın olarak ve Playstation 3 başta olmak üzere bazı oyun konsollarınca desteklenir. Donanım tarafında ise SGI, ATI, Nvidia ve Intel gibi büyük üreticiler her ekran kartında OpenGL desteği sunar. OpenGL geliştiriciler için yüksek görsel kalite ve başarıyı sağlamaya çalışmaktadır. Günümüzde endüstrinin bir çok alanında başarıyla kullanılmaktadır. 1992 yılında ilk taslağı sunulmuş olan bu standart, günümüzde 250'nin üzerinde fonksiyona sahip 2.0 sürümüne ulaşmıştır. Çoklu platform desteği içeren uygulamalar ve özellikle de deneysel ve bilimsel araçlarda açık arayla önde ve standart olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada OpenGL uygulama geliştirme arabirimi kullanılmıştır.

DirectX, Microsoft'un çoklu ortam yazılımlarını Microsoft işletim sistemleri üzerinde rahat, hızlı ve uyumlu şekilde hazırlayabilmek için geliştirdiği bir uygulama geliştirme arayüzüdür (API). İçerdiği bileşenler şu şekilde özetlenebilir:

Direct3D, hem iki hem üç boyutlu grafikler ile ilgili fonksiyonları içeren API kütüphanesidir. Piyasadaki çoğu ekran kartının en modern donanım hızlandırma özelliklerini destekler. Yeni geliştirilen sürümlerde ismi Windows Graphics Foundations (WGF, Windows Grafik Temelleri) olarak değiştirilmiştir. DirectSound hem iki hem üç boyutlu ses için kullanılır. Windows altında çalışabilen her ses kartı yazılım ile DirectSound ve DirectSound 3D desteğine sahiptir. DirectInput, klavye, fare ve oyun çubuğu gibi bileşenlerin giriş ve çıkışlarını basit bir şekilde yönetebilmek için olan arabirimdir. DirectPlay ise TCP/IP, modem ve Bluetooth gibi bir çok protokol

üzerinden bağlantı ve mesajlaşma bileşenlerini içerir. TCP/IP üzerinde NAT veya uPnP geçişlerini desteklemesi ve DirectPlay Voice ile saniyede 1.2 kbit'e kadar inebilen ses sıkıştırma codec'lere sahiptir. XBox oyun konsolunda da DirectX'in kullanılmaktadır. DirectX Managed modülünün .NET yazılım geliştirme aracı olarak sunulmasının ardından çok hızlı, kolay, karmaşık DirectX uygulamaları yazmak mümkün hale gelmiştir. Linux işletim sistemi altında Codega aracı ile DirectX uygulamaları geliştirilebilmektedir.

Java 3D, java platformunda kullanılabilen üç boyutlu sahne grafik bazlı uygulama geliştirme arayüzüdür (API). 2006 yılında Java 3D 1.4 sürümü duyurulmuştur. Java 3D diğer grafik API'lere nazaran sadece örtücü bir özellik göstermektedir. Nesneye dayalı bir arayüz ile diğer arayüzler üzerinde çalışan yüksek seviyeli bir arabirimdir. Java3D grafik programlamayı java programlama dili altında kolaylaştırmıştır. Temel hedefi grafik programlamayı nesneye yönelik programlama ile gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Scene graph nesnesi altında tanımlama yapılarak üç boyutlu grafik geliştirmeleri yapılmaktadır.

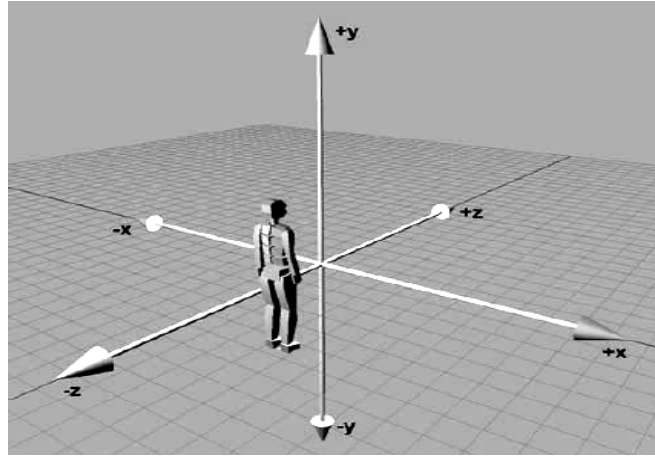
JOGL, OpenGL fonksiyonlarının nesneye yönelik programlama tekniği ile java platformu altında kullanılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

GLScene ise OpenGL fonksiyonlarının Delphi programlama aracı altında, nesneye yönelik olarak programlanması için geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir üç boyutlu grafik bileşen kütüphanesidir. Görsel kütüphaneler ve nesnelere ile üç boyutlu sahnelerin tanımlanması ve render edilmesini gerçekleştirir.

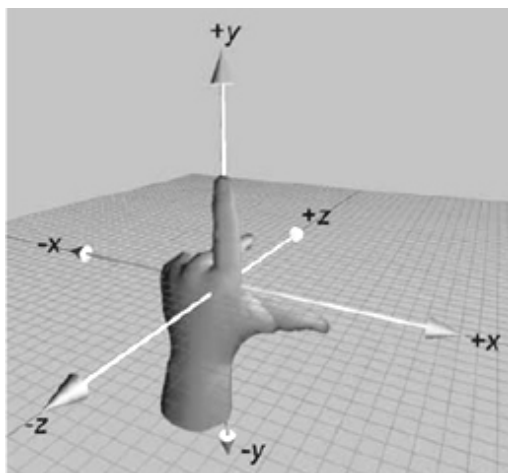
3.5. Koordinat Sistemi

N boyutlu uzayda bir noktaya bir takım sayı bilgisinin verilmesine matematik ve uygulamalarında koordinat sistemi denilmektedir. Üç boyutlu grafik, üç boyutlu gerçek dünyanın modellenmesi, iki boyutlu bilgisayar çıkış birimleri üzerinde olabildiğince gerçeğine yakın gösterilmesini matematiksel olarak temel almaktadır. Bu tür matematiksel işlemler bilgisayar teknolojisinde, üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi ile modellenmektedir. Şekil 3.1.'de üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi gösterilmiştir. İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde her noktanın bir düzlem üzerindeki konumu birbirine dik iki doğru olan x ve y doğru değerleri ile tanımlanır.

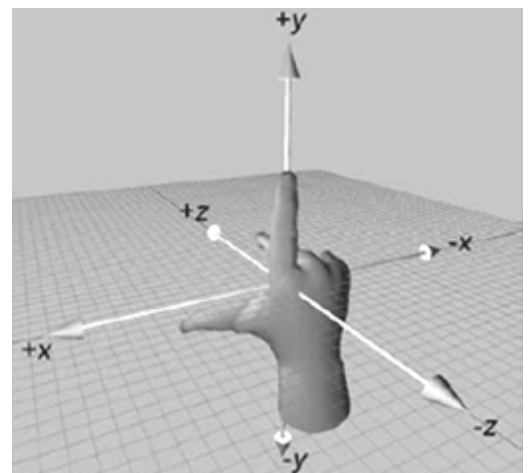
Üç boyutlu koordinat sisteminde ise, nokta, uzayın fiziksel ölçülerinde üç ayrı sayı değeri (x,y,z) ile belirlenir. Üç boyutlu koordinat sistemi üç ayrı düzlem ile iki boyutlu koordinat sistemi alt kümelerine ayrılır. Kartezyen koordinat sistemleri, sağ el ve sol el koordinat sistemleri olarak iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Şekil 3.2.'de kartezyen koordinat sistemleri sağ el ve sol el kuralına göre gösterilmektedir. Bu çalışmada sağ el koordinat sistemi kullanılmıştır. Sağ el koordinat sisteminde, sağ elin başparmağı $+X$ yönünü, işaret parmağı $+Y$ yönünü, diğer parmaklar ise $+Z$ yönünü göstermektedir. Şekil 3.2.'de sağ el ve sol el kurallarına göre kartezyen koordinat sistemleri gösterilmiştir[25].



Şekil 3.1. Üç boyutlu koordinat sistemi



(a)



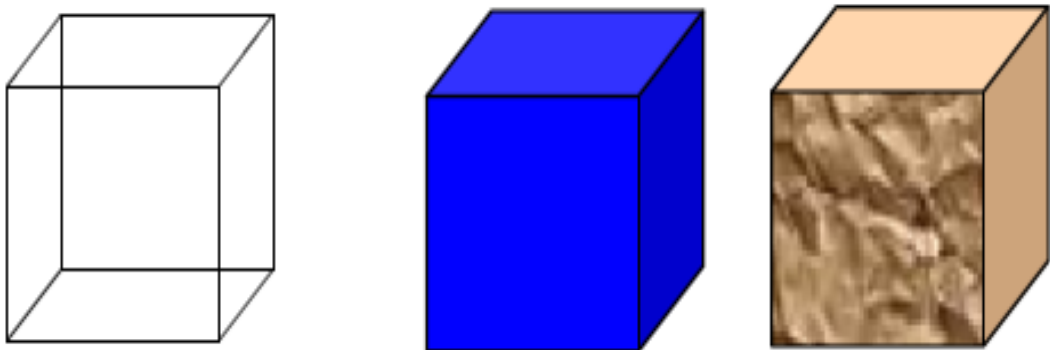
(b)

Şekil 3.2. Kartezyen koordinat sistemleri (a) Sol el koordinat sistemi (b) Sağ el koordinat sistemi

3.6. Nesne Modelleme

Üç boyutlu grafik uygulamalarında nesne modelleme nesnenin özelliklerine bağlı birçok farklı teknikle modellenebilir. Gerçekçi modellemeler yapabilmek için uygun modelleme tekniği seçilmelidir. Çokgenler ve ikinci dereceden yüzeyler elipsoid ve çok yüzlü nesnelere tanımlamak için kullanılır ve kesin tanımlamaları yapılmalıdır. Uçakların kanat ve motorları vb mühendislik yapılarının tasarımı spline yüzeyleri ve yapılandırma teknikleri ile modellenmektedir. Bulut, ot vb. belirli bir dağılımı olmayan doğal nesnelere, fraktal modelleme ile tasarlanmaktadır. Tıbbi alandaki nesnelere gibi dahili görüntülerin gösterilmesi gerektiğinde nesnelere octree kodlamaları ile modellenmektedir.

Katı modelleme yapıldığında nesnelerin yapıldığı madde, yansıtıcılık ve geçirgenlik gibi özellikleri, yüzeylerin renk, doku özellikleri ve kenarların özellikleri de veri yapılarına uygun şekilde depolanmalıdır. Nesnelerin bu tür özelliklerinin dikkate alınarak görüntülenmeleri katı gösterim (solid representation) olarak adlandırılır. Nesnelerin yüzey yapısının sadece çerçevelerinden oluşan gösterim biçimine tel kafes gösterim (wireframe representation) adı verilmektedir. Şekil 3.3.'te tel kafes, katı ve doku kaplamalı gösterim görülmektedir. Sadece kenarlar çizildiğinden ve yüzeyleri oluşturan her bir noktanın renginin hesaplanması ve çizilmesi gerekmediğinden genelde önizlemelerde nesnelerin genel görüntüsünü veren tel kafes gösterim kullanılır. Kenar listesinin tutulması tel kafes görüntülerin doğrudan oluşturulmasını sağlar[25-30].

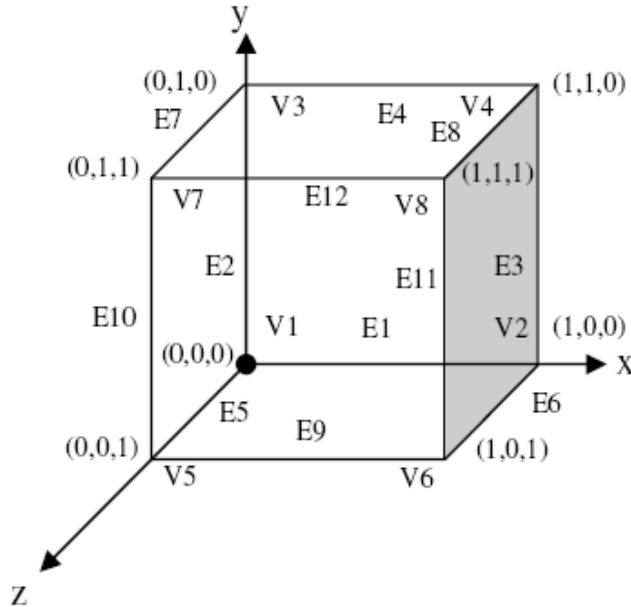


Şekil 3.3. Üç boyutlu gösterim şekilleri (a) Tel kafes(wireframe) gösterim (b) Katı (Solid) gösterim (c) Doku kaplı gösterim (texture mapped)

3.6.1. Çokgen yüzeyler (Polygonal Mesh)

Yüzeyleri çokgen olan üç boyutlu nesnelere, köşe, kenar ve yüzey bilgileri ile tanımlanır. Bu bilgileri tutmak için köşe listesi, kenar listesi, çokgen yüzey listesi oluşturulur. Bu listelerin oluşturulmasında statik veya dinamik veri yapıları kullanılabilir. Köşe listesi, köşelerle birlikte köşelerin üç boyutlu koordinatlarını içerir. Kenar listesi, kenarları ve kenarları oluşturan köşeleri tutar. Çokgen yüzey listesi ise yüzeyleri oluşturan kenarları tutar. Basit bir küp şeklinin bilgisayarda tanımlanması için 8 köşenin koordinatlarının, 12 kenarı oluşturan köşelerin ve 6 yüzeyi oluşturan kenarların bilgilerinin tutulması gerekmektedir. Şekil 3.4.'te küp nesnesinin köşe ve kenarları gösterilmiştir. Tablo 3.1.'de nesnenin köşe ve kenar listesi verilmiştir. Bazı durumlarda ise kenar listesi kullanılmadan yüzey bilgileri doğrudan köşe bilgilerinden oluşturulur. Bu durumlarda sadece köşe listesi ve çokgen yüzey listesinin tutulması yeterlidir. Karmaşık nesne tanımlamasında yüksek sayıda poligon kullanılması gerekliliği dezavantajdır.

Eğrisel yüzeyler de çokgen yüzey yaklaşımı ile gösterilebilir. Örneğin bir silindir çokgen-ağı şeklinde parçalı çokgenler yardımı ile çizilebilir. Çokgen dilimlerin sayısı artırıldıkça silindir eğrisel bir yapıya kavuşur[30- 32].



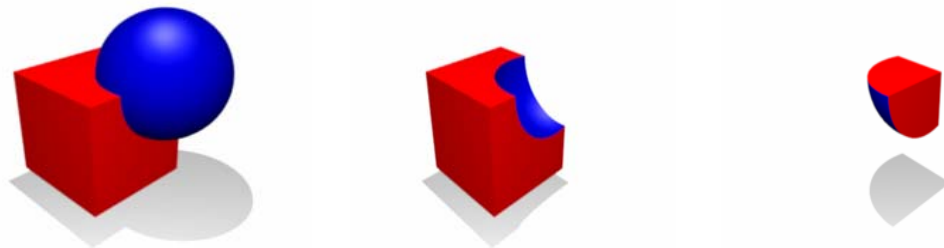
Şekil 3.4. Köşe listesi ve kenar listesi ile tanımlanmış küp nesnesi

Tablo 3.1. Küp nesnesi için köşe ve kenar listesi

Köşe Listesi		Kenar Listesi	
Köşe No	Koordinatlar	Kenar No	Köşeler
V1	(0,0,0)	E1	(V1,V2)
V2	(1,0,0)	E2	(V1,V3)
V3	(0,1,0)	E3	(V2,V4)
V4	(1,1,0)	E4	(V3,V4)
V5	(0,0,1)	E5	(V1,V5)
V6	(1,0,1)	E6	(V2,V6)
V7	(0,1,1)	E7	(V3,V7)
V8	(1,1,1)	E8	(V4,V8)
		E9	(V5,V6)
		E10	(V5,V7)
		E11	(V6,V8)
		E12	(V7,V8)

3.6.2. Yapısal Katı Geometrisi (Constructive Solid Geometry, CSG)

Küme işlemleri ile temel nesnelerin hacimlerinin birleştirilmesi, farklarının veya kesişimlerinin alınması ile üç boyutlu nesnelerin modellenmesidir. Şekil 3.5.'te küp ile küre etkileşimi gösterilmiştir.



