

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**3-BOYUTLU YÜZ VE BAŞ MODELLERİNİN MATEMATİKSEL  
İFADELERİNİN ÇIKARILMASI**

**İhsan PENÇE**

**Danışman  
Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ**

**DOKTORA TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2016**



©2016 [İhsan PENÇE]

## TEZ ONAYI

İhsan PENÇE tarafından hazırlanan "3-Boyutlu Yüz ve Baş Modellerinin Matematiksel İfadelerinin Çıkarılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ  
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Akif KUTLU  
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE  
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yar. Doç. Dr. Göksel ASLAN  
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yar. Doç. Dr. Sedat METLEK  
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç.Dr.Yasin TUNCER

## TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

İhsan PENÇE



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	17
3.1. Parçaların Birleştirilmesi ile Tüm Modelin Oluşturulduğu Teknikler .....	17
3.1.1. Delaunay üçgenleme tekniği.....	17
3.1.2. Sınırlayan küpler algoritması.....	18
3.1.3. Radyal taban fonksiyonları .....	19
3.1.4. Yer değiştirilmiş alt yüzeyler.....	20
3.1.5. Bezier, B-spline ve NURBS eğrileri.....	21
3.1.6. Uyarlamalı sinir-bulanık çıkarsama yöntemi.....	22
3.2. Bir Matematiksel İfade ile Modelle Teknikleri .....	24
3.2.1. Verinin normalize edilmesi.....	24
3.2.2. Kapalı cebirsel eğriler ve 3L algoritması .....	25
3.2.3. Kümeleme tabanlı global optimizasyon yöntemi ile yüzey uydurma.....	31
3.2.4. Yapay sinir ağları .....	35
3.3. Nesnelere Üzerinde Animasyon İşlemleri .....	38
3.3.1. Kütle-yay metodu.....	39
3.3.2. Spline eğrilerin kontrol noktalarının değiştirilmesi .....	42
3.3.3. 3L yöntemine ait polinom katsayılarının değiştirilmesi.....	45
3.4. Veri Setleri ve Görüntüleme Araçları .....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	50
4.1. Tek Denklem ile Modelleme Çalışmaları .....	50
4.2. Büyük Parçaların Birleşimi Çalışmaları .....	59
4.3. Basit Animasyon Çalışmaları.....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR .....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	74

## ÖZET

Doktora Tezi

### 3-BOYUTLU YÜZ VE BAŞ MODELLERİNİN MATEMATİKSEL İFADELERİNİN ÇIKARILMASI

İhsan PENÇE

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ

Bu tez çalışmasında, insan başı ve yüzüne ait nokta bulutu verilerinin tek bir matematiksel denklem ile 3-boyutlu modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında bir bütün şeklinde modellenen 3-boyutlu yüzlere ait denklem katsayılarının değişimine bağlı farkların belirlenmesiyle gülme, üzülme ve kızma gibi yüz jestlerinin oluşturulup animasyon işleminin gerçekleştirilmesine de çalışılmıştır.

Literatürde yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde 3-boyutlu modelleme işleminin, küçük eğri ya da poligonların birleştirilip büyük modelin elde edilmesi şeklinde yapıldığı görülmektedir. Bu yöntemler tasarım ve görüntü açısından nesnelere iyi ifade edebilmelerine karşın modelin tamamına ait matematiksel bilgiyi sağlayamazlar. Bu çalışmada bu eksiklik giderilmeye çalışılmış olup kapalı cebirsel eğriler ve bunların hassas etkilerini gerçekleştiren 3L yöntemi, signomial ve posinomial fonksiyonlar, uyarlamalı sinir-bulanık çıkarsama yöntemi ve yapay sinir ağlarından faydalanılarak insan yüzü bir bütün şeklinde 3-boyutlu olarak matematiksel olarak modellenmeye çalışılmıştır.

Yüzün bu yöntemler ile bir bütün şeklinde modellenmesi sayesinde pahalı lazer tarayıcıları ile elde edilen 3-boyutlu nokta bulutu kümesine ait veriler sadece katsayılar ile saklanıp veri boyutu azaltılabilecek, matematiksel modeli çıkarılmış yüz üzerindeki uzuvlar üzerinde hareket işlemleri gerçekleştirilebilecektir. Bu sayede yüz ve başı birer fonksiyon ile ifade etme sonucunda, uzun zaman ve kaynak tüketen grafik animasyonunun kullanıldığı alanlarda yeni alternatif bir yaklaşım elde edilmiş olunacaktır. Ayrıca geliştirilen yöntemler diğer 3-boyutlu nesnelere de uyarlanabilir olduğundan grafik ve animasyon, simülasyon, bilgisayar oyunları, insan vücudunu görüntüleme teknikleri (manyetik rezonans, hesaplanmış tomografi, ultrason) ve makine imalatı gibi birçok alanda da kullanılabilir özellik taşıyacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** 3-boyutlu modelleme, yüz ve baş modelleme, signomial ve posinomial fonksiyonlar, animasyon, matematiksel modelleme, bulanık mantık, KTGO.

2016, 75 sayfa

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL EXPRESSIONS FOR 3-DIMENSIONAL FACE AND HEAD MODELS

İhsan PENÇE

Süleyman Demirel University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Computer Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bayram CETİŞLİ

In this study, 3-dimensional modeling of human head and face using with their point cloud data was carried out by a single mathematical equation. Besides with the determination of the differences, depending on the change of equation coefficients of the three-dimensional faces modelled as a whole in the shape, forming of facial gestures such as anger, grief and laugh were studied as well as the realization of the animation processes.

When the other studies in this area are examined, 3-dimensional modeling process, seem to be in the form of obtaining large model via combining curves or polygons of small pieces of model. Although these methods can express objects finely in terms of design and image, they cannot provide the mathematical knowledge for the reference model. This study aims to remedy this deficiency utilizing implicit algebraic curves, 3L method that performs the precise effects thereof, signomial and posynomial functions, adaptive neuro-fuzzy inference system and artificial neural networks to perform 3-dimensional form of the human face as a whole has been studied to be modelled mathematically.