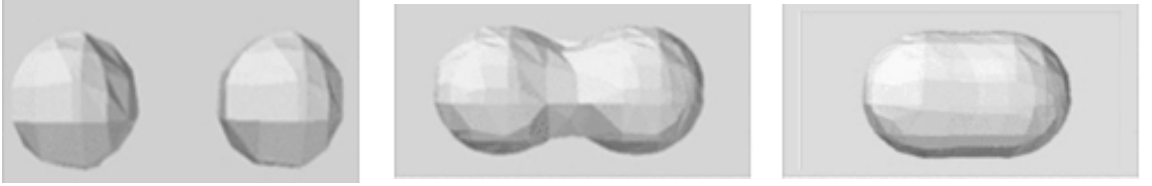
Şekil 3.5. Küre ile küp nesneleri ile elde edilen farklı modeller (a) birleşim (b) fark (c) kesişim

3.6.3. Sürüklenme Modelleme (Swept Modelling)

İki boyutlu bir şeklin uzayın bir bölgesi boyunca sürüklenmesi ile üç boyutlu nesnelerin elde edilmesi yöntemidir. Şekil sürüklenme ile üç boyutlu hacim kaplayan nesne oluşturacaktır. Örneğin bir daire yüzey normalini boyunca sürüklendiğinde silindirik bir nesne, bir dik üçgen kenarların biri etrafında döndürüldüğünde koni oluşacaktır.

3.6.4. Damlacık Modelleme

Bazı nesnelere sabit şekillerini koruyamazlar, hareketlerde ve başka nesnelere yaklaştıklarında yüzeylerinin özellikleri değişir. Molekül yapıları, kas şekilleri, su damlaları, eriyen nesnelere bu tür özellikler taşır. Organik görünümlü n-boyutlu nesnelere modelleme işlemine blobby ya da metaball modelleme denilmektedir. Şekil 3.6.'da bu tür nesne modellemesi gösterilmiştir.



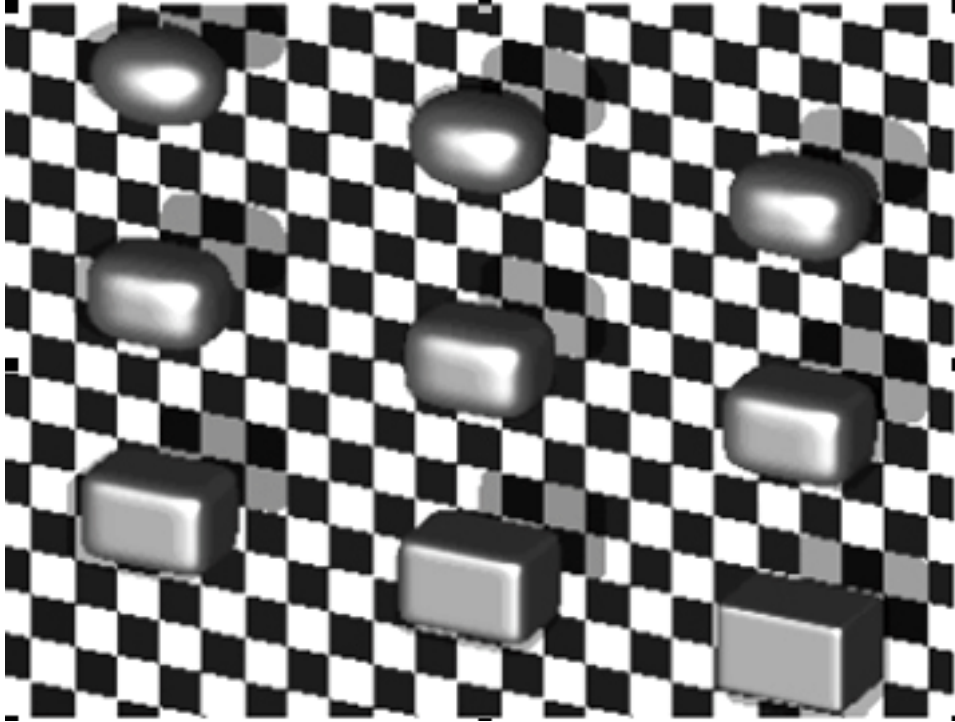
Şekil 3. 6. İki damlacığın farklı uzaklıklardaki görünümü

3.6.5. Superquadric Modelleme

Nesne şekillerini, ikinci dereceden denklemlere ek parametreler yerleştirilerek esnek bir şekilde modelleme tekniğidir. Quadric gösterimlerin genelleştirilmiş şekilleridir. Ek parametre sayısı nesnenin boyutuna eşittir. Eğriler için 1 ve yüzeyler için 2 parametre almaktadır.

Şekil 3.7.'deki şeklin denklemi aşağıda verilmiştir. a, b, c değişkenleri elipsoidin boyutlarını tanımlarken, ε_1 ve ε_2 şekil parametrelerini tanımlamaktadır.

$$\left[\left(\frac{x}{a} \right)^{\frac{2}{\varepsilon_2}} + \left(\frac{y}{b} \right)^{\frac{2}{\varepsilon_2}} \right]^{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} + \left(\frac{z}{c} \right)^{\frac{2}{\varepsilon_1}} = 1 \quad (3.1)$$



Şekil 3.7. ε_1 ve ε_2 parametreleri değiştirilerek tanımlanmış superquadric modellenmiş nesne şekilleri

3.6.6. Parametrik Eğriler

Eğrisel şekillerin birkaç parametrik nokta ile tarif edilmesi tasarımcılara büyük kolaylık sağlamaktadır. Bunun için Spline ve Bezier eğri ve yüzey modelleme kullanılmaktadır. Çizimin hassasiyeti, çözünürlüğün değiştirilmesi ile artırılıp azaltılabilir. Dolayısıyla görüntü ne kadar büyütülürse büyütülsün her zaman eğri düzgünlüğünü koruyacaktır.

3.6.6.1. B – Spline Eğrisi

B-Spline eğrisi çiziminde kontrol noktalarının sayısı ve eğrinin derecesi, düğüm vektörü eğriyi belirleyen parametrelerdir. Şekil 3.8.'de 7 kontrol noktasına sahip üçüncü dereceden bir B-spline eğrisi gösterilmiştir.

Düğüm vektörü T , $T = \{t_0, t_1, \dots, t_m\}$, $t_i \in [0, 1]$, kontrol noktaları P , P_0, \dots, P_n ve eğrinin derecesi $p = m - n - 1$ olmak üzere $t_{p+1}, \dots, t_{m-p-1}$ iç düğümlerdir. Temel fonksiyonları;

$$N_{i,0}(t) = \begin{cases} 1 & t_i \leq t < t_{i+1} \quad \text{ve} \quad t_i < t_{i+1} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.2)$$

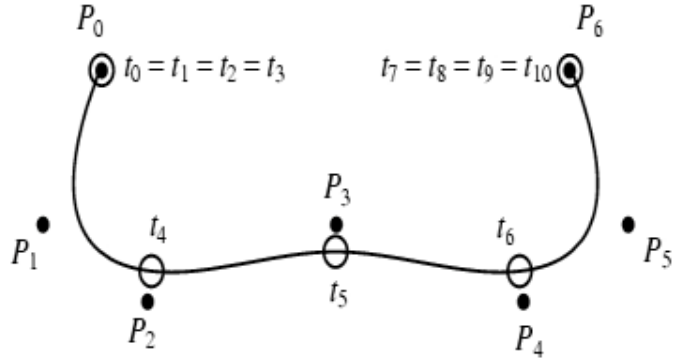
ve

$$N_{i,p}(t) = \frac{t-t_i}{t_{i+p}-t_i} N_{i,p-1}(t) + \frac{t_{i+p+1}-t}{t_{i+p+1}-t_{i+1}} N_{i+1,p-1}(t) \quad (3.3)$$

olmaktadır.

Eğri denklemi Denklem 3.4'de verilmiştir.

$$C(t) = \sum_{i=0}^n P_i N_{i,p}(t) \quad (3.4)$$



Şekil 3.8. Üçüncü dereceden 6 kontrol noktalı B-Spline eğrisi

3.6.6.2. Kübik Spline Eğrisi

Kübik spline eğrisi, m kontrol noktasından geçen üçüncü derece polinom parçası olan bir eğridir. Her polinomun ikinci türevi bitiş noktalarında sıfırdır. Bu durum $m-2$ denklem ile eğriyi tanımlamaya imkan sağlar. $n+1$ nokta için, $t \in [0,1]$ ve $i = 0, \dots, n-1$ olmak üzere,

$$Y_i(t) = a_i + b_i t + c_i t^2 + d_i t^3 \quad (3.5)$$

$$Y_i(0) = y_i = a_i \quad (3.6)$$

$$Y_i(1) = y_{i+1} = a_i + b_i + c_i + d_i \quad (3.7)$$

Denklem 3.5'in türevi alındığında;

$$Y_i'(0) = D_i = b_i \quad (3.8)$$

$$Y_i'(1) = D_{i+1} = b_i + 2c_i + 3d_i \quad (3.9)$$

Denklem takımı çözüldüğünde,

$$a_i = y_i \quad (3.10)$$

$$b_i = D_i \quad (3.11)$$

$$c_i = 3(y_{i+1} - y_i) - 2D_i - D_{i+1} \quad (3.12)$$

$$d_i = 2(y_i - y_{i+1}) + D_i + D_{i+1} \quad (3.13)$$

İkinci türevlerinde noktalarla eşleşmesi gerektiğinden,

$$Y_{i-1}(1) = y_i \quad (3.14)$$

$$Y_{i-1}'(1) = Y_i'(0) \quad (3.15)$$

$$Y_i(0) = y_i \quad (3.16)$$

$$Y_{i-1}''(1) = Y_i''(0) \quad (3.17)$$

İç noktalar için,

$$\begin{aligned} Y_0''(0) &= 0 \\ Y_{n-1}''(1) &= 0 \end{aligned} \quad (3.18)$$

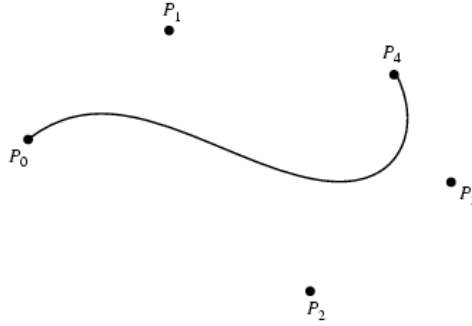
3.6.6.3. Bezier Eğrisi

Bezier eğrisi $n+1$ kontrol noktası için, P_0, P_1, \dots, P_n , aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$C(t) = \frac{\sum_{i=0}^n B_{i,p}(t)w_i P_i}{\sum_{i=0}^n B_{i,p}(t)w_i} \quad (3.19)$$

$t \in [0,1]$ olmak üzere $B_{i,p}$ bernstein polinomudur.

Bezier eğrisi her zaman başlangıç ve bitiş noktalarından geçer ancak ara kontrol noktalarından geçmemektedir. Şekil 3.9.'da 5 kontrol noktası ile tanımlanmış Bezier eğrisi gösterilmiştir. Şekil 3.10.'da tamamı Bezier eğrileri ile çizilmiş bir nesne görülmektedir.



Şekil 3.9. Bezier eğrisi



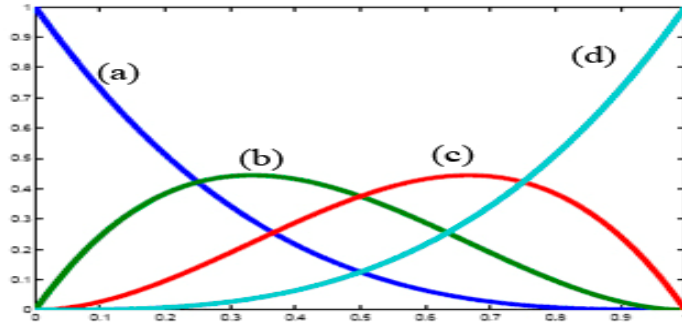
Şekil 3.10. Bezier eğrileri ile çizilmiş Utah çaydanlığı ve çay takımı [41]

3.6.6.4. NURBS Eğrisi

Düzenli olmayan b spline eğrisi (non uniform rational b-spline) aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir.

$$C(t) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(t)w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(t)w_i} \quad (3.20)$$

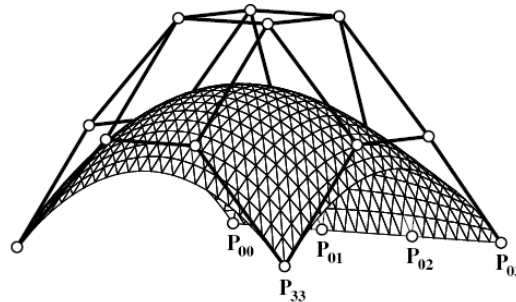
Eğrinin derecesi P , B-Spline temel fonksiyonları $N_{i,p}$, kontrol noktaları P_i ile sembolleştirilmiştir. Şekil 3.11.'de Bezier eğrisi temel fonksiyonları görülmektedir.



Şekil 3.11. Bezier eğrisi temel fonksiyonları (a) mavi $B_0^3(t)$, (b) yeşil $B_1^3(t)$, (c) kırmızı $B_2^3(t)$, d) turkuaz $B_3^3(t)$

3.6.7. Parametrik yüzey kafesleri (parametric surface patch)

Ayrıntılı nesne modellenmesi gerektiğinde yüksek sayıda poligon kullanımı yoğun bellek kullanımı, yüksek işlemci maliyeti gereksinimiyle birlikte, modelin değiştirilmesi için çok sayıda kontrol noktası değiştirilmesi gerekliliğine sebep olacaktır. Bundan dolayı az sayıdaki kontrol noktası ile tanımlanabilen yüzeylere ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 3.12'de az sayıda kontrol noktaları ile tanımlanmış yüzey gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Parametrik yüzey

3.6.7.1. Bezier Yüzey kafesi

Bezier yüzeyleri 4x4 ızgara köşe noktaları ile 9 küçük yüzeyin birleşimi ile tanımlanır. Kontrol noktalarının yeri değiştirilmesi sonucunda yüzeyin şekli verilen süreklilik ve düzgünlük değerlerine göre yeniden hesaplanır. Bezier yüzeyi kontrol noktalarından geçemeyebilir. Sadece dört köşe noktası Bezier yüzeyi üzerinde yer alırken, diğer kontrol noktaları sadece Bezier yüzeyin düzlem olması durumunda yüzeyin üzerinde yer alır. Bezier yüzeyi kontrol noktaları $P_{i,j}$, $0 \leq i \leq 4, 0 \leq j \leq 4$, olmak üzere ;

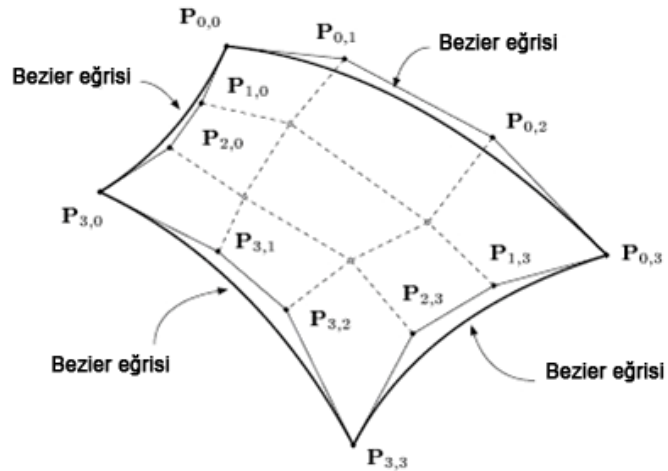
$$P(u, v) = \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n P_{i,j} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v) \quad (3.21)$$

olmaktadır. Görüldüğü üzere bu denklem Bezier eğrisinin genel formundadır. Çift değişkenli bernstein polinomları, $B_{i,n}(u)B_{j,m}(v)$, dır.

$v=0$ kabul edilirse , $j= 1,2, \dots, m$ için $B_{0,m}(0) = 1$ ve $B_{j,m}(0) = 0$ iken;

$$\begin{aligned} P(u, 0) &= \sum_{j=0}^m \sum_{i=0}^n P_{i,j} B_{i,n}(u) B_{j,m}(0) \\ &= \sum_{i=0}^n P_{i,0} B_{i,n}(u) \end{aligned} \quad (3.22)$$

Bu denklem görüldüğü gibi Bezier eğrisi denklemine benzemektedir. $P(u,1)$, $P(0,v)$ ve $P(1,v)$ nin benzer hesaplamaları sonucunda yüzeyin kenar eğrilerinin tamamının Bezier olduğu görülür. Şekil 3.13'te Bezier yüzeyi gösterilmiştir.



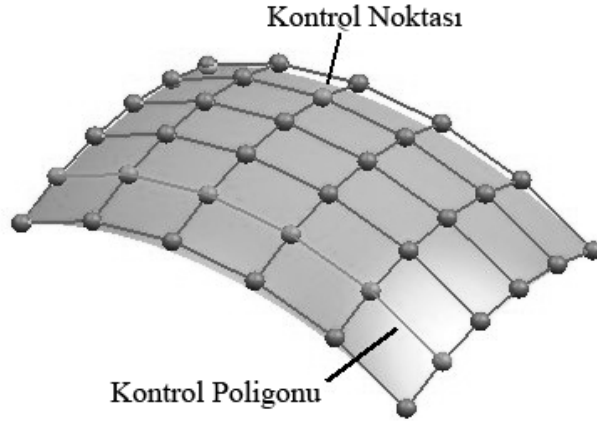
Şekil 3.13. Bezier yüzeyi

3.6.7.2. Nurbs Yüzey

Otomobil, gemi gibi endüstriyel parçaların tasarımında 1950lerden bu yana kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım, üretim ve mühendislik çalışmalarında sıklıkla kullanılan modelleme aracıdır. (p,q) derecesine sahip nurbs yüzeyi şu şekilde tanımlanır. Şekil 3.14.'te nurbs yüzeyi gösterilmiştir.

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j}} \quad (3.23)$$

Denklemdaki $N_{i,p}$ ve $N_{j,q}$ Bspine temel fonksiyonları, $P_{i,j}$ kontrol noktaları, $w_{i,j}$ ağırlık değerleridir.



Şekil 3.14. Nurbs Yüzeyi

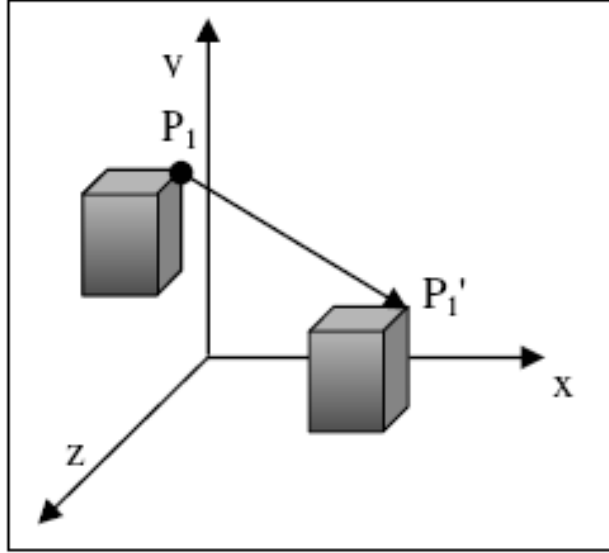
3.7. Geometrik Dönüşümler

Dönüşümler, nesnelerin koordinat tanımlarının değiştirilmesi için yapılan işlemlerdir. Nesnelerin konum, şekil, boyut özelliklerinin değiştirilmesi gerektiğinde kullanılır. Yer değiştirme, döndürme, ölçeklendirme temel geometrik dönüşümler arasında yer alır.

3.7.1.1. Yer değiştirme

Üç boyutlu uzayda bir cismin yer değiştirilmesi, cismin kontrol noktalarının tamamının belirtilen dönüşüm matrisi yardımı ile taşınmasıdır. Şekil 3.15.'te yer değiştirme işlemi gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$



Şekil 3.15. Üç boyutlu uzayda nesnenin yer değiştirilmesi işlemi

3.7.1.2. Döndürme

Üç boyutlu döndürme işlemi için döndürme ekseninin belirtilmesi gerekmektedir.

Z eksenini etrafında döndürme;

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' &= x \sin \theta + y \cos \theta \\ z' &= z \end{aligned} \quad (3.25)$$

X eksenini etrafında döndürme;

$$\begin{aligned} y' &= y \cos \theta - z \sin \theta \\ z' &= y \sin \theta + z \cos \theta \\ x' &= x \end{aligned} \quad (3.26)$$

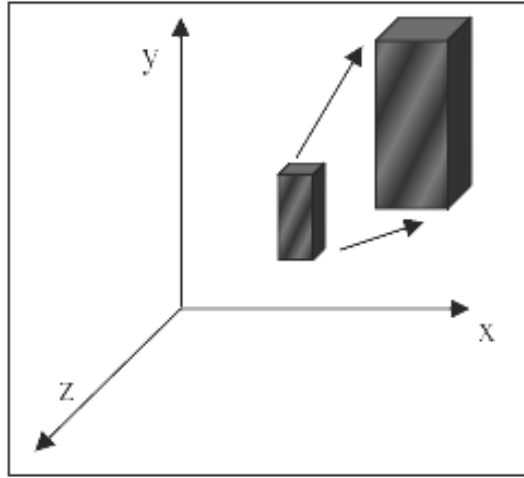
Y eksenini etrafında döndürme;

$$\begin{aligned}
z' &= z \cos \theta - x \sin \theta \\
x' &= z \sin \theta + x \cos \theta \\
y' &= y
\end{aligned}
\tag{3.27}$$

3.7.1.3. Ölçeklendirme

Bir nesneyi ölçeklendirmek, kontrol noktalarını dönüşüm matrisi ile çarparak yeni konumlarına taşıma işlemidir. Şekil 3.16'da ölçeklendirme işlemi gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}
\tag{3.28}$$



Şekil 3.16. Üç boyutlu uzayda nesnenin ölçeklendirilmesi işlemi

3.8. Doku Kaplama (Texture Mapping)

Doku kaplama, gerçekçi görünüm kazandırmak için desen resminin uygun dönüşümler yardımı ile üç boyutlu nesnelerin üzerine kaplanmasıdır. Doku kaplaması yapılmamış model, tek renk ile boyandığında derinlik etkisini vermesine rağmen görünümü gerçekçi olmayacaktır. Doku kaplama yöntemi, iki boyutlu resimlerin ya da prosedürel teknikler ile tanımlanmış dokuların nesne yüzeyleri üzerine kaplanmasıdır. Doku kaplamanın yararı sahneye ayrıntı katmasıdır. Doku kaplama aydınlanma modelinin bağlı olduğu parametrelerin doku adı verilen yapılardan alınmasıdır. Bu yöntem ilk olarak 1974

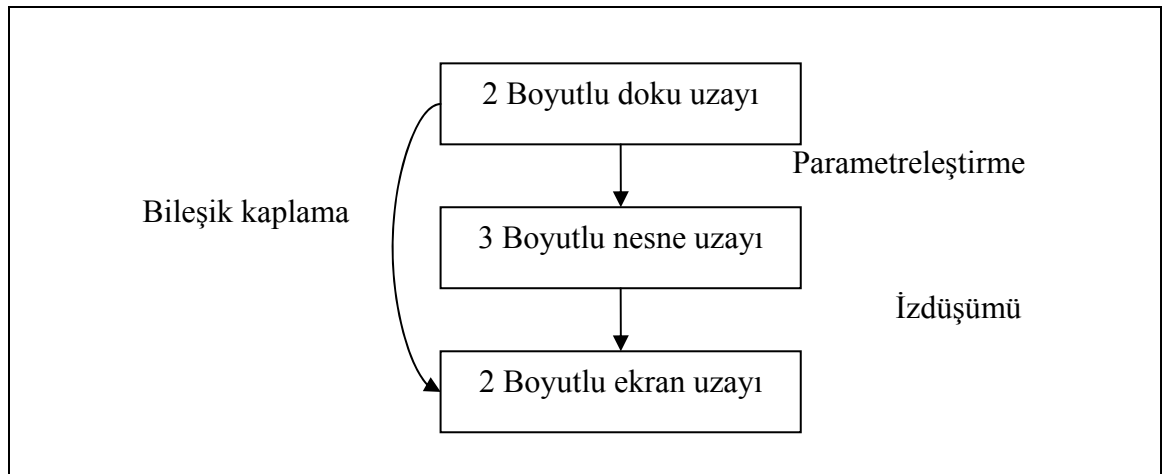
yılında Catmull tarafından bulunmuş, 1976 yılında Blinn ve Newell tarafından geliştirilmiştir.

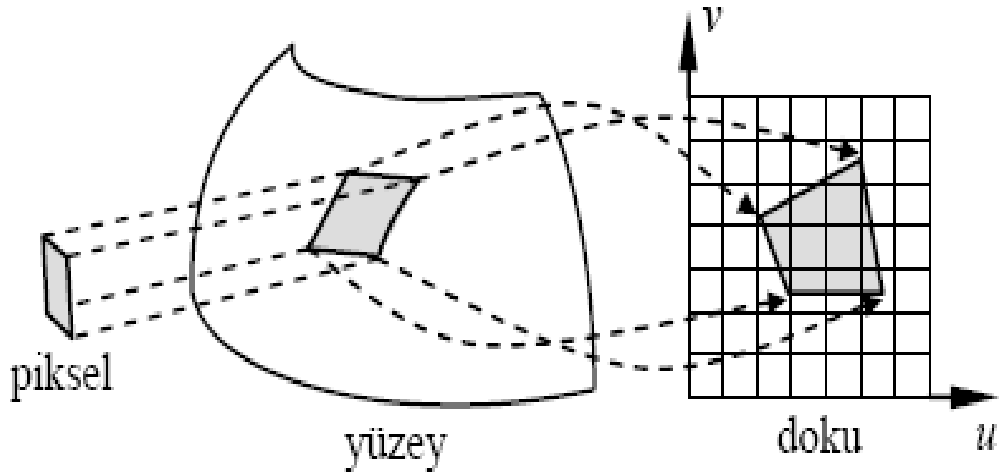
Doku kaplama birçok yüzey parametrelerini içerir. Yüzey normal bilgilerini bombeli yüzeyler için kullanan, pütürlü kaplama, yarısaydam saydam yüzeylerin donukluğunu hesaplayan saydamlık kaplama, yüzeyin parlama özelliğini hesaplayan parlaklık kaplama, bütün yönlerden gelen ışıklar ile aydınlanma özelliğini hesaplayan aydınlatma kaplama doku kaplamanın aşamalarıdır. Örneğin tuğlalardan oluşmuş bir duvarın her ayrıntısını poligon ile modellemek yerine dikdörtgen prizması üzerine tuğla resminin kaplanması hem kolay hem hızlı modelleme sağlayacaktır.

Doku kaplama tekniği iki temel aşamada gerçekleşir. İlk adımda ekranda görüntülenecek pikselin dört köşesinin yüzey üzerine izdüşümü alınır. Ardından piksel köşeleri dokunun tanımlandığı iki boyutlu (u,v) koordinat sistemine taşınır. Dört (u,v) koordinatı doku üzerinde dörtgen belirtir. Bu dörtgen içinde bulunan doku elemanlarının ortalama değeri alınır. Tablo 3.2.'de görüldüğü üzere doku kaplamanın birinci adımı, doku uzayının nesne uzayına eşlenmesidir. Ardından görünüm dönüşümü uygulanarak nesne modelinin iki boyutlu ekran uzayına izdüşürülmesidir. Şekil 3.17.'de doku kaplama işlemi gösterilmiştir.

Doku kaplama algoritmasında ekran eşleme, doku eşleme, iki aşamalı eşleme olmak üzere üç farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Tablo 3.3.'te doku kaplama algoritmaları verilmiştir.

Tablo 3.2. Doku kaplama aşamaları





Şekil 3.17. Doku kaplama işlemi

Tablo 3.3. Doku kaplama algoritması

```

Ekran Eşleme ;
for y , for x
u(x,y) ve v(x,y) hesapla
Doku(u,v) yi ekran(x,y) koordinatına kopyala
Desen Eşleme ;
for v , for u
x(u,v) ve y(u,v) hesapla
Doku(u,v) yi ekran(x,y) koordinatına kopyala
İki-aşamalı ;
for v , for u
x(u,v) hesapla
Doku(u,v) yi geçici(x,v) koordinatına kopyala
for x , for v
y(x,v) hesapla
Geçici(x,v) yi ekran(x,y) koordinatına kopyala

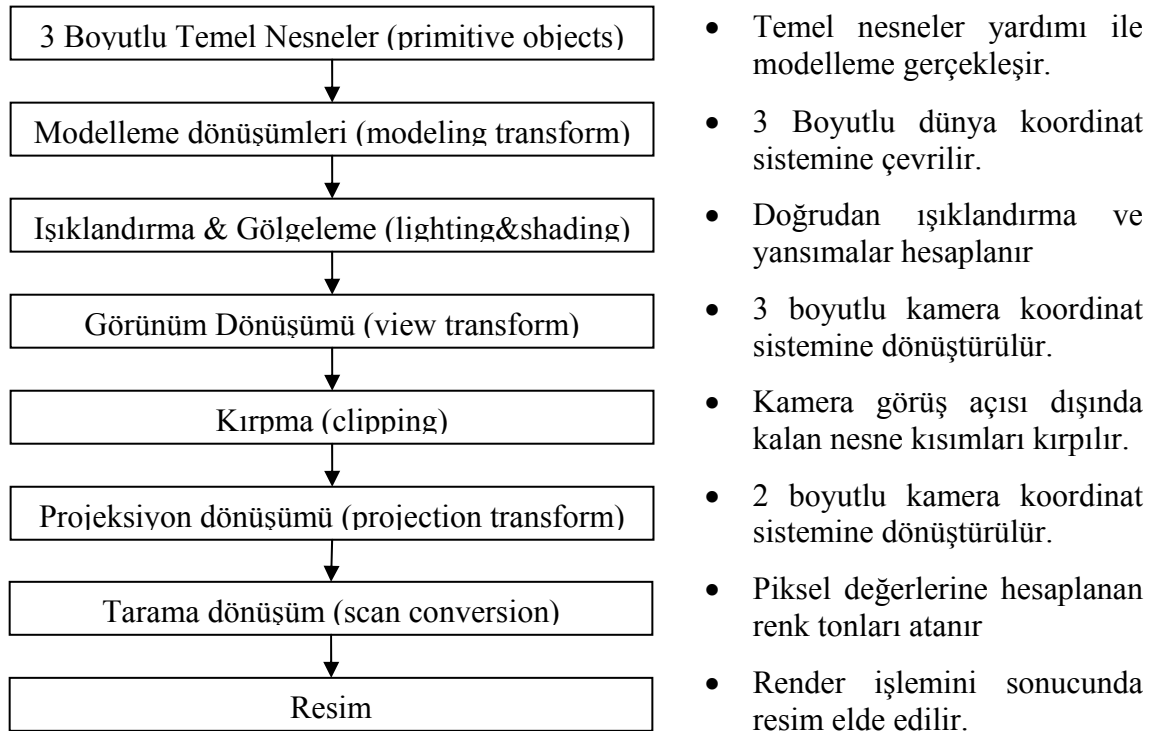
```

3.9. Render İşlemi

Üç boyutlu grafik uygulamalarında üç boyutlu nesne modeli, gerçekçi ışıklandırma parametreleri ve nesne doku kaplama parametreleri tanımlandıktan sonra gerçekçi görünümün hesaplanması işlemine render işlemi olarak adlandırılır. Tablo 3.4 de render işleminin adımları gösterilmiştir.

Sonuç görüntü hesaplama işlemi, üç boyutlu temel nesne şekillerinin çizilmesi ile gerçekleşir. Daha sonra bu nesneler üç boyutlu dünya koordinat sistemine çevrilir. Aydınlatma parametreleri ile ışıklandırma ve gölgeleme özellikleri hesaplanır. Bunun ardından kamera koordinat sistemine dönüştürülür. Kameranın bakış açısına göre hesaplamalar yapılarak nesnenin kamera görüş açısı dışında kalan bölgeleri belirlenir. Kamera bakış açısına uygun üç boyutlu sistemin izdüşümü alınır. Elde edilen İki boyutlu resimde nesnelerin yüzey piksel değerleri, aydınlatma parametresi, doku resmi dikkate alınarak hesaplanan renk ton değeri atanır. Render işleminin tamamlanması ile ekranda iki boyutlu sahne resmi gösterilir.

Tablo 3.4. Üç boyutlu gösterim render işlem aşamaları



4. BÖLÜM

DESEN KAPLAMA YAZILIMI

4.1. İki Boyutlu Desen Kaplama

Üç boyutlu modelleme yazılımları, sahnenin tamamının modellenmesi ile sahnedeki bütün nesnelerin istenen biçimde doku ile kaplanmasına imkân sağlamaktadır. Öncelikle sahnedeki bütün nesneler istenen detaya göre modellenmelidir. Ardından sahneye uygun ışıklandırma parametreleri ayarlanmalıdır. Daha sonra sahnenin yeni görüntüsünün hesaplanması (render) işlemi ile bütün nesnelerin sahip olması istenen desen görüntüleri elde edilir. Üç boyutlu modellemede sahne ne kadar ayrıntılı tasarlanırsa tasarlansın gerçek fotoğrafın orijinalliğini veremeyebilir. Desen kaplama probleminde ilgilenilen ve değiştirilmek istenen sadece ürün olduğundan dolayı, sahnenin ürün haricinde kalan kısımlarını modellemek ayrıca zaman kaybına neden olacaktır. Üstelik bu işlemler, yeterli grafik eğitimi almış, tecrübe sahibi uzman kişiler tarafından yapılabilmektedir. Bu problemler için daha basit uygulamalarla bazı çözümler getirilmiştir.