With the face modeling as a whole, utilizing these methods, the data of 3-dimensional point cloud that obtained with a set of expensive laser scanners, will be stored only by coefficients and data size can be reduced, operations of movement can be performed on the mathematical model of the limbs of the face. In this way, as a result of expressing face and head with a function, a new alternative approach would be obtained in areas where long time and resource-consuming animation of graphics are used. Besides since the developed method would be readily adaptable to other 3-dimensional objects, it will carry a feature available in many areas such as graphics and animation, simulation, computer games, visualization techniques of the human body (magnetic resonance, computed tomography, ultrasound) and machinery manufacturing.

**Keywords:** 3-dimensional modeling, face and head modeling, signomial ve posynomial functions, animation, mathematical modelling, fuzzy logic, GOBC-PA.

2016, 75 pages

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım süresince desteklerini ve katkılarını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Bayram CETİŞLİ'ye ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince bana yardımcı olan değerli hocalarım Prof. Dr. Akif KUTLU'ya ve Doç. Dr. Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE'ye de desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Doktora tezimde beni cesaretlendirmesi, tavsiyeleri ve bilgisi ile bana yön veren değerli arkadaşım Öğr. Gör. Melike ŞİŞECİ ÇEŞMELİ'ye de yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

İhsan PENÇE  
ISPARTA, 2016



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Torso modelinin 57380 verteks 114756 poligondan oluşan 3B görüntüsü.....	3
Şekil 1.2. Üç rakamının 3B modellenmiş görüntüsü .....	4
Şekil 1.3. İnsan başına ait 3B model .....	4
Şekil 1.4. İnsan başına ait kaplanmış 3B model .....	5
Şekil 3.1. Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi .....	18
Şekil 3.2. Sınırlayan kareler için 2B'li kombinasyonlar ve örnek .....	18
Şekil 3.3. Sınırlayan küpler için simetriklerle birlikte 265 3B'li kombinasyon .....	19
Şekil 3.4. Radyal taban fonksiyonu ile modellenmiş iskelet eli .....	20
Şekil 3.5. Yer değiştirilmiş alt yüzey yapıları.....	21
Şekil 3.6. Yer değiştirilmiş alt yüzey yöntemine ait bir örnek .....	21
Şekil 3.7. Bir B-spline eğrisinin üç parçası.....	22
Şekil 3.8. İnsan yüzünün B-spline eğrilerle modellenmesi.....	22
Şekil 3.9. USBÇY yapısı.....	23
Şekil 3.10. Yüzün bulanık bölgelere ayrılması.....	24
Şekil 3.11. 3L algoritmasının 2B bir egride oluşturduğu üç katman .....	27
Şekil 3.12. Bir yüzey üzerinde $N_i$ nokta normaleri.....	30
Şekil 3.13. Popülasyonların kümeleme işlemi ile küme merkezlerinin tespiti....	34
Şekil 3.14. Popülasyonların parabolik eğri uydurma ile minimum ve maksimum noktalarının tespiti .....	35
Şekil 3.15. Sinirin matematiksel modeli .....	36
Şekil 3.16. Yüzey uydurma için YSA modeli .....	38
Şekil 3.17. Katsayı tespiti için YSA modeli .....	38
Şekil 3.18. Kütle-yay modeli .....	40
Şekil 3.19. Kütle-yay yönteminde deformasyon.....	40
Şekil 3.20. Üçgenleme sonrası doku katmanı modeli .....	41
Şekil 3.21. Alt çene kemiği kesilerek alt ve üst dişleri aynı hizaya getirme.....	41
Şekil 3.22. Yüz dokularının simülasyonu ile ameliyat öncesi ve sonrasındaki durumlarının bir arada gösterimi .....	41
Şekil 3.23. Ağırlıkların değiştirilmesi sonucu nesnede oluşan değişim .....	42
Şekil 3.24. Sadece bir yüzey için oluşturulan dördüncü dereceden eğri .....	43
Şekil 3.25. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulmuş 3B yüzey .....	43
Şekil 3.26. Kaynaştırılmış iki küre .....	44
Şekil 3.27. Bulanık mantık ile oluşturulan çeşitli yüzeyler .....	44
Şekil 3.28. Yüz ifadelerine ait altı temel durumun animasyonu.....	45
Şekil 3.29. Doku kaplanmış örnek bir yüz modeli .....	47
Şekil 3.30. Örnek bir 3B baş modeli.....	47
Şekil 3.31. Yüzey üzerinde alınan kesite göre oluşan görüntü .....	48
Şekil 3.32. Durchblick fonksiyonunun 3B olarak çizdirilmesi .....	48
Şekil 3.33. Surfer yazılımının arayüzü.....	49
Şekil 3.34. Durchblick fonksiyonunun Surfer yazılımı ile çizdirilmesi .....	49
Şekil 4.1. Modellenen yüz verisi.....	50
Şekil 4.2. Üç katmanlı oluşturulmuş yüz verisi .....	51
Şekil 4.3. 3L ile 3B modellenmiş insan yüzü .....	51
Şekil 4.4. Örnek yüz veritabanındaki bazı veriler .....	52
Şekil 4.5. 25 kurallı 1 nolu yüz verisinin 3B modeli.....	53
Şekil 4.6. 50 kurallı 1 nolu yüz verisinin 3B modeli.....	53

Şekil 4.7. 100 kurallı 1 nolu yüz verisinin 3B modeli .....	54
Şekil 4.8. 25 kurallı 3 nolu yüz verisinin 3B modeli.....	54
Şekil 4.9. 50 kurallı 3 nolu yüz verisinin 3B modeli.....	55
Şekil 4.10. 100 kurallı 3 nolu yüz verisinin 3B modeli.....	55
Şekil 4.11. 100 kurallı 14 nolu yüz verisinin 3B modeli.....	55
Şekil 4.12. 100 kurallı 14 nolu yüz verisinin 3B modelinin farklı gösterimi.....	56
Şekil 4.13. İnsan baş modelinin USBÇY ile 3B modellenmesi.....	57
Şekil 4.14. İnsan baş modelinin YSA ile 3B modellenmesi .....	57
Şekil 4.15. YSA ile 1 nolu yüz verisinin tek seferde 3B modellenmesi.....	58
Şekil 4.16. KTGÖ ile tek seferde modelleme.....	58
Şekil 4.17. İnsan yüzünün 35'e kümelenmesi.....	59
Şekil 4.18. Orijinal burun verisi.....	60
Şekil 4.19. Orijinal dudak verisi .....	60
Şekil 4.20. Dudağın 3L yöntemi ile 3B modellenmesi .....	60
Şekil 4.21. Burunun 3L yöntemi ile 3B modellenmesi .....	61
Şekil 4.22. Dudağın USBÇY yöntemi ile 3B modellenmesi.....	61
Şekil 4.23. Burunun USBÇY yöntemi ile 3B modellenmesi.....	61
Şekil 4.24. Parçalıdan bütüne modelleme 12. dereceden 3L eğri.....	62
Şekil 4.25. USBÇY 10 kural ve 200 iterasyon için parçalıdan bütüne modelleme .....	62
Şekil 4.26. Animasyon için referans modeller .....	63
Şekil 4.27. Referans modeller ile ara değerlerin bulunması ve animasyon işlemi .....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. USBÇY ile modelleme de 1, 3 ve 14 nolu verilere ait hata değerleri	56