Tez çalışmasının ilk aşamasında iki boyutlu desen kaplama yazılımı geliştirilmiştir. Çolakoğlu tarafından lisans döneminde yapılan çalışmada[43], nesneler üzerinde bölgesel seçimler yapılmak suretiyle kaplama işlemi düzlemsel olarak gerçekleştirilmekle birlikte bir takım modeller üzerinde benzetim gerçeklikten uzak kalmıştır. Bu çalışmasının birinci aşamasında iki boyutlu desen kaplama yazılımı geliştirilerek önceki çalışmalardaki problemler minimize edilmeye çalışılmıştır.

Yazılımda, kameradan ya da tarayıcıdan bilgisayar aktarılarak, 'bmp', 'jpg', 'tiff' gibi herhangi bir resim formatında kaydedilen iki boyutlu mobilya fotoğraflarının yine iki boyutlu desen fotoğrafları ile kaplanması esas alınmaktadır.

Geliştirilen yazılımda çalışılmak istenen sahnenin üç boyutlu modelinin oluşturulmasına

gerek kalmadan, önceki çalışmada olduğu gibi iki boyutlu sahne fotoğrafının dijital ortama aktarılması ile birlikte görüntü üzerinde perspektif, aydınlatma, parçaların gruplandırılması ile görünür cephe üzerine doku kaplama işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Geliştirilen ilk yazılımda üç boyutlu kaplama işlemi yapmak yerine iki boyutlu resim çarpıtma algoritmaları kullanılmıştır. Resim üzerinden bölge seçmek için çeşitli araçlar geliştirilmiştir. İlk aşamada resmin üzerinde bölgeler elle seçilebilmekte iken, bunun yerine seçim işlemi kolaylaştırmak için bölgelerin otomatik seçilmesi ile ilgili algoritmalar yazılıma eklenmiştir. Bunlar dörtgen bölge, dairesel bölge, çokgen bölge, serbest seçim ve otomatik seçim algoritmalarıdır. Bu araçlar yardımı ile resim üzerinde istenen bölgeler seçilerek farklı resim dosyalarına kaydedilmektedir. Seçim işleminden sonra desen resminin uygun çarpıtılmasını sağlamak için perspektif ayarlama işlemi yapılmaktadır. Bu ilk yazılımda, resimde seçilen bölgeye ait üç boyutlu yüzeyin tanımlanmasının yerine, daha basit iki boyutlu açısız çarpıtma (warping) ve dönderme işlemleri uygulanmıştır. Bu şekilde yapılarak, kaplanacak desene, sahneye uygun perspektif eğimi verilmeye çalışılmıştır. Sahne fotoğrafı üzerinde nesnelere tamamı bu şekilde tanımlandıktan sonra, sahne üzerine çiçek, pencere, perde gibi çeşitli aksesuarlar farklı resimlerden çağrılarak yerleştirilmektedir. Ön işlem aşaması bu şekilde tamamlandıktan sonra, kaplama işlemine geçilir. Daha sonra cisimlerin sahip olması istenen yeni desen resim dosyaları açılmak suretiyle kaplama işlemi gerçekleştirilmekte ve yeni sahne fotoğrafları elde edilmektedir.

Birinci aşamada iki boyutlu kaplama yazılımında geliştirilen teknikler aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Nesne seçim işleminin kenar tespit algoritmaları ile otomatik gerçekleştirilmesi.
- Yüzey eğiminin ayarlanması ile desen çarpıtma işlemi.
- Nesne seçimlerinin desen grupları ile ilişkilendirilmesi sonucu istenen desen resimlerine göre sahnenin tamamının kaplanarak sonuç resmin üretilmesi.
- Desen resminin boyutlarına bağlı olarak kaplama işlemi frekansının hesaplanması.
- Sanal stüdyo oluşturulmasını sağlayan zemin, duvar deseninin, renginin değiştirilmesi, çeşitli aksesuarların eklenmesi.

Bu aşamada geliştirilen iki boyutlu kaplama yazılımı Mobiland firmasının ürün

katalogları üzerinde denenmiştir.

Kaplama işlemini gerçekleştiren algoritma Tablo 4.1.'de verilmiştir. Algoritmada kaplanmak istenen cismin bulunduğu kırmızı, yeşil, mavi olmak üzere üç boyutlu resim matrisi, *SahneResim* adıyla, Sahne resmi ile aynı boyutta kaplanmak istenen desenin üç boyutlu resim matrisi, *DesenResim* adıyla, desen kaplanmış kırmızı, yeşil, mavi olmak üzere üç boyutlu sonuç resim matrisi, *YeniResim* adıyla verilmiştir. G , sahne resminin gri seviye değerini ifade etmektedir. G_{max} , resimdeki gri seviyelerin en büyük değerini, G_{min} , resimdeki gri seviyelerin en küçük değerini ifade etmektedir. N , G değerinin 0-1 arasına ölçeklenmiş değeridir. Şekil 4.1.'de gösterilen örnek bir kaplama işleminde G_{min} değeri 35, G_{max} değeri 255 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1. İki boyutlu desen kaplama algoritması

```

İki Boyutlu Desen Kaplama ;
Gmin= 255; Gmax = 0 ;
for y = 1 to resimboy
for x = 1 to resimen
begin
G = [SahneResim(x,y) (Kırmızı) + SahneResim(x,y) (Yeşil) + SahneResim
(x,y) (Mavi)]/3
If Gmin > G then Gmin = G
If Gmax < G then Gmax = G
end
for y = 1 to resimboy
for x = 1 to resimen
begin
G = [SahneResim(x,y) (Kırmızı) + SahneResim(x,y) (Yeşil) + SahneResim
(x,y) (Mavi)]/3
N = (G - Gmin ) / (Gmax - Gmin)
YeniResim(x,y) (Kırmızı) = DesenResim(x,y) (Kırmızı) * N
YeniResim(x,y) (Yeşil) = DesenResim(x,y) (Yeşil) * N
YeniResim(x,y) (Mavi) = DesenResim(x,y) (Mavi) * N
end

```

Şekil 4.1.'de örnek bir kaplanmış resim gösterilmiştir. Bu sonuç resmi elde edebilmek için öncelikle Şekil 4.2.(a)'da verilen orijinal mobilya resminden parça seçim işlemi gerçekleştirilir. Seçilen nesnenin resim üzerinde kapladığı bölge piksel değerlerine 255, haricinde kalan bölgeni piksel değerlerine 0 renk tonu atanarak alfa kanalı çıkartılır.

Çıkartılan alfa kanalı Şekil 4.2.(b)'de gösterilmiştir. Daha sonra, parlak bölge-karanlık bölge etkisi verebilmek için çarpan olarak kullanılacak gri seviye resmi orijinal resimden çıkartılır. Gri seviye mobilya resmi Şekil 4.2.(c)'de gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra kaplama için seçilen desen resmi sahne resmi boyutlarına göre yeniden boyutlandırılır. Boyutlandırma işlemi desenin nesne üzerinde sahip olması istenen frekansa bağlı olarak çoğaltılmış, daha sonra resim boyutuna uygun olarak ölçeklenir. Desen resmi Şekil 4.2.(d)'de, ölçeklendirilmiş desen resmi de Şekil 4.2.(e)'de gösterilmiştir. Aynı boyutta bir desen resmi elde edildikten sonra gri seviye çarpan resmi ile piksel değerleri bire bir çarpılarak elde edilmiş ara resim Şekil 4.2.(f)'de gösterilmiştir. Bu aşamanın ardından ara resim ile alfa kanalı çarpılır. Bu sayede nesne haricinde kalan bölgelerin desenden arındırılması sağlanmaktadır. Bu aşamada elde edilen ara resim de Şekil 4.2.(g)'de gösterilmiştir. Alfa kanalının terslenmesi ile nesne haricinde kalan bölgelerin sahne üzerinden çıkartılır. Bu ara resim Şekil 4.2.(h)'de gösterilmiştir. Son aşamada, Şekil 4.2.(g)'deki resmin piksel değerleri Şekil 4.2.(h)'deki resmin piksel değerleri ile birebir toplanarak Şekil 4.1'de verilmiş sonuç resim elde edilir.

Bu aşamada gerçekleştirilen yazılımın ekran görüntüleri Şekil 4.3.'te ve Şekil 4.4.'te verilmektedir. Şekil 4.3.'te sol panel üzerinde desen perspektife uygun bir eğimle çarpıtılması işlemi gerçekleştirilir. Sağ panel üst kısmında kaplama işleminde kullanılacak desen resimleri alt kısmında ise sahne resmi üzerinden seçilmiş nesnelere görünmektedir. Şekil 4.4.'te sahenin farklı desenler ile kaplanmış sonuç görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Desen kaplama işlemleri uygulanması ile elde edilmiş yeni sonuç resmi



(a)



(b)



(c)



(d)



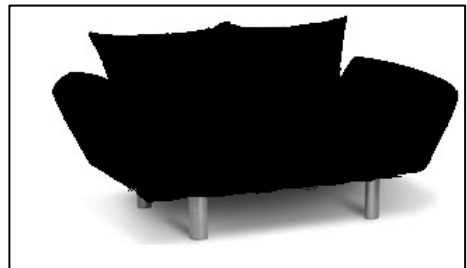
(e)



(f)

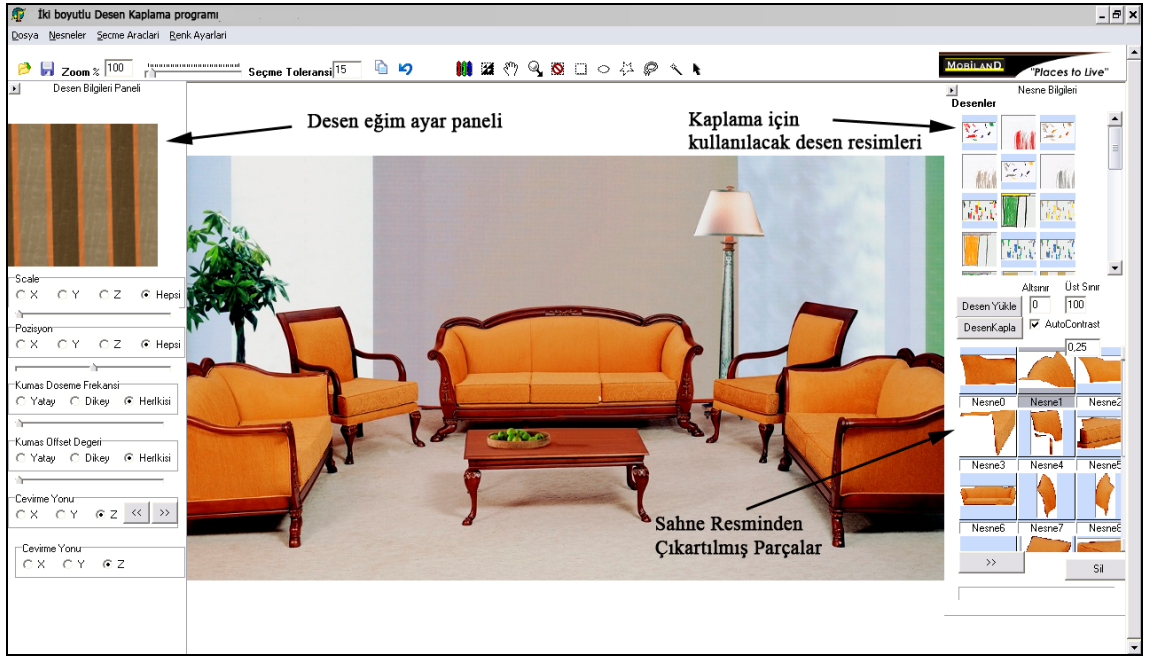


(g)

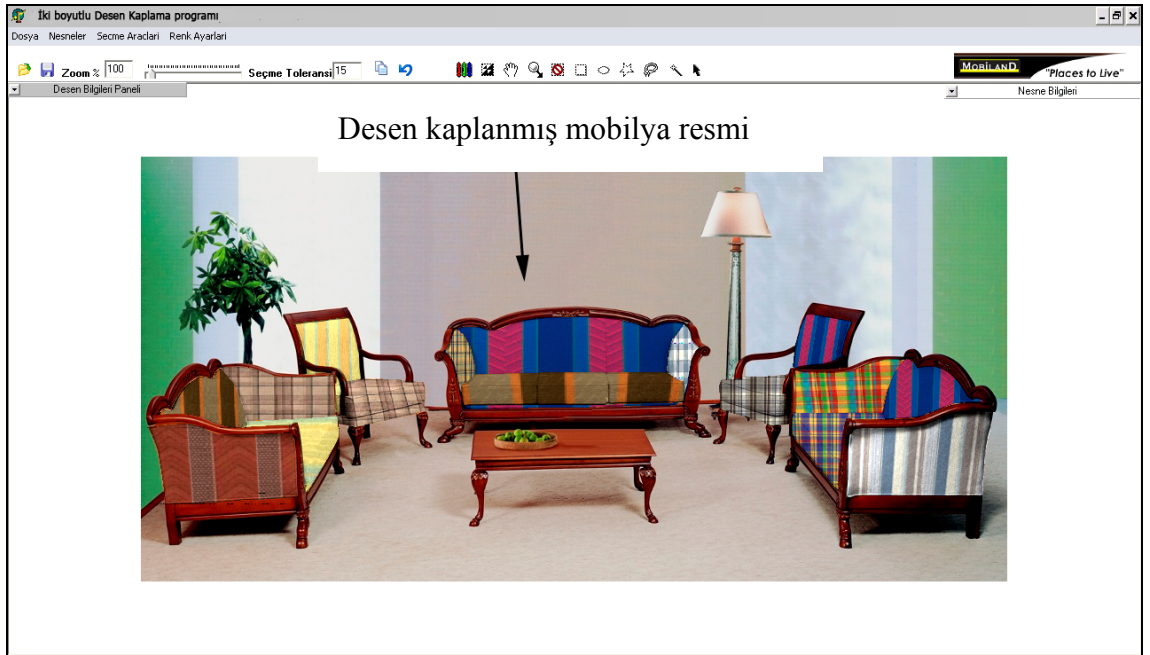


(h)

Şekil 4.2. Mobilya resmi üzerinde desen kaplama işlemi adımları (a) orijinal resim (b) parça seçim alfa kanalı (c) gri seviye resim (d) desen resmi (e) resim boyutuna çoğaltılarak büyütülmüş yeni desen resmi (f) (e)'deki desen resmi ile (c)'deki gri seviye resminin çarpılması ile elde edilmiş ara resim (g) (f)'deki resim ile (b)'deki alfa kanalının çarpılması ile elde edilen resim (h) Alfa kanalının terslenmesi ile orijinal resmin çarpılması ile elde edilmiş resim



Şekil 4.3. Mobilya parçaları seçme ve desen perspektif eğim parametresi ayarlama ekranı



Şekil 4.4. İki boyutlu kaplama tekniği ile mobilya nesnelere üzerine kumaş kaplanmış sonuç sahne resmi

4.1.1. İki Boyutlu Yazılımın Yetersiz Kaldığı Konular

Geliştirilen bu teknik ile sahne kaplama işlemi gerçekleştirilmekle birlikte Şekil 4.5.'teki resimden de görülebileceği üzere sonuç resim gerçeklikten uzak olabilmektedir. Perspektif yeteri kadar doğru elde edilememektedir. Nesnelerin satırları üzerindeki kıvrım bilgisi sonuç resmi üzerine yeteri kadar aktarılamamaktadır. Bu aşamada düz satırlar üzerinde kaplama işlemi yeteri kadar iyi sonuçlar elde edilebilmekle birlikte, kıvrımlı yüzeye sahip bir nesne üzerinde yeterli başarı sağlanamamaktadır. Kameranın sahneye bakış perspektif açısı doğru bir şekilde elde edilememektedir. Şekil 4.5.'te verilmiş kaplı nesne resminde sandalyenin minder bölgesindeki üst ve yan kısımlarındaki uyumsuzluk ve kıvrım bilgisinin bulunmaması çok kolay bir şekilde görülmektedir. Boyutu küçük, çözünürlüğü düşük veya sahnede nesnelerin takım halinde bulunduğu nispeten uzaktan çekilmiş fotoğraflarda, mobilya seçiminde düzgün seçim yapamamaktan kaynaklanan gürültüler de görülmektedir. Bu gürültüleri yok edecek ve görüntüyü yumuşatacak algoritmalar daha sonraki aşamada geliştirilmiştir. Şekil 4.5.'de gösterildiği üzere nesnenin sahip olduğu kıvrım bilgisi doku resmine aktarılamamış desen kaplı mobilya resmi gerçeklikten uzak kalmıştır.



Şekil 4.5. İki Boyutlu teknikle kaplanmış mobilya resmi.