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

2B	2-boyutlu
3B	3-boyutlu
4B	4-boyutlu
KCE	Kapalı cebirsel eğriler
KCY	Kapalı cebirsel yüzeyler
KTGO	Kümeleme tabanlı global optimizasyon
OKHK	Ortalama Kare Hatasının Karekökü
USBÇY	Uyarlamalı sinir-bulanık çıkarsama yöntemi
YSA	Yapay sinir ağları



## 1. GİRİŞ

Bilgisayar grafik sistemleri, bilgisayar destekli tasarım, nesne tanımlama, nesne takibi ve model temelli video kodlama gibi birçok uygulama, nesnelerin en önemli özelliklerinden birisi olan nesne şeklinden faydalanmaktadır. Nesne şekillerinin tanımlanması ve temsil edilmesi işlemi genelde “modelleme” olarak adlandırılmaktadır. Nesnelerin modellenmesi için birçok yöntem bulunmakta olup her birinin kendine özgü üstün ve eksik yönleri mevcuttur. Grafik ve animasyon, simülasyon, bilgisayar oyunları, insan vücudunu görüntüleme teknikleri (manyetik rezonans, hesaplanmış tomografi, ultrason), makine imalatı, canlı organizmaların (virüs, bakteri, tümör) modellenmesi, deniz ve okyanus tabanları, maden yatakları ve jeolojik yapıların modellenmesi gibi birçok alanda 3-boyutlu (3B) modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Bütün bu modellemelerde; genellikle uydurulacak yüzeylerden elde edilen noktalar, gruplara bölünerek alt-yüzeyler elde edilmekte ve bütün yüzey oluşturulmaktadır. Bunun için Bezier, spline, NURBS gibi eğriler ya da üçgen, yamuk gibi kapalı poligonlar kullanılmaktadır. Poligon modelleri ağ yapısı içerisinde, köşeler, kenarlar, yüzler ve bunlar arasındaki topolojik ilişkilerin bir kümesini içerirler (Uluçay ve Ertürk, 2004).

Nesneler üzerinde modelleme, animasyon ve matematiksel ifadeler oluşturma işlemleri için nesneye ait konum bilgilerinden oluşan nokta bulutu verileri kullanılmaktadır. Nokta bulutu, en kolay ve yaygın kullanım şekliyle lazer tarayıcılar ile edilebilmekte olup 3B bir nesne için uzayda  $n$  adet  $(x, y, z)$  bilgisini içeren ham veridir. Literatürde nokta bulutu elde etmek için yapılandırılmış ya da kodlanmış ışık, lazer tarama sistemi, stereo kamera, fotometrik stereo ve çok-bakışlı stereo gibi birçok yöntem kullanılmaktadır (Özüağ vd., 2012). Günümüzde herhangi küçük bir nesneden bina veya mağaralara kadar geniş bir çapta 3B nokta bulutu çıkarıp nesnelere modelleyebilen yersel lazer sistemleri geliştirilmiştir. Fakat 3B lazer tarayıcıların onbinlerce dolarlık maliyetleri ve oluşturulan modelin düzensiz yapıda olması sebebiyle animasyon, deformasyon gibi işlemler için lazer tarayıcılar yetersiz kalmaya başlamışlardır. Bu sebeple lazer tarayıcılar özel yazılımlarla birlikte kullanılmakta olup bunun yanında

alternatif yöntemler de yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yeni yöntemler arasında çoğunlukla bir veya iki fotoğraf makinesi ve bir ışıklandırmanın kullanıldığı görülmektedir. Çekilen fotoğraflar ile ışıklandırmadan elde edilen derinlik bilgisi birleştirildiğinde ortaya nesnenin 3B modeli çıkmaktadır. Bu sayede kullanıcıların 2-boyutlu (2B) resimlerden 3B modeller elde ettikleri çalışmalarda da artış meydana gelmeye başlamıştır. Lazer tarayıcılara bir diğer alternatif olarak ise Microsoft firmasının Xbox konsoluna ait Kinect ürünü göze çarpmaktadır. Kinect ürünü herhangi bir kumanda veya joystick kullanılmadan oyun oynamayı gerçekleştirebilen ara bir donanımdır. Bu sayede oyuncu sadece el ve kol hareketleriyle oyun oynayabilmektedir. Kinect bütün bu işlemleri üzerinde yer alan kızılötesi ışık yayan projektörü, RGB kamerası ve derinlik sensörü ile gerçekleştirmektedir. Kinect ürünü üzerindeki bu sensörler kullanılarak derinlik bilgisinin alınmasıyla da nesneye ait nokta bulutu elde edilebilmektedir. Yüksek çözünürlüğe ihtiyaç duyulmayan uygulamalarda fiyat ve kullanım kolaylığı açısından Kinect'in kullanımının yaygınlaştığı görülmektedir.

Veri alınması konusunda yeni çalışmalar yaygınlaşmasına rağmen bilimsel çalışmalar, elde edilen nokta bulutu verilerinin işlenmesi, daha etkileşimli ve özellikle hacimsel olarak görüntülenmesi ve bu verinin altında yatan gerçeklerin anlaşılması üzerine daha da yoğunlaşmaya başlamıştır (Özkurt, 2002). Bu çalışmada nokta bulutu verilerinin ifade ettiği matematiksel gerçekler ve bu verilerin modelleme de kullanılması konularına değinilmiş olup, insan başına ve yüzüne odaklanılmıştır. İnsan vücudunda yüz, geometrik yapısı gereği en karmaşık ve zor modellenebilen uzuvlardan biri olup oluşturulan modeller sinema, animasyon ve oyun gibi sanat ve eğlence sektörlerinde, çeşitli güvenlik uygulamalarında ve çeşitli tıp uygulamalarında kullanılmaktadır.

Nesne veya yüze ilişkin 3B nokta bulutu elde edildikten sonra sıradaki işlem bu verilere bir model oturtup üzerini doku ile kaplamaktır. Bunun yanında model üzerinde animasyon ve deformasyon işlemleri de mümkün olabilmektedir. İnsan yüzünün 3B modellenmesi için günümüzde spline eğriler ve üçgenleme metotları gibi yaygın algoritmalar kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemler görsellik açısından

nesneleri modelleyebilmesine karşın nesneleri binlerce küçük parçanın birleşimi şeklinde ele aldıklarından yüzün bütün bir şekilde matematiksel ifadesini anlaşılır biçimde ortaya koyamamaktadırlar. Bu sebeple yüzün bir bütün şeklinde veya organların birleşimi şeklinde modellenmesi literatürde henüz çözüme kavuşturulamamış konular arasında gelmektedir. Şekil 1.1’de birçok vertex ve poligondan oluşan 3B insan modeli görülmektedir.

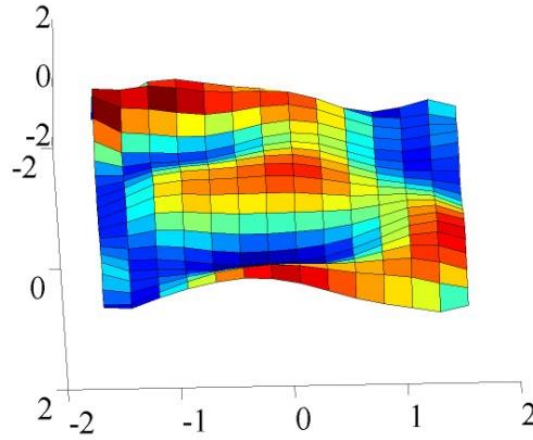


Şekil 1.1. Torso modelinin 57380 vertexs 114756 poligondan oluşan 3B görüntüsü (Uluçay ve Ertürk, 2004)

Motosiklet kaskı, başa monte edilen ekranlar ve cerrahi maskeler gibi sağlık ve güvenlik ürünlerinde de yüz ve başın modellenen ürünle uyumu için yüksek doğruluk değerlerine sahip bir modelleme gerekmektedir (Rash, 1999). Bu gibi durumların çözümü için de modelin bir bütün şeklinde oluşturulması ve geometrik bilgilerini koruması kaçınılmazdır. Bu eksikliği gidemek amacıyla bu çalışmada modelleme açısından öne çıkan yöntemler açıklanıp, tüm yüzü ve başı tek bir matematiksel ifade ile modelleyebilecek yöntemlerin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

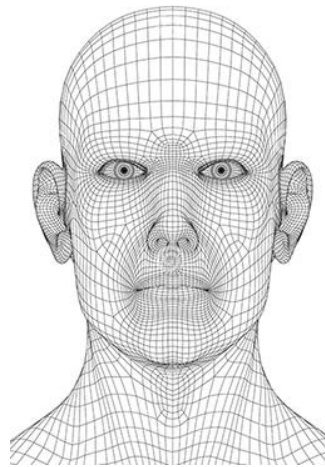
Nesneyi parçalara ayırmadan tek seferde modelleyerek bu modele ait matematiksel denklem elde etme işlemi ise literatürde az karşılaşılan ve çarpıcı sonuçları olan bir yöntemdir. Böyle bir çalışma el yazılarının tek seferde modellenip 3B yapılarına ait denklemin elde edilmesinde görülmektedir. Bu denkleme ait katsayıların kullanılarak sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi sonucunda başarılı sonuçlar alınmıştır (Pençe ve Cetişli, 2013). Şekil 1.2 ‘de üç

rakamının sekizinci dereceden tek bir denklemlerle 3B modellenmiş hali görülmektedir.



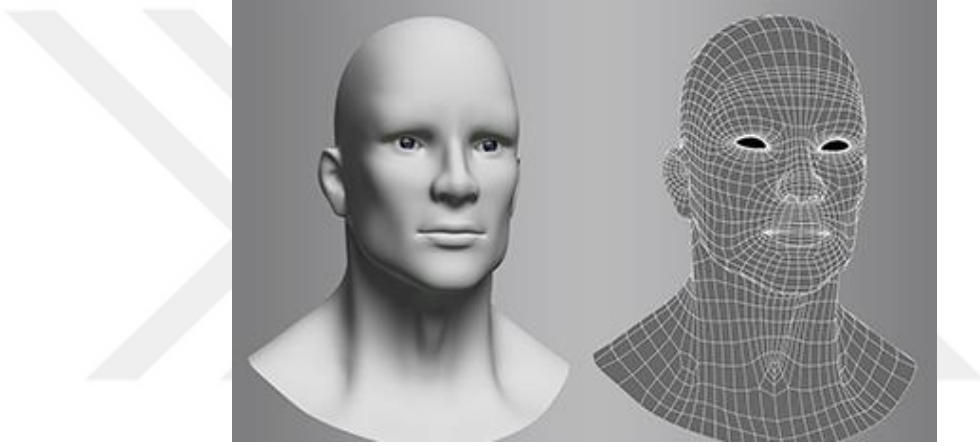
Şekil 1.2. Üç rakamının 3B modellenmiş görüntüsü (Pençe ve Cetişli, 2013)

Şekil 1.2'de de görüldüğü gibi tek bir denklem ile belli sınırlar içerisinde üç rakamına ait denklem bulunabilmiş ve bu denkleme ait 3B yüzey çizdirilebilmiştir. İnsan başına ait modelin oluşturulabilmesi içinse insan yüzünde yer alan uzuvlarında doğru bir şekilde modellenmesi gerekir. Şekil 1.3'te tel kafes (wireframe) şeklinde gösterilmiş insan başına ait bir 3B model görülmektedir. Model incelendiğinde insan yüzünün kulak, göz, dudak vb. uzuvlarının kapalı eğri ve yüzeylerden oluştuğu görülebilmektedir. Bu uzuvlar kapalı cebirsel eğriler (KCE) veya başka bir yöntem ile modellenebilirler.