4.2. Üç boyutlu desen kaplama yazılımı

İki boyutlu nesne kaplama işleminde, kaplama işlemi gerçeğine yakın elde edilememektedir. Tez çalışmasının ikinci aşamasında yukarıda anlatılan yazılımın düzeltilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonunda, nesne eğim ve kıvrımlarına uyumlu, sahne ışık-gölge uyumuna sahip gerçekçi desen kaplama işlemi gerçekleştirebilen bir yazılım geliştirilmiştir. Geleneksel üç boyutlu modelleme yazılımlarında ilk önce sahnedeki nesnelerin hepsinin üç boyutlu modelleri çıkartılır. Nesneler modellendikten sonra yüzey kaplama UV parametreleri tanımlanır. Daha sonrasında render işlemi ile istenen yüzey kaplamasına sahip model fotoğrafları elde edilmektedir. Bu tez çalışmasında geliştirilen yazılımda ise, sadece ilgili nesnelerin yüzey biçimlerinin tasarlanması yeterli olmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada geliştirilen yazılım ile farklı desen kaplı nesnelerin bulunduğu sahne resimlerini, daha kısa sürede, daha gerçekçi veren bir çözüm elde edilmiştir. Programda gereksiz nesnelerin modellenmesi yapılmamakta, ilgilenilen nesnelerin kamera perspektifinden görülen yüzey modellemeleri yapılmaktadır. Kullanımının üç boyutlu modelleme yazılımlarına göre kolay olmasından dolayı da programa hızlı bir şekilde uyum sağlanmaktadır. Uygulama aşamaları şu şekilde gerçekleşmektedir:

- Kartela ve sahne görüntülerinin elde edilmesi: Nesnelere görünümü test edilmek istenen ilgili desen, doku fotoğraflarının sayısal forma aktarılarak doku kütüphanesinin hazırlanmasıdır. Ayrıca işlenerek farklı görünümleri elde edilmek istenen cisim içeren sahne görüntüsünün sayısal forma dönüştürülmesidir.
- Sahne görüntüsünün iyileştirilmesi: Sayısal resim elde edilirken ortam aydınlatmasından yada cihaz kusurlarından kaynaklanan gürültü vb. problemlerin giderilmesi aşamasıdır.
- Sahne görüntüsünden parçalar çıkartılması: Kaplama işlemi gerçekleştirebilmek için doku kaplanmak istenen resim bölgelerini seçmek, parçalar çıkartma aşamasıdır.
- Sahne nesne parçaları için üç boyutlu yüzey ızgarası tasarımı: Kaplama işleminin gerçeğine yakın sonuçlar üretmesi için hedef cismin yüzey

özelliklerinin çıkartılması aşamasıdır. Üç boyutlu yüzey ızgarası cismin yüzeyine uygun biçimde şekillendirilir.

- Aydınlatma özelliklerinin tanımlanması: Kaplama işlemi yapılacak yüzeye sahne fotoğrafına uygun aydınlatma parametrelerinin girilmesi aşamasıdır.
- Doku kaplama hesaplama (render) aşaması: Belirtilen cisim parça görüntülerine, belirtilen yüzey özellikleri kullanılarak kaplama işleminin uygulandığı, sonuç resmin üretildiği aşamadır.

Şekil 4.6.'da her iki aşamada geliştirilen iki boyutlu ve üç boyutlu kaplama yazılımlarının elde ettikleri sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.6.(a)'da iki boyutlu kaplama işlemi sonucunda elde edilmiş resim gösterilmiştir. Özellikle kolluk bölgesinde belirgin bir eğim uyumsuzluğu göze çarpmaktadır. Şekil 4.6(b)'de verilen resim ise üç boyutlu yüzey kaplama işlemi ile elde edilmiştir. Bu resimdeki kolluk bölgesi yüzey kıvrımlarına uygun bir şekilde kaplanarak gerçekçi bir sonuç resmi elde edilmiştir. Kanepenin sırt yastığı ve kolluk gibi eğimli ve kıvrık bölgelerinde farklar ve kanepelerinin üst ve alt kısımlarının desenlerinin üç boyutlu kaplama yazılımında daha iyi bir sonuçla elde edilmesi açıkça görülmektedir.

4.2.1. Kartela ve sahne görüntülerinin elde edilmesi

Uygulamada kullanılacak resimler iki sınıfa ayrılmaktadır. Birincisi üzerinde değişiklik yapılmak istenen nesneyi barındıran sahne görüntüsü, diğeri ise değişiklik yapmak için kullanılacak doku görüntüleridir.

Uygulamada kullanılacak resimler, elektromanyetik ilgili spektrum bandına duyarlı algılanan ışık enerjisine göre elektriksel sinyal üreten CCD ya da CMOS algılayıcı elemandan oluşmuş dijital kamera veya tarayıcı cihazı ile görüntü bilgisi elde edilir. Elde edilen dijital fotoğraf bilgisayarda diske kaydedilerek işlemler için hazır hale getirilir. Tez çalışmasında ilgili fotoğraflar, photosmart 720 dijital fotoğraf makinesi ve tarayıcı ile elde edilmiştir. Doku fotoğrafları, kullanılmadan önce ilgili yazılıma aktarılmalıdır.



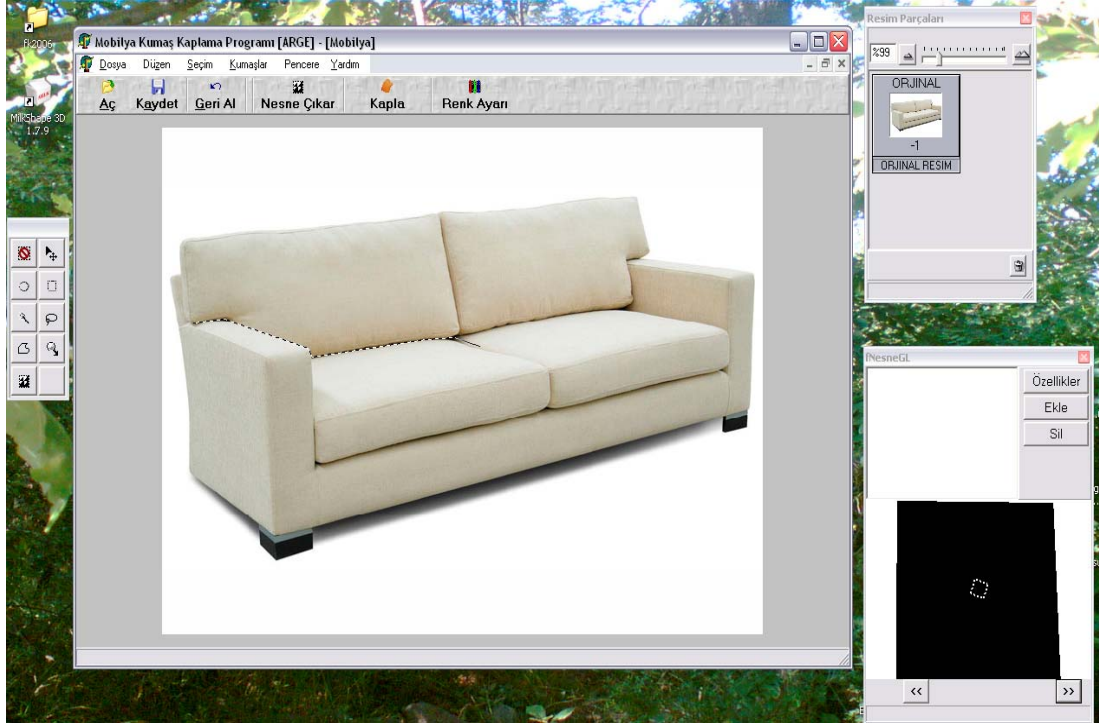
(a)



(b)

Şekil 4.6. (a) iki boyutlu kaplama tekniği ile elde edilmiş sonuç resim
(b) üç boyutlu yüzey kaplama tekniği ile elde edilmiş resim

Bitmap, Jpeg, Gif, Tiff, Png, Tga kodlamalarından herhangi biri ile disk üzerine kaydedilmiş dijital resimler, üzerinde çalışılacak sahne fotoğrafları olarak yazılıma aktarılabilir. Windows işletim sistemi twain sürücüsü yardımıyla uygun webcam ya da tarayıcı üzerinden doğrudan resim alınarak sahne resmi olarak kullanılabilir. Şekil 4.7.'de sahne resmi işlem penceresi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sahne resmi açma, görüntü iyileştirme ve parça çıkartma penceresi görüntüsü

4.2.2. Sahne Görüntüsünün İyileştirilmesi

Dış ortamdan alınan dijital resimler, ortam şartları, sayısallaştırma araçları kusurları, gürültü vb. şartlardan dolayı her zaman istenildiği kadar kaliteli sonuç alınamamaktadır. Bu gibi durumlarda resimler üzerinde çeşitli filtreler yardımı ile gürültüler temizlenmelidir. Bu aşamada resimde kullanılacak iyileştirme işlemleri duruma göre çeşitlilik göstermektedir. Örneğin resim çekildiği esnada ışıklandırmanın yeterli olmaması durumunda resmin karanlık görüneceğinden dolayı karışıklık (kontrast) genişletme, gri seviye öteleme işlemleri uygulanabilir. Taranarak aktarılmış dijital görüntüde gürültüler bulunabilir. Gürültüleri ve bulanıklığı gidermek için iyileştirme işlemleri uygulanabilir. Ayrıca yazılıma RGB (red, green, blue), HSI (hue saturation intensity) değerleri değiştirme işlemleri eklenmiştir. Böylece resim genelinde renk

değişimleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.8.'de orijinal resim üzerinde kırmızı, yeşil, mavi parametreleri değiştirilerek elde edilmiş resimler gösterilmiştir.

Netleştirme, bulanıklık, kenar tespit, emboss, dalga, maximum, minimum filtreleri sahne resmi üzerine uygulanabilecek şekilde geliştirilmiştir. Şekil 4.9.'da bulanıklaştırma, keskinleştirme, maksimum ve minimum filtre uygulanmış kanepeler gösterilmiştir.



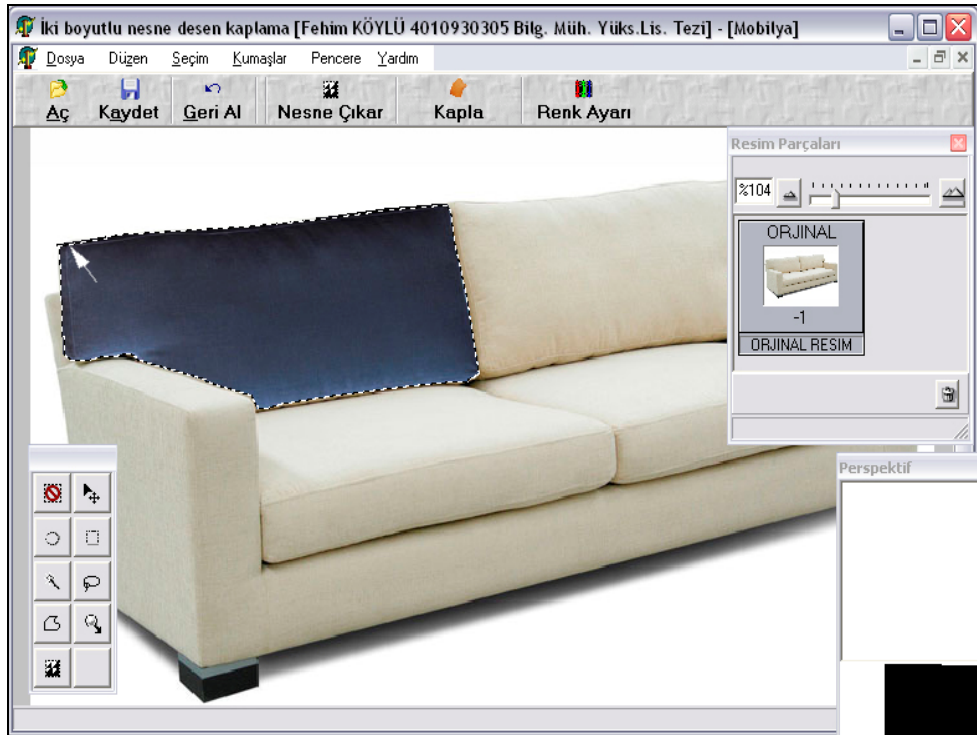
Şekil 4.8. Kanepenin (a) orijinal, (b) kırmızı, (c) yeşil (d) mavi filtreli görüntüleri



Şekil 4.9. Kanepenin üzerine uygulanmış filtreler (a) bulanıklaştırma filtresi, (b) keskinleştirme filtresi, (c) maksimum filtresi, (d) minimum filtresi

4.2.3. Nesne Parçaları Seçme ve Çıkartma Aşaması

Doku kaplama işlemi için ilk önce sahnenin kaplanmak istenen bölümleri parçalara ayrılmalıdır. Bu işlem çeşitli seçme algoritmaları ile gerçekleştirilmiştir. Görüntü üzerinde dörtgen, daire, serbest, çokgen ve otomatik seçim yapılabilir. Dörtgen seçim işleminde fare ile resim üzerinde istenen bir nokta tıklanmaktadır. Fare sürüklenerek başlangıç noktasından itibaren bölge seçilmektedir. Daire ile seçim işleminde tıklanan nokta çemberin merkez noktası olarak seçilmekte fare sürüklenerek istenen yarıçapta dairesel seçim yapılabilir. Serbest seçim işleminde, seçimin sınırları farenin sürüklendiği noktaları kapsamaktadır. Şekil 4.10.'da gösterilen çokgen seçim işleminde resim üzerinde seçilecek çokgen bölgenin köşeleri fare ile tıklanarak işaretlenerek çokgen alanının iç bölgesi seçilmiş olmaktadır.



Şekil 4.10. Kanepesi üzerinde parça çokgen seçim işlemi

Otomatik bölge seçme işleminde ise seçme tolerans değeri, genel seçme özelliği parametreleri belirlendikten sonra resimde seçilmek istenen renk değeri üzerine tıklanır. Tıklanan renk değerine verilen eşik değeri içinde benzeyen komşu pikseller seçim bölgesine dâhil edilir. Eğer bütün resim seçim özelliği işaretlenirse, resmin genelinde

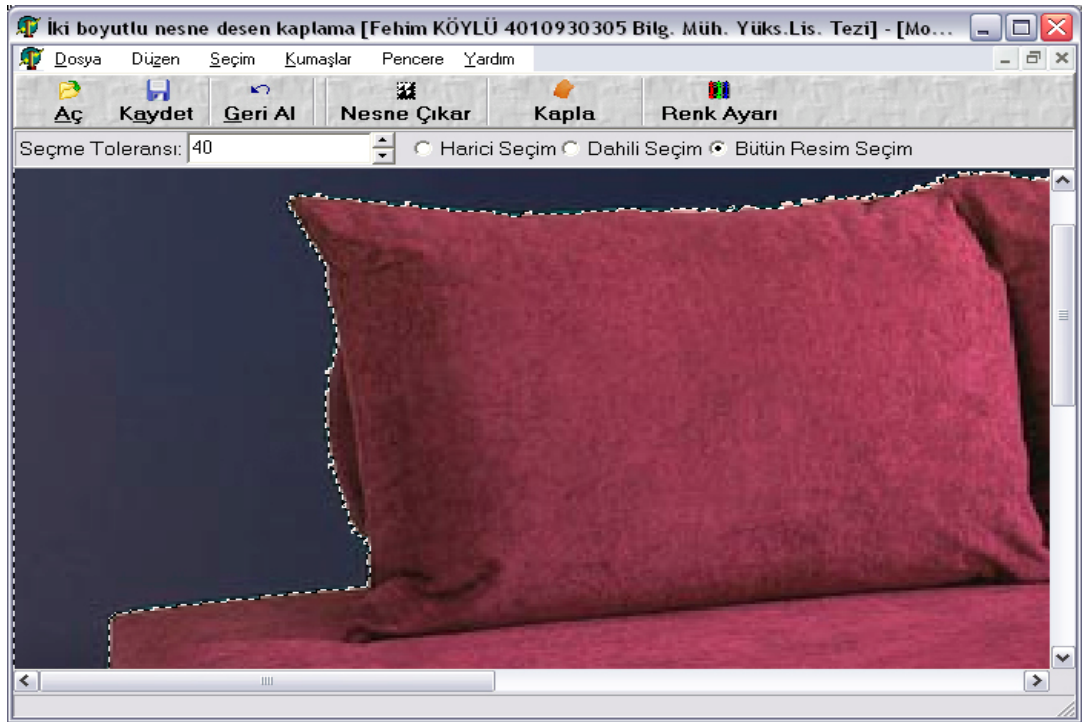
tıklanan noktaya komşu olmayan piksel değerleri de seçime dâhil edilmektedir. Kanepe sırt yastıkları otomatik kenar seçme işlemi 40 eşik değeri ve resim geneli seçim parametreleri ile seçilmesi Şekil 4.11.'de ve Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.