Şekil 1.3. İnsan başına ait 3B model

Bilgisayar animasyonu açısından bakıldığında nokta bulutu verilerinden oluşturulan modelin bilgisayar ortamında hareket ettirilmesi, deformasyonlar yardımıyla model üzerinde değişikliklerin yapılması işlemleri animasyon kategorisinde ön plana gelmektedir. 3B bilgisayar animasyonu nesne modelleme, nesneye derinlik kazandırma, hareket belirleme ve senkronizasyon gibi aşamalardan oluşmaktadır (Çınar ve Arslan, 2001). Şekil 1.3'te yer alıp başı oluşturabilecek kapalı eğrilere ait katsayıların değiştirilmesiyle gülme, şaşırma, üzülme vb. yüz ifadeleri oluşturularak animasyon işlemleri gerçekleştirilebilir. Daha sonra oluşturulan model kaplanarak Şekil 1.4'te ki gibi yüzey oluşturulabilir.



Şekil 1.4. İnsan başına ait kaplanmış 3B model

Bu çalışma 3B farklı yüzeyleri daha kolay ve daha hızlı uydurmak için yeni yaklaşımlar içermektedir. Bunlardan ilki, polinomsal eğri veya yüzey uydurma tekniğinin daha serbest hale getirilerek, yüzeylerin daha iyi uydurulduğu tek tip denklemler (signomial ve posinomial eğriler) ifade edebilmektir. Bu eğrilerde parametreler, kümeleme tabanlı global optimizasyon yöntemi (KTGO) tarafından bulunmakta olup bu sayede yeni bir yüzey uydurma yöntemi geliştirilip bu çalışmada kullanılmıştır. İkinci yaklaşım ise, uydurulacak yüzeyin alt-yüzeylere ayrılarak, uyarlamalı sinir-bulanık çıkarsama yöntemi (USBÇY) ile her alt bölge için ayrı yüzeylerin oluşturulması ve bütün bu alt-yüzeylerin birleştirilerek tüm yüzeyin elde edilmesidir. Bunun yanında bilinen diğer yöntemlerden olan KCE'nin daha hassas uygulamalarından 3L yöntemi ve yapay sinir ağları (YSA) da tek tip denklemler için kullanılmıştır. Uygulama alanı olarak insan vücudundaki

baş ve yüzün belirlendiği bu tez çalışmasında, yüze ait matematiksel modelin bulunup bu modelin katsayıları ile oynanarak yüz mimiklerinin ortaya çıkması amaçlanmıştır.

Yüzün bu yöntemler ile bir bütün şeklinde modellenebilmesi sayesinde pahalı lazer tarayıcıları ile elde edilen 3B nokta bulutu kümesine ait veriler sadece katsayılar ile saklanabilecek, matematiksel modeli çıkarılmış yüz üzerindeki uzuvlar üzerinde hareket işlemleri gerçekleştirilebilecektir. Bu sayede yüz ve başı birer fonksiyon ile ifade etme sonucunda, uzun zaman ve kaynak tüketen grafik animasyonunun kullanıldığı alanlarda yeni alternatif bir yaklaşım elde edilmiş olunacaktır.

3B model üzerinde veriler, denklem ile ifade edildikten sonra matematiksel ifadede ilk göze çarpan durum elde edilen katsayılar arasındaki ilişki ve modeldeki etkisi olacaktır. Bu çalışmada da gülme, zlme ve şaşırma gibi ifadelere ait katsayılar incelenmiş ve katsayılar arasındaki farklar belirlendikten sonra bu katsayıların değişimine göre yüz jestlerinin ifadesindeki değişimler ile animasyon işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüzün 3B modellenmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmış olup bu çalışmaların çoğu küçük parçalardan bütünü oluşturma şeklindedir. Bu tez kapsamında gerçekleştirilen uygulama, analiz ve değerlendirme aşamalarında önemli ölçüde yararlanılan bugüne kadar gerçekleştirilmiş araştırma çalışmaları aşağıda kronolojik sırayla ele alınarak kısa özetleri ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Nahas vd. (1988), B-spline eğrileri ile 3B tarayıcıdan elde edilen veriler ile insan başının modellenmesi üzerine çalıştıktan sonra Waite (1989), bikübik B-spline ile sanal yüz üzerinde animasyon işlemleri gerçekleştirmiştir. Spline eğriler geçen zaman içerisinde birçok alanda modellemede kullanılmakla birlikte insan yüzü ile ilgili çalışmalar Archer (1997) ile devam etmiştir.

Blanz ve Vetter (1999), çalışmalarında 200 adet 3B resim kullanarak oluşturdukları 3B değiştirilebilir model sayesinde veri setinde olmayan resimleri 3B hale dönüştürebilmişlerdir. 3B biçimi değiştirilebilir modeller (3D morphable model) belirli sayıda 3B modelin kullanılmasıyla oluşturulmuş kalıp modellerdir. Bu sayede eğitim sonucu oluşturulan kalıp model yeni bir resme göre ayarlanıp 2B resmin 3B hale getirilmesi sağlanabilmektedir. Çalışmalarında 2B resmin 3B model haline dönüştürülmesi ve oluşturulan model üzerinde yeni yüz ifadeleri, gölgeler ve bakış açılarının oluşturulmasını gerçekleştirmişlerdir.

Lee ve Magnenat-Thalmann (2000), animasyonlar için hızlı baş modelleri oluşturmak üzerine çalışmışlardır. Animasyon için 3B yüz modellerini oluştururken ön ve yan görünümünden alınan iki ortogonal resmin veya mevcut kaynaklardan elde edilebilecek verilerin kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Doku haritasını ise iki resmin birlikte kullanılmasıyla oluşan resimden elde etmişlerdir.

Tasdizen vd. (2000), 2B şekillerde KCE'nin daha hassas etkilerini gerçekleştirmek için 3L yönteminden faydalanmışlardır. Veriyi üç katmanda oluşturup katsayıların istikrarlı olabilmesi için ridge regresyon yöntemini

kullanmışlardır. Daha sonra Blane vd. (2000), 3L yöntemini daha detaylı açıklayıp 2B ve 3B verilerde test etmişlerdir.

Cheng ve Lai (2001), moleküler görüntü dizilerinden 3B yüz modellerini yeniden oluşturmak için tümleşik bir sistem ortaya koymuşlardır. Yöntemleri, video serilerinden kazanılan 3B dağınık geometrik kısıtları kullanarak genel bir uyum içinde 3B yüz modellerini oluşturmaktadır. Kullanılan doku haritası ise resim dizilerinin uygun ağırlıklarla birleştirilmesi sonucu elde edilmektedir.

Rosales vd. (2001), çoklu ve kalibre edilmemiş görüntülerden 3B vücut pozu tahmini üzerine çalışmışlardır. Herhangi bir kamera kalibrasyonuna ihtiyaç duymaması, değişmez Hu momentlerinden yararlanması ve daha iyi bir 3B yeniden oluşturma tekniği sunmasının yöntemin en önemli özellikleri olduğunu belirtmişlerdir. Yaklaşımın performans değerlendirmesini insan hareketlerine ait video dizilerinin yanı sıra sentetik dizilerle de yapmışlardır.

Huang ve Yan (2002), NURBS eğrilerini ve yüz anatomi bilgisini kullanarak insan yüz ifadelerini modelleyip animasyonunu gerçekleştirebilmişlerdir. Kontrol poligonlarının pozisyonlanması ve NURBS eğrilerinin örnek noktalarının yüz kafes yapısıyla ilişkilendirilebilmesi için yüz anatomi bilgisinden yararlanmışlardır. Yüz kaslarının simülasyonu için bulanık setler kullanıp, yüz kaslarının hareketlerini NURBS eğrilerinin kontrol noktalarını hareket ettirerek yapmışlardır.

Özkurt (2002), 3B örneklenmiş noktasal veriler kullanarak ilgili alanların 3B yüzey modellerinin sınırlayan küpler algoritmasıyla çıkarılması üzerine çalışmıştır. Bu sayede büyük miktardaki ham verinin çok daha kısa zamanda ve etkileşimli olarak görüntülenmesi mümkün olmuştur. Sınırlayan küpler, 3B yüzeyi küçük üçgensel yüzeylerin birleştirilmesi ile oluşturmaya yönelik bir algoritmadır.

Çınar ve Arslan (2002), çalışmalarında bulanık mantık tabanlı serbest şekilli yüzey modellemesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntem, yüzey

modellenirken kullanılacak kontrol noktalarının bulanık mantık tekniği ile bulunması esasına dayanmaktadır. Başlangıç ve bitiş noktaları belli olan durumlarda, eğriler modelleyerek ve bu eğrileri birleştirilerek yüzey oluşturulmuştur. Elde edilen yüzey 3B nesne birleştirme işlemine uygulanarak, 3B nesne kaynaştırma örnekleri verilmiştir. Çalışmalarında literatürde sıklıkla yer alan spline ve Bezier eğriler yerine bulanık mantıkla kontrol edilen eğriler kullanmışlardır.

Romdhani vd. (2002), çalışmalarında 3B değiştirilebilir modeli kullanmışlardır. Geliştirdikleri yeni bir algoritma olan LIST (Linear Shape and Texture) ile 5000 den fazla resmi içeren CMU-PIE veritabanı üzerinde yaptıkları çalışmada olumlu sonuçlar elde etmişlerdir. LIST yönteminin modelin doğrusallığından yararlandığını ve doku parametrelerine dayanan etkili bir biçim kurtarma özelliğine sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Mikic vd. (2003), çoklu senkronize video akışı girişlerini kullanarak hareket izleme ve insan vücuduna ait 3B modelin otomatik elde edinimi üzerinde çalışmışlardır. Bunun için öncelikle video karelerini bölütlemişler ve her kare için insan vücut şeklindeki 3B voksel yeniden yapılandırılması değerlerini ön plandaki silüetler kullanılarak hesaplamışlardır. Bu yeniden yapılandırmalar daha sonra hareket izleme ve insan vücuduna ait 3B modelin otomatik elde edinimi için kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarında her yaşta ve kiloda insan için yürüme, oturma, dans etme ve zıplama gibi çeşitli aktivitelerde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Blanz ve Vetter (2003), geliştirdikleri algoritma ile 3B yüz modellerini istatistiksel uydurma ile resimlere dönüştürüp yüz tanıma işlemi uygulamışlardır. Yüz, 3B şekil ve doku için model parametreleri ile ifade edilmiştir. Ayrıca model, bir dizi doku kaplı 3B baş taramalarını kullanarak öğrenmektedir. Çalışmalarında CMU-PIE ve FERET yüz veritabanlarını kullanarak sırasıyla %95 ve %95,9 tanıma oranı yakalamışlardır.

Uluçay ve Ertürk (2004), çözünürlüğün ağ basitleştirme yöntemleri kullanılarak ayarlanabildiği 3B nesne modellemesi üzerine çalışmışlardır. 3B nesne modellemesi için yaygın olarak kullanılan poligon modeller kullanılmış ve bu poligonların birleşiminden oluşan ağ örgüsü daha sonra dolgulu, renkli veya doku kaplamalı olarak gösterilmiştir. Nesnenin 3B modelinin sahip olduğu poligon ve köşe sayılarının miktarı, çözünürlüğe ve veri miktarına doğru orantılı biçimde etki etmekte olup poligon sayısı artınca çözünürlük ile beraber veri miktarının da arttığını vurgulamışlardır.

Jiang vd. (2004), çalışmalarında farklı poz aydınlatma ve ifadelerle sahip yüz tanıma için bir yapı ortaya koymuşlardır. Öncelikle 2B den 3B ye yüzlerin yeniden yapılandırılması için etkili bir yaklaşım ortaya koyarak, normal ışık altında ve doğal ifadelerle 3B yüz modelleri oluşturmuşlardır. Daha sonra yüze ait alt uzayların karakteristiklerinin tanımlanması için oluşturulan 3B yüz modellerine dayalı gerçekçi sanal yüzler sentezlenmiştir. Son olarak sanal yüzler kullanılarak yüz tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tek bir ön cephe fotoğrafına ihtiyaç duyulması değişken ışık gibi zorlu koşullar altında çalışabilmesi ve 2B den 3B ye geçiş için daha etkili bir yöntem olması sebebiyle diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Zhang ve Molenbroek (2004), lazer tarayıcılardan elde edilen verileri kullanarak B-spline eğriler ile insan başını 3B modellemişlerdir. 13999 veri noktasına sahip ham veriyi 316x480 adet kontrol noktası kullanarak B-spline eğrilerin interpolasyonu ile yeniden düzenleyip modellemişlerdir.