Seçme işlemi birden çok aşamada gerçekleştirilebilmektedir. Bunun için ilk seçimin tamamlanmasının ardından klavyenin üst karakter (shift) tuşuna basılı tutulduğunda yapılan yeni seçim bölgeleri ilk seçim bölgesine eklenmektedir.

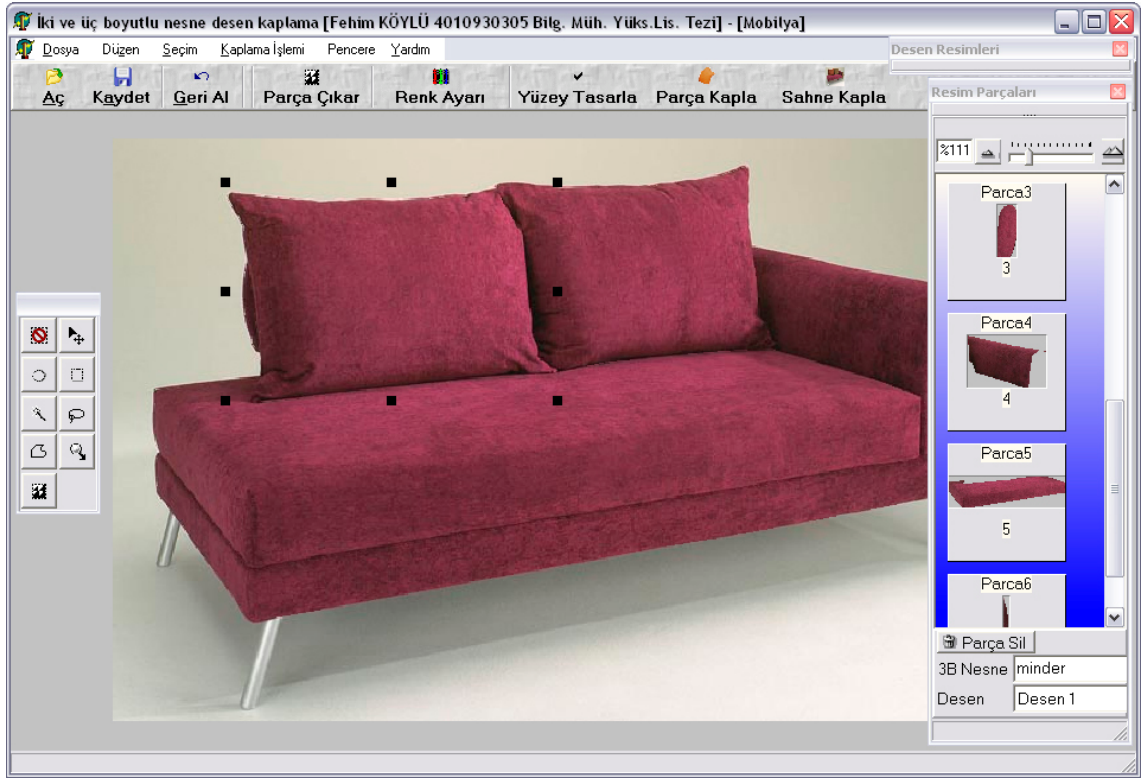
Seçme işlemi tamamlandıktan sonra seçim bölgesinden yeni bir resim oluşturulur. Seçim bölgesinden oluşturulan resim, Görünür bölgeleri belirleyen, başka bir deyişle seçim alanını belirleyen alfa kanalı ve resmin renk değerlerinin saklı olduğu bitmap kanalı olmak üzere iki ayrı kanalda saklanır. Alfa kanalı matris şeklinde tanımlanır. Alfa kanalının her pikseli 0–255 arası değeri sahiptir. Her piksel resmin ilgili pikselinin seçim alanında olup olmamasına göre resmin o pikselinin saydamlık derecesini belirtir. Alfa kanalındaki bir piksel, 0 değerine sahip ise ilgili resimde o koordinattaki piksel saydam, 255 değerine sahip ise tam görünür durumdadır. Ara değer alması yarı-saydamlık olarak ifade edilebilir. Seçilen parçanın alfa kanalı seçim bölgesi içinde 255 değerine, seçim bölgesi dışında 0 değerine sahiptir. Parça resminin tutulduğu Bitmap kanalı ise kırmızı, yeşil, mavi renk değerleri olmak üzere üç ayrı matris değeri ile saklı tutulmaktadır. Şekil 4.11.'de verilmiş mobilya resminde, sırt minderinin, çokgen seçim işlemi ile parça resim olarak çıkartılması Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Şekil 4.13.'te ise mobilyanın bütün parçalarının çıkarılması gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kanepenin seçim öncesi görüntüsü



Şekil 4.12. Kanepenin sırt minderi kenarının otomatik seçilme işlemi



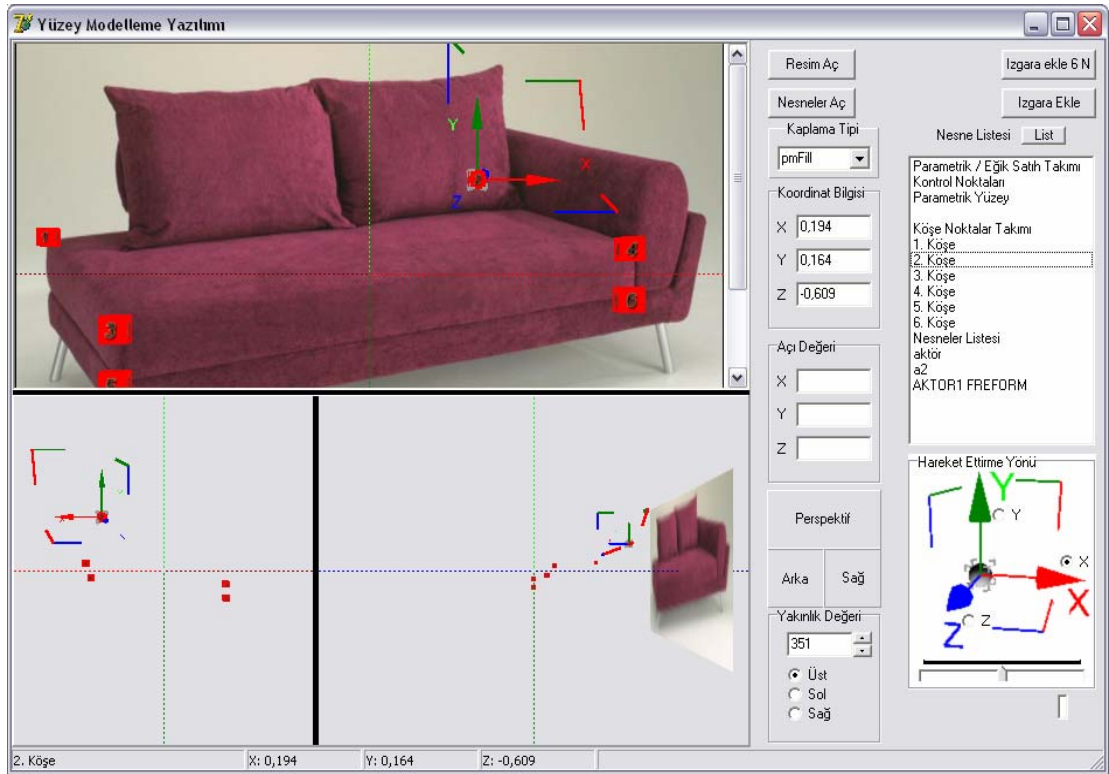
Şekil 4.13. Kanepenin sırt minderinden çıkartılmış yeni parça resim

4.2.4. Üç boyutlu Yüzey Izgarası Tasarımı

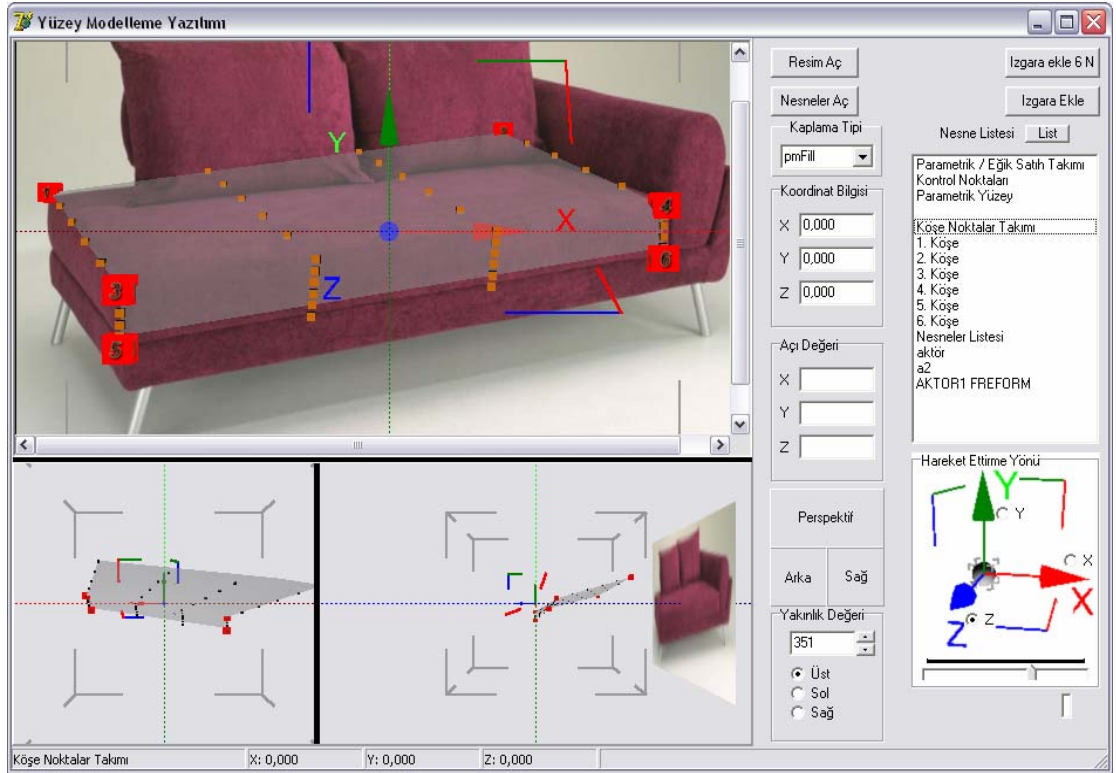
Kaplama işleminin gerçekçi bir etki ile elde edilmesi için nesnenin üç boyutlu modelinin çıkartılması gerekmektedir. Bunlar kaplaması yapılacak dokunun görünümüne esas teşkil edecek, cismin kameraya göre perspektif duruşu, sahip olduğu yüzey eğimi, kıvrımı gibi özelliklerdir. Bunun için daha önce belirtildiği üzere ya sahnenin tamamının modellenmesi ya da iki boyutlu resim üzerinde belirtilmiş sınırlar içinde bulunan nesnelerin yüzey görünümlerinin kameraya göre perspektif görünümü, sahneye göre ışıklandırma durumu, yüzey eğiklik, kıvrıklık özellikleri yüzey şekillendirme ile tanımlanmalıdır. Bu tezde geliştirilen teknik ile üç boyutlu modellemeye gerek duyulmadan bu etkiler verilmektedir.

Yüzey tasarımı üçgensel ağ (triangular mesh) ya da yüzey yaması (surface patch) adı verilen düzlemler ile ya da az sayıda kontrol noktasına sahip Bezier parametrik yüzeyi ile yapılabilmektedir. Yüzey yaması tekniğinde düzlemin sahip olması istenen ayrıntıya göre farklı sayılarda köşe noktası seçilebilir. En basit yüzey 4 köşe noktasına sahip olabilir. Modelleneyecek yüzey boyutu büyük ya da yüzey çok fazla ayrıntı içeriyorsa

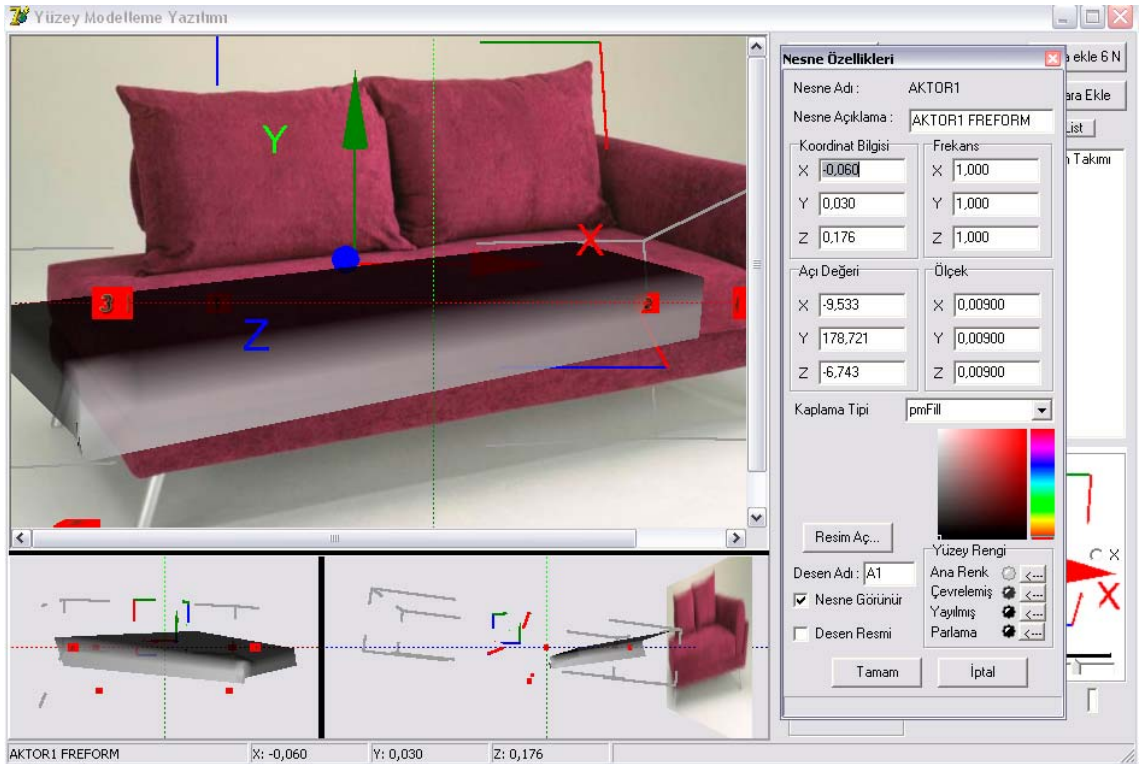
köşe nokta sayısı artırılmalıdır. Görünen yüzeyin sahip olduğu 6 köşe noktasının seçilmesinden yola çıkılarak yüzey üçgensel ağının tanımlanması işlemi kolaylaştırmaktadır. Şekil 4.14'te altı köşe noktası ile resimdeki nesneye uygun üçgen ağı eklenmesi gösterilmiştir. Belirlenmiş altı köşe noktası ile çizilmiş yüzey Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Şekil 4.16.'da yüzey ağı, yüzeyin sahip olduğu eğim ve kıvrımlara uygun bir hale getirilmiştir. Şekil 4.17.'de desen kaplanmış yüzey gösterilmiştir.