Ansari ve Mottaleb (2005), yüze ait öznelik çıkarmak ve kalibre edilmiş kameralar ile insan yüzüne ait profilden ve ön cepheden alınan resimler kullanılarak oluşturulan 3B yüz modelleme için algoritma geliştirmişlerdir. Algoritmaları, resimlerden elde edilen 2B işaretlenmiş yüz öznelikleri çıkarmak ve bunların 3B koordinatlarını hesaplamaktadır. Ön deneyler sonucunda yüz tanıma için sonuçlandırılan modellerin umut verici olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Karniel vd. (2005), çalışmalarında öncelikli geometrik kısıtlamalar ile tersine mühendislikte yüzey uydurma problemleri için pratik bir çözüm ortaya koymuşlardır. Yöntemleri öncelikli kısıtlamaları kullanarak problemin ayrıştırılmasını ve alt problemlere dönüştürülmesini sağlamaktadır. Her çözüm adımına ait sonuçlar yüzey uydurması için kullanılmıştır. Çeşitli performans kıyaslayıcı problemler üzerinde alınan sonuçlara göre yöntemlerinin yüzlerce yüzeye ve kısıta sahip büyük problemlerin çözümü için uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Dornaika ve Ahlberg (2006), takip etme ve eğitime işlemi için sürekli video dizilerine 3B deforme olabilen yüz modeli uydurmuşlardır. Geliştirdikleri iki farklı metodunda sadece basit bir yüz doku modeline ihtiyaç duyduğu ve gradient matrisine ait önceden hiçbir bilgiden yararlanmadığını belirtmişlerdir. En iyi arama yönlerini anında tahmin ederek hesaplamışlardır. Önerdikleri şemalar kaç adet yüze ait animasyon parametresinin hesaplanacağı konusunda çok fazla esneklik göstermektedir.

Rothganger ve Lazebnik (2006), resimlere ait yerel afin değişmez tanımlayıcılar ile 3B nesnelere için yeni bir gösterim ortaya koymuşlardır. Geometrik kısıtlar, afin işlemler altında aynı eklemeye ait farklı görünüşler ile ilişkilendirilmiştir. Değişik açılardan çekilmiş fotoğraflar kullanılarak afin ve öklidyen 3B modellerin otomatik oluşturulması sağlanmıştır.

Orvalho vd. (2006) çalışmalarında spline eğrilerini yüz modellemesinde ve animasyonunda kullanmışlardır. Yöntemleri, yüz ifadelerine ait belirleyici özellikleri tanımlayan bir dizi sınıf kullanmaktadır. Bu sınıflar ve diğer deformasyon yöntemlerini birleştirdiklerinde iskelet ve kasların modele uydurulup fizik tabanlı animasyonların gerçekleştirilebileceğini göstermişlerdir.

Büyükatalay vd. (2006), çalışmalarında 3B yüz modeli oluşturmak için 2B fotoğraflar kullanılarak 3B uzay koordinatlarını içeren kafes model ve modeli saran bir doku resmi oluşturma süreçlerini izlemişlerdir. Öncelikle yüz modeli yapılacak kişinin sabit yüz ifadesi ile dururken değişik açılardan fotoğrafları

çekilmiştir. Önceden tanımlanmış yüz modeli üzerinde kullanılacak olan ve yüzün ana özelliklerini yansıtan koordinatlar (gözlerin ve ağzın kenarları, burun ucu) belirlenir. Bu özellik noktaları çekilen fotoğraflar üzerinde de işaretlenir. Bu noktalar çekilen fotoğraftaki kamera yer ve yönlerini yüz modeline bağlı olarak belirlemede kullanılır. İterasyon aşamasında, hesaplanan kamera yerlerine göre yeni 3B özellik koordinatları bulunur. İterasyon aşamasının sonunda özellik noktalarının kişiye özgü koordinatları hesaplanmış olur. Oluşturma aşamasında ise kişinin yüz koordinatları ve başlangıç aşamasında girilen fotoğraflar kullanılarak bütün yüz modelini saracak tek bir doku resmi ve bu resmi modelin üstüne oturtmakta kullanılacak doku model eşleştirilmesi oluşturulur.

Igarashi vd. (2007), çalışmalarında doldurulmuş hayvanlar ve diğer yuvarlak nesnelerin serbest formlu modellerini hızlı ve kolay bir şekilde tasarlayan bir çizim ara yüzü sunmuşlardır. Yöntemlerinde, kullanıcı önce ekranda interaktif olarak 2B serbest formlu konturlar çizer daha sonra sistem otomatik olarak makul bir şekilde 3B poligon sal yüzeyler oluşturmaktadır. Çalışma sonuçlarında sistemi ilk kez kullanan birinin on dakika içerisinde sistemde uzmanlaştığını ve 3B modelleri dakikalar içerisinde oluşturabildiğini belirtmişlerdir.

Bulu ve Alpkoçak (2007), dört farklı 3B bölütleme algoritmasını üç farklı bilgisayarlı tomografi (CT) veri kümesi üzerinde test ederek performanslarını karşılaştırmışlardır. Önerdikleri bölütleme algoritmaları; tohumlu bölge genişlemesi, Weibull belenen standart sapma değerlerini kullanarak 3B bölütleme, Otsu yöntemini kullanarak otomatik çok seviyeli eşikleme ve tohum sız bölge genişlemesidir.

Zheng vd. (2007), içerisinde insan başı da yer alan bir takım 2B ve 3B nesnelere KCE ve 3L yöntemi ile modellemeye çalışmışlardır. İnsan başında yüksek hassasiyetli sonuçlar elde edememişlerdir.

Zhang ve Tan (2007), çalışmalarında yüze ait şekillerin özelliklerinden oluşan veriye temel bileşen analizi yöntemini uygulamışlardır. Daha sonra örnek modellerin parametreleştirilmesi için radyal taban fonksiyonlarından

yararlanmışlardır. İnterpolasyon fonksiyonlarının hesaplanmasıyla yeni yüz geometrileri oluşturulabilmiştir.

Sahin ve Unel (2008), çalışmalarında insan başını da içeren bir dizi 3B nesne üzerinde stabil modelleme yapmışlardır. 3L yöntemini kullandıkları modellemeler sonucunda insan başına ait kaba bir model elde edilmesine rağmen yüksek hassasiyetli sonuçlar alınamamıştır.

Furukawa ve Ponce (2009), çalışmalarında çoklu kalibre edilmiş fotoğraflardan karmaşık 3B şekillerin yüksek kaliteli katı modellerini elde etmek için yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Yaklaşımlarını yedi adet gerçek veri seti üzerinde uygulamış ve deneysel çalışma yapmışlardır. Yöntemlerinin performans değerlendirmesini ise literatürdeki benzer metotlarla karşılaştırarak yapmışlardır.

Yirci ve Ulusoy (2009), çalışmalarında düzensiz 3B yüz modellerin yeniden modellenerek düzenli hale getirilmesi üzerine çalışmışlardır. Poligonal modeller yapılarına göre düzensiz, yarı düzenli ve düzenli olmak üzere üç gruba ayrılabilirler. Bu sınıflandırma yapılırken modellerdeki köşe noktalarının düzenli olup olmadığına bakılır. Üçgenlerden oluşmuş bir modelde düzenli bir köşe noktasını çevreleyen üçgen sayısı dört (dıştaki noktalar – boundary vertices) veya altı (içteki noktalar – interior vertices) olmalıdır. Çalışmalarında diğer yöntemlerden farklı olarak 3B modelleri 2B bir kare üzerine eşleme (mapping) aşamasında CGAL kütüphanesindeki “Floater Mean Value Coordinates” algoritması kullanmışlardır (CGAL, 2014). Uyguladıkları yeniden düzenleme modeli üç aşamadan oluşmakla beraber bunlardan ilki 3B yüz modelini 2B bir birim kare üzerine eşlemektir. İkinci aşamada elde edilen eşleme örneklenerek 2B uzayda düzenli noktalar elde edilerek bu noktalar için eşleme işlemi tersine çevrilerek 3B uzayda bu noktalara karşılık gelen köşe noktaları bulunur. Son olarak tamamı düzenli olan bu köşe noktaları üçgenleme veya dörtgenleme kullanılarak birleştirilir.

Aina (2009), çalışmasında spline eğrilerini yüz modellemesinde ve animasyonunda kullanmıştır.

Akgül (2009), geliştirdiği projede stereo ve odaktan şekil yöntemleri aynı çatı altında toplayarak, her bir yöntemin avantajını diğer yöntemin dezavantajını yenmek için kullanmıştır. Stereo ve odaktan şekil bulma daha önceden de aynı çatı altında toplanmaya çalışılmış olup, kullanılan çifte ağ metodu ile çalışmaya önemli bir sistematik yaklaşım getirmiştir. Çifte ağ metodu ile 2B resimlerden derinlik bilgisi elde edilerek 3B modeller oluşturulmuştur.

Özüağ vd. (2010), çalışmalarında bir projeksiyon cihazı ve yüksek çözünürlüğe sahip bir fotoğraf makinesi kullanarak insan yüzlerini 3B olarak bilgisayar ortamına taşımışlar ve çeşitli deformasyonlara uğratmışlardır. Yüze projektör yardımı ile renkli örüntü yansıtılarak KMeansLineFit algoritması ile derinlik bilgisi elde edilmeye çalışılmıştır. Deneysel sonuçlar ile bu yöntemle derinlik bilgisinin yüksek çözünürlükte elde edilebildiğini göstermişlerdir. Derinlik bilgisinin elde edilmesinden sonra kullanıcının 3B model üzerinde modifikasyonlar yapabilmesini sağlayacak bir grafiksel kullanıcı arayüzü tasarlamışlardır.

Akatürk (2011), tez çalışmasında 2B eskizlerden 3B düzensiz yüzeyli nesnelerin modellenmesi üzerine çalışmıştır. Kullanılan sistem sayesinde, kullanıcıların bazı çizgilerle pürüzsüz basit nesnelere oluşturabileceğini ve gölgelendirme bilgisi taşıyan eskizler aracılığıyla oluşturulan nesnenin yüzeyini pürüzlü hale dönüştürebileceğini belirtmiştir. Sistem sayesinde kolayca 3B örgüler oluşturulup üzerlerinde değişiklikler yapılabileceğini vurgulamıştır.

Cetişli ve Kalkan (2011), signomial ve posinomial terimleri içeren tek denklemlerle 3B eğrileri uydurmuşlardır. Terimlerin katsayılarını ve üstel değişkenlerini genetik algoritma ile hesaplatmışlardır.

Özüağ vd. (2012), standart ışık kaynakları ile tek pozda 3B yüz geometrisinin elde edilmesi için pasif bir stereo sistem önermişlerdir. Önerdikleri sistem üç adet

5Mp kameradan ve iki adet difüze edilmiş standart ışık kaynağından oluşmaktadır. Stereo imge çiftleri arasından derinlik bilgisini, NCC (Normalized Cross-Correlation) benzerlik ölçütü temelli sıradüzensel bir yöntemle elde etmişlerdir.

Rouhani ve Sappa (2012), 3L algoritmasını hızlandırıp 3B modeller üzerinde denemişlerdir. Normal nesnelere iyi sonuçlar alınmasına karşın insan başında yüksek detaylara ulaşamamışlardır.

Luximon vd. (2012), Delaunay üçgenleme yöntemi ile Çinli insanların yüz ve başlarını 3B modellemişlerdir.

Pençe ve Cetişli (2013), çalışmalarında 2B el yazısı karakterlerinin sekizinci dereceden matematiksel ifadelerini çıkarıp 3B model oluşturabilmişlerdir. Elde edilen denkleme ait katsayılar kullanılarak sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi sonucunda da başarılı tanıma oranları alınmıştır.

Sato vd. (2015), tarihi kalıntılarda taş zeminleri yüksek hassasiyette modellemek için KCE kullanmışlardır. Taşlar arasındaki mesafeyi ayarlamak için Voronoi diyagramlarından yararlanmışlardır.

Rouhani vd. (2015), çalışmalarında kapalı B-spline yöntemi ile yüzeylerin