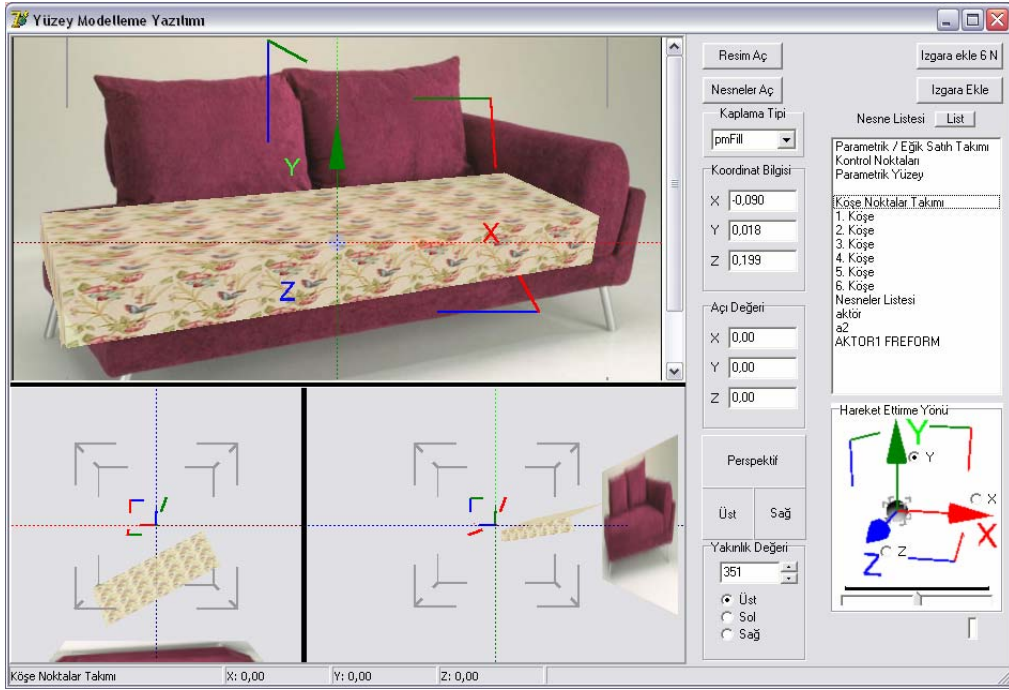
Şekil 4.14. Yüzey modelleme yazılımı nesne köşe noktaları seçme işlemi



Şekil 4.15. Yüzey üçgen ağı (mesh) düzenleme işlemi

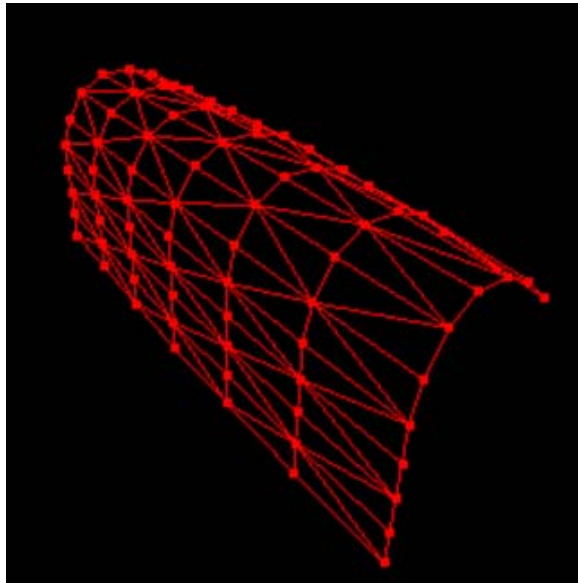


Şekil 4.16. Yüzey üçgen ağı (mesh) düzenleme işlemi ekran görüntüsü



Şekil 4.17. Düzlem ağı ile kaplanmış üç boyutlu yüzey modeli

Şekil 4.18’de kanepenin kolluk kısmının üç boyutlu yüzey modellemesi ızgarası gösterilmiştir. Izgaranın 171 adet köşe noktasının üç boyutlu koordinatları Tablo 4.2.’de verilmiştir. Bu noktalar modelleme yazılımında sahne resmindeki mobilya resmi örnek alınarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.18. Mobilyanın kolluk kısmının üç boyutlu yüzey modeli

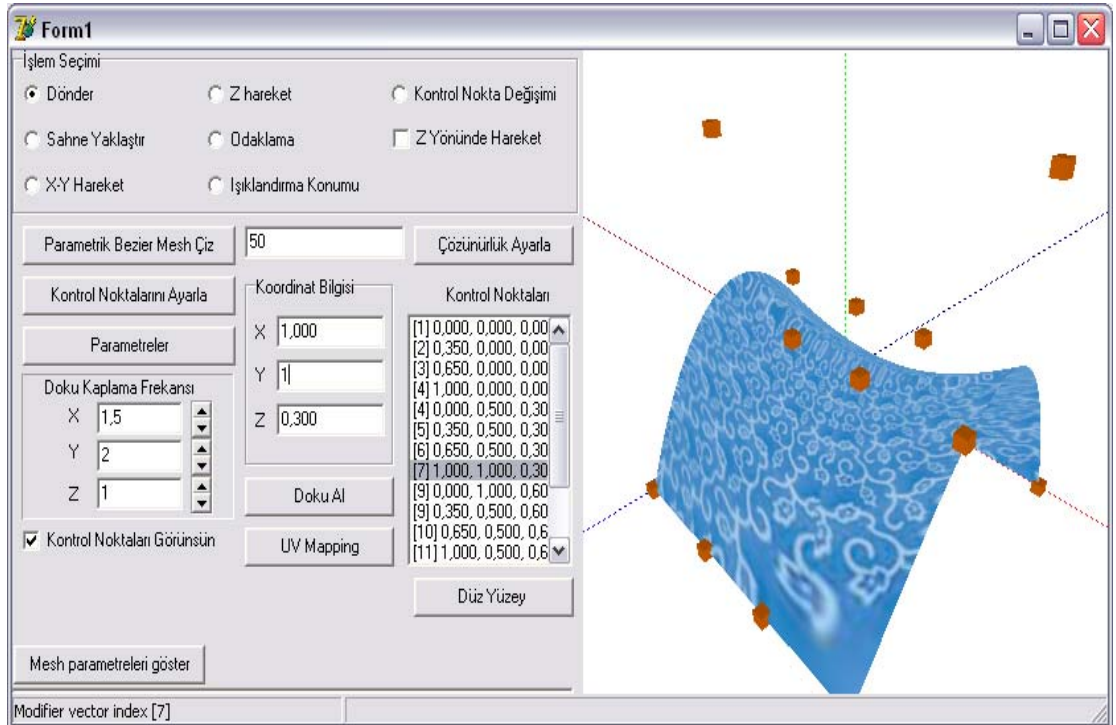
Tablo 4.2. Kolluk yüzeyinin köşe noktalarının koordinat değerleri

v -12.000000 11.266663 -13.971433	v -1.777778 5.466666 1.857143
v -1.777779 11.266663 -13.971433	v 8.444445 5.466666 1.857143
v 8.444445 11.266663 -13.971433	v 18.666668 5.466666 1.857143
v 18.666668 11.266663 -13.971433	v 28.888889 5.466666 1.425974
v 28.888889 11.266663 -12.819744	v 39.111111 5.466666 1.037921
v 39.111111 11.266663 -11.783224	v 49.333336 5.466666 0.374352
v 49.333336 11.266663 -10.010775	v -12.000000 2.266666 1.857143
v -12.000000 13.123807 -10.771432	v -1.777778 2.266666 1.857143
v -1.777779 13.123807 -10.771432	v 8.444445 2.266666 1.857143
v 8.444445 13.123807 -10.771432	v 18.666668 2.266666 1.857143
v 18.666668 13.123807 -10.771432	v 28.888889 2.266666 1.425974
v 28.888889 13.123807 -9.939743	v 39.111111 2.266666 1.037921
v 39.111111 13.123807 -9.191223	v 49.333336 2.266666 0.374352
v 49.333336 13.123807 -7.911254	v -12.000000 -0.933334 1.857143
v -12.000000 13.980952 -7.571432	v -1.777778 -0.933334 1.857143
v -1.777779 13.980952 -7.571432	v 8.444445 -0.933334 1.857143
v 8.444445 13.980952 -7.571432	v 18.666668 -0.933334 1.857143
v 18.666668 13.980952 -7.571432	v 28.888889 -0.933334 1.425974
v 28.888889 13.980952 -7.059743	v 39.111111 -0.933334 1.037921
v 39.111111 13.980952 -6.599224	v 49.333336 -0.933334 0.374352
v 49.333336 13.980952 -5.811735	v -12.000000 -4.133334 1.857143
v -12.000000 13.695239 -3.942859	v -1.777778 -4.133334 1.857143
v -1.777779 13.695239 -3.942859	v 8.444445 -4.133334 1.857143
v 8.444445 13.695239 -3.942859	v 18.666668 -4.133334 1.857143
v 18.666668 13.695239 -3.942859	v 28.888889 -4.133334 1.425974
v 28.888889 13.695239 -3.794028	v 39.111111 -4.133334 1.037921
v 39.111111 13.695239 -3.660080	v 49.333336 -4.133334 0.374352
v 49.333336 13.695239 -3.431028	v -12.000000 -7.333334 1.857143
v -12.000000 11.838100 -1.028572	v -1.777778 -7.333334 1.857143
v -1.777779 11.838100 -1.028572	v 8.444445 -7.333334 1.857143
v 8.444445 11.838100 -1.028572	v 18.666668 -7.333334 1.857143
v 18.666668 11.838100 -1.028572	v 28.888889 -7.333334 1.425974
v 28.888889 11.838100 -1.171170	v 39.111111 -7.333334 1.037921
v 39.111111 11.838100 -1.299508	v 49.333336 -7.333335 0.374352
v 49.333336 11.838100 -1.518965	
v -12.000000 8.666666 1.000000	
v -1.777778 8.666666 1.000000	
v 8.444445 8.666666 1.000000	
v 18.666668 8.666666 1.000000	
v 28.888889 8.666666 0.654545	
v 39.111111 8.666666 0.343636	
v 49.333336 8.666666 -0.188019	
v -12.000000 5.466666 1.857143	

Şekil 4.19.'da yüzey ağının kaplama işleminde kullanılması yoluyla, nesne resminin değiştirilmiş şekli gösterilmiştir. Ürün fotoğrafının üzerinde bir kez yüzey modelleme yapılması gerekir. Model çıkarıldıktan sonra kaydedilmekte, ürünlerin her türlü farklı doku ile görüntüsü istenildiği zaman kolayca elde edilmektedir. Yüzey yaması yönteminin dezavantajı modellenmenin yüzey ne kadar ayrıntılı ise o kadar uzun zaman almasıdır. Parametrik yüzey tasarımında ise toplam 16 kontrol noktası ile istenen eğrisel yüzey modellenebilmektedir. Parametrik yüzey tasarımında her bir kontrol noktası yüzeyin genelinde etkiye sahiptir. Bundan dolayı her hangi bir noktanın yer değiştirilmesi bütün yüzey üzerinde noktaya olan uzaklıkla doğru orantılı şekilde bir etkiye sahiptir. Şekil 4-20.'de parametrik Bezier yüzey modelleme ekranı gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Düzlem ağı yardımı ile desen kaplanmış sonuç resim



Şekil 4.20. Parametrik Bezier yüzey tasarlama ekranı

4.2.5. Doku kaplama aşaması

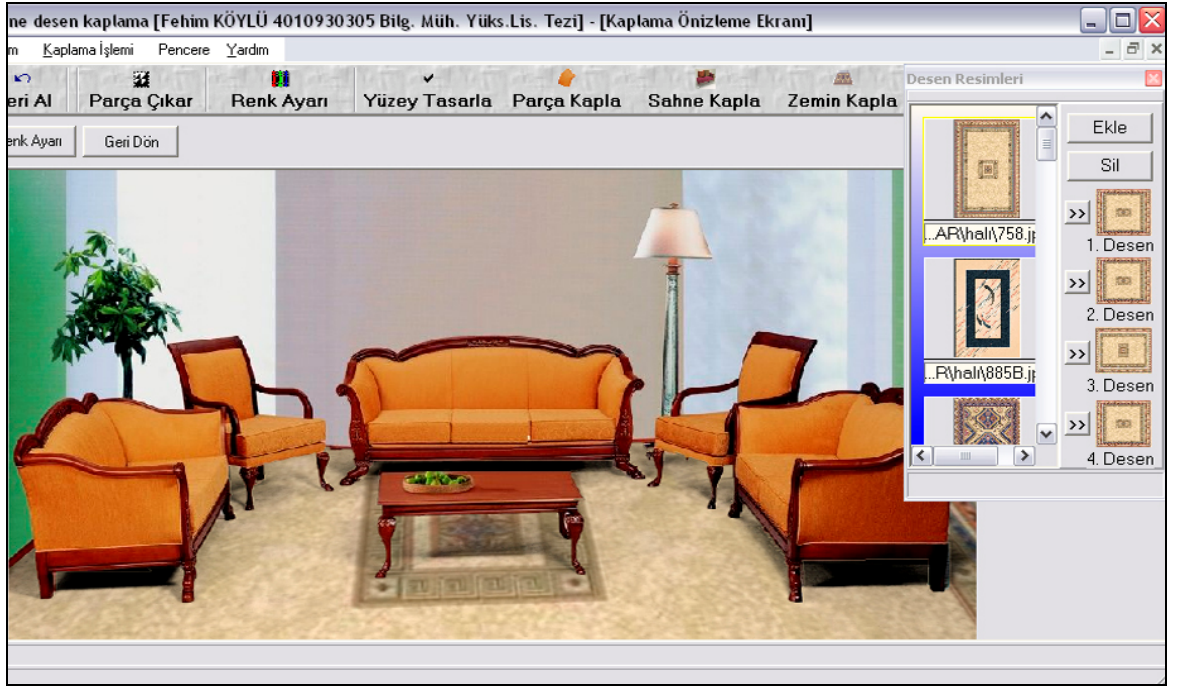
Fotoğraftaki ürün görüntüleri parçalara ayrıldıktan sonra, her bir parça için yüzey modeli çıkarılmalıdır. Yüzey modelleri OpenGL Kütüphanesi kullanılarak ekranda gösterilmekte, istendiğinde tekrar açılmak üzere diske kaydedilebilmektedir. Kaydetme aşamasının ardından yapılması gereken doku kaplama aşamasına geçmektir. Doku kaplama aşamasında doku kartele uygulaması ile yazılıma aktarılan desenler, doku kaplama algoritmaları ile üç boyutlu model üzerine kaplanmaktadır. Desen kaplama işlemi modelin duruşu, sahip olduğu eğimler ve girilen aydınlatma parametrelerini kullanmaktadır. Kaplama işlemi sonucu sonuç çıktı resminin hesaplanmasında kullanılacak ara görüntü elde edilmektedir. Sahne fotoğrafı üzerinde n çıkartılmış nesne parçaları da kullanılan diğer ara görüntüdür. Yüzey kaplama görüntüsü ve nesnenin şekline uygun kesilen parça görüntü son bir aşamaya tabi tutulur. Bu aşamada parça resminin gri seviye renk değeri çıkartılır. Çıkartılan bu piksel değerleri, yüzey kaplama resmi üzerinde karşılık gelen pikselin renk değerini etkileyecek gölgeleme çarpanı olarak kullanılır. Bu işlem alfa kanalı sınırları içindeki bütün piksel değerleri için uygulanır. Elde edilen bileşik görüntü en son karşıtlık germe işlemine tabi tutulur. Elde edilen sonuç resim, asıl sahne görüntüsü üzerine parçanın çıkartıldığı konuma kopyalanır. Bu işlem sahne üzerinde ne kadar parça seçildi ise her biri için ayrı ayrı tekrarlanarak istenen bölgeye istenen desenin kaplandığı sonuç resim elde edilmiştir. Şekil 4.21.'de verilen gerçek sahne resminin kaplanması ile elde edilen sonuç resimler Şekil 4.22.'de gösterilmiştir. Şekil 4.23., Şekil 4.24., Şekil 4.25. ve Şekil 4.26.'da yazılımın zemin kaplaması tekniğinin kullanılması ile elde edilmiş sonuç resimler gösterilmiştir. Şekil 4.27.'de sahnedeki mobilyanın kaplanmış resmi gösterilmiştir.



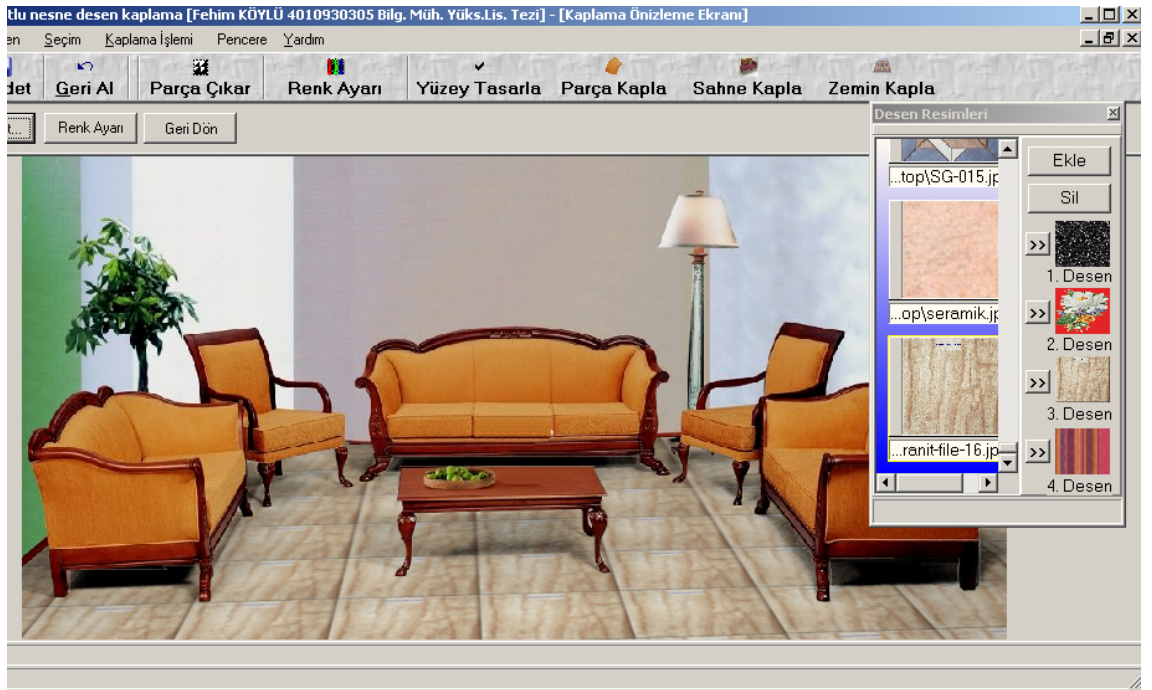
Şekil 4.21. Gerçek fotoğraf



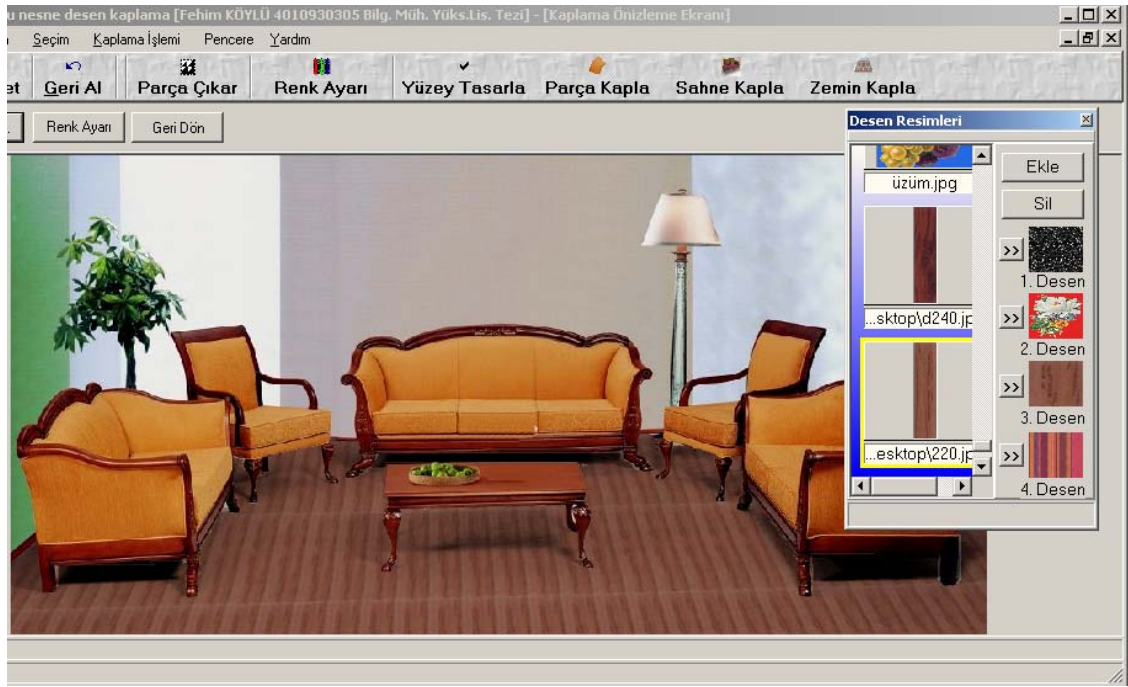
Şekil 4.22. Üç boyutlu yüzey kaplama işlemi ile elde edilmiş sonuç resimler



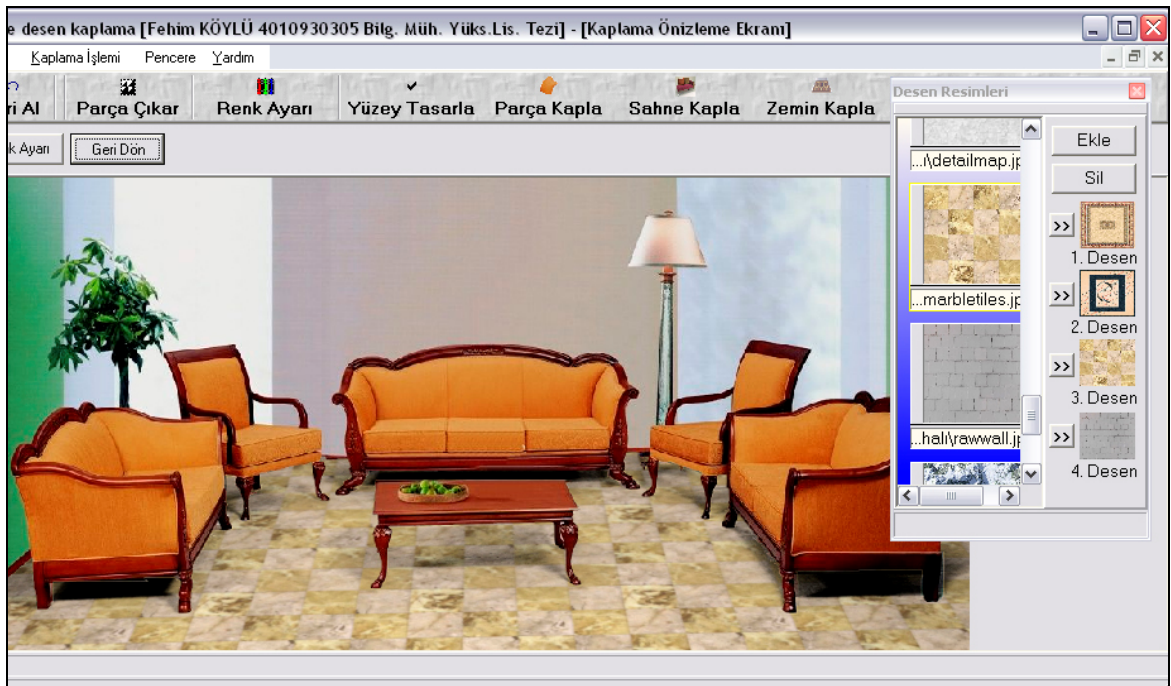
Şekil 4.23. Zemine halı kaplanmış sanal stüdyo sahne resmi



Şekil 4.24. Zemine granit mermer kaplanmış sanal stüdyo sahne resmi



Şekil 4.25. Zemine laminant parke kaplanmış sanal stüdyo resmi



Şekil 4.26. Zemine fayans kaplanmış sanal stüdyo resmi



Şekil 4.27. Zemine taş döşenmiş sanal stüdyo sahne resminde üç boyutlu yüzey kaplama tekniği ile desen giydirilmiş mobilya resmi

5. BÖLÜM

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında ülkemiz sanayinin ihtiyaçlarına cevap vermesi düşünülen iki boyutlu desen kaplama yazılımı geliştirilmiştir. Görüntü işleme teknikleri ve üç boyutlu grafik teknikleri kullanılarak ürün çeşitliliğini araştırma, geliştirme ve pazarlama alanına çözüm getiren bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Literatürde ve pazarda benzer çalışmalar olmasına karşın maliyeti düşük, Türkçe arayüze sahip, teknik uzman bilgisi gereksinimi olmayan, kıvrımlı eğik yüzeylerin tanımlanabildiği bir yazılım geliştirilerek problem sahasına yeni bir çözüm getirmektedir.

Geliştirilen yazılımda, uygun ışıklandırma yapılarak dış ortamdan aktarılan fotoğraflar üzerinde görüntü işleme teknikleri kullanılarak desen kaplama gerçekleştirilmiştir. Bu fotoğrafların kameraya görünür yüzeyleri parçalara ayrılarak, her bir parça yüzeyi için ayrı modeller oluşturulmaktadır. Geliştirilen yazılımın üç boyutlu yüzey tasarım penceresinde, seçilmiş nesne parçalarının yüzey özellikleri modellenmektedir. Yüzey modelleme işlemi her sahne fotoğrafı için yalnız bir kez yapılmaktadır. Daha sonra kaplama işleminde kullanılacak desen resimleri bilgisayara aktarılarak, desen kütüphanesi oluşturulmaktadır. Kaplama işleminin gerçekleşmesine uygun yapılabilmesi için desen resimlerinin görüntü kalitesini artırmak gerektiğinden çeşitli görüntü iyileştirme işlemleri uygulanmaktadır. Yeni desen kaplanmış görüntüyü elde edebilmek için, desenler seçilerek yüzey kaplaması gerçekleştirilmektedir. Sonuçta elimizde fotoğrafı bulunan ürün üzerine değişik yüzey kaplamaları uygulanarak farklı desenler giydirilmiş hali gözlenebilmektedir.

Bir sonraki aşamada, bilgisayar destekli modelleme yazılımları ile bütünleşmiş çalışma özellikleri eklenerek, tasarımı yapılmış modellerin farklı desen doku karşılaştırılmasının yapılması planlanmaktadır. İleriki aşamalarda internet web servisleri üzerinde

çalışabilen bir programın geliştirilmesi hedeflenmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, nesnenin farklı açılardan iki boyutlu fotoğrafının çekilmesi ile üç boyutlu nesne modelin otomatik çıkartılması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada pratik, maliyeti düşük, üç boyutlu desen kaplama yazılımı geliştirilmiştir. Üç boyutlu modelleme-animasyon yazılımlarının temelini oluşturan literatür taraması yapılmış olup gelecekte iki boyutlu resimden üç boyutlu model çıkartımı ve üç boyutlu grafik çalışmalarının yapılması amaçlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Uğur, A., İnternet Üzerinde Üç Boyut ve Web3D Teknolojileri, VIII. Türkiye’de İnternet Konferansı (INET-TR 2002), İstanbul, Türkiye, 54, 19-21 Aralık 2002.
2. Handley D.A., Green W.B., Recent developments in digital image processing at the image processing laboratory of the jet propulsion laboratory, IEEE Proc, 60(7), 821-828, 1972.
3. Sander P. V., et al, Multi-chart Geometry Images, ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing SGP '03, Aachen, Germany, 146 – 155, June 2003.
4. Xianfeng G., et al, Geometry Images, International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, San Antonio, Texas, 355 – 361, 2002.
5. Gonzalez R. C., Woods R. E, Digital Image Processing, 2nd. Ed., Prentice Hall Inc., USA, 2002.
6. Gonzalez R. C., Woods R. E, Digital Image Processing Using Matlab, 1nd. Ed., Prentice Hall Inc., USA, 2003.
7. Mathworks Inc, Image Processing Toolbox, Matlab R14 Manual, Massachusetts, USA, 2004.
8. Grange E., Glscene Opengl Solution for Delphi, <http://www.sourceforge.net> 2005.
9. Levy B. , Constrained Texture Mapping for Polygonal Meshes, Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 417-424, August 2001.
10. Wolberg G., Boulton T. E., Seperable Image Warping with Spatial Lookup Tables, Proceedings of the 16th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 369-378, July 1989.

11. Catmull A., Smith A.R., 3D Transformation of images in scanline order, *Computer Graphics, SIGGRAPH'80*, 14(3), 279-285, 1980.
12. Bernstein R., Digital image processing of Earth observation sensor data, *IBM Research and Development*, 20(1),40-56, 1976.
13. Bourke P., Western Australian Supercomputer Program, University of Western Australia, <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/projection/imagewarp/> , Dec. 2002.
14. Barr, A., Global and local deformations of solid primitives, *Computer Graphics, Computer Science Press, New York*, 18(3), 21-30, 1984.
15. Glasbey C. A., Mardia K. V., A Review of Image Warping Methods, *Journal of Applied Statistics*, 25(2), 155-171, 1998.
16. Lee S.Y, et al, Image Morphing Using Deformable Surfaces, *Proceedings of Computer Animation, IEEE Computer Society Press*, 31-39, 1994.
17. Heckbert P. S., Survey of texture mapping, *Image Synthesis, Computer Graphics, Computer Science Press, New York*, 321-332, 1988.
18. Catmull E., A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces, PhD thesis, Dept. of CS, U. of Utah, Dec. 1974.
19. Max F., et al, A Vector-based Representation for Image Warping, *Computer Graphics Forum, Eurographics*, 19(3), 419-425, 2000.
20. Karczmarczyk J., Functional Approach to Texture Generation, *Lecture Notes In Computer Science, Springer-Verlag, London*, 2257, 225-242, 2002.
21. Sayre R., Rafael S., Method and Apparatus for Non-Affine Image Warping, Pixar Assignee, US patent 5,175,808 , December 29, 1992.
22. Joy K. I., The Bezier Patch, Visualization and Graphics Research Group, Department of Computer Science, University of California, 1999.
23. Wolberg G., Digital Image Warping, Wiley-IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, July 1990.

24. Gustafsson A., Interactive Image Warping, Msc Thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, 1993.
25. Boehm W., Müller A., On de Casteljaou's Algorithm, Computer Aided Design Elsevier, 16, 587-605, 1999.
26. Wolberg G., Image morphing: a survey, The Visual Computer, Springerlink, Berlin, 14(8-9):360-372, 1998.
27. Glscene Manual, <http://caperaven.co.za/> , 2005.
28. Glynn E. F., Computer Lab Image Processing Toolbox, USA, <http://www.efg2.com/Lab/Library/ImageProcessing/>, May 2006.
29. Aslantaş, V. New Techniques For Determining Depth From Defocusing, Ph.D Thesis, University of Wales, United Kingdom, 1997.
30. Prewitt J. M. S., Object Enhancement and Extraction, in Picture Processing and Psychopictorics, B. S. Lipkin and A. Rosenfeld, eds., Academic Press, 75–150, New York, 1970.
31. Roberts L. G., Machine Perception of Three-Dimensional Solids, in Optical and Electro-Optical Information Processing, J. T. Tippett et al., Eds., MIT Press, Cambridge, MA, 1965.
32. Pratt W. K., Digital Image Processing PIKS inside, 3rd Ed. Wiley & Sons Inc, New York, 2001.
33. Dunn F, Parberry I., 3D Math Primer for Graphics and Game Development, Wordware Publishing Inc, Texas, 2002.
34. Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/>, 2006.
35. Microsoft Corp, MSDN DirectX Developer Center Manual, <http://msdn.microsoft.com/directx/> , 2006.
36. Danacı M, Köylü F., New techniques for 2D texture covering, 13th Signal Processing and Communications Applications Conference, IEEE, 621–624, Türkiye, May, 2005.

37. Aslantaş V., Köylü F., Image Zooming using Neural Networks, 13th Signal Processing and Communications Applications Conference, IEEE, 649–651, Türkiye, May, 2005.
38. Blinn, J. F. A generalization of algebraic surface drawing. ACM Transactions on Graphics 1(3), 235–256, July 1982.
39. Barr, A.H., Superquadrics and angle-preserving transformations, IEEE Computer Graphic Application 1(1), 11-23, January 1981.
40. Farin G., Curves and surfaces for computer aided design – A practical guide, Academic Press Inc, 1996.
41. Newell M., Utah teapot, <http://www.cs.utah.edu/school/whyteapot.html>, 1975.
42. GÜDÜKBAY U., ABACI T, Üç boyutlu bilgisayar grafikleri, Bilişim Ansiklopedisi, İstanbul, 2006.
43. Sağıroğlu Ş. Çolakoğlu Ö., Otomatik desen giydirme, Erciyes Üniversitesi Proje Aranıyor, 2003.
44. Cantu M., Mastering Delphi 7, Sybex Publishing ,CA, 2003.
45. Dixon M., OpenGL programming guide online edition, Silicon Graphics Inc, 1997.
46. Fullagar J. C., OpenGL reference manual online edition, Silicon Graphics, 1994.
47. Martz P. OpenGL Distilled, Addison Wesley Professional, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Fehim Köylü 1981 yılında Kayseri’de doğdu. İlkokulu Kayseri Ahmet Paşa İlkokulunda tamamladıktan sonra, 1992 yılında Kayseri Nuh Mehmet Küçükçalık Anadolu Lisesini kazanıp, orta ve lise eğitimini bu okulda tamamladı. 1999–2003 yılları arasında Erciyes Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2003 yılında yüksek lisans eğitimine başladı. Lisans eğitimi sırasında ve sonrasında çeşitli şirketlerde yarı zamanlı/tam zamanlı olarak program geliştirme, ağ kurulumu, sistem yönetimi alanlarında çalışmalarda bulundu. Bu dönemde geliştirdiği yazılımlar Kayseri’de çeşitli şirketlerde kullanılmaktadır. 2005–2006 eğitim yılında Bilgisayar Mühendisliği bölümünde java ile programlama adlı bir ders verdi. IEEE 13. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayında 2 bildiri yayınladı.

Adres: Mimarsinan Mh. Bozantı Cd. No: 152

Kocasinan / KAYSERİ

Tel: +90 532 612 6856

E-posta: fehimkoylu@hotmail.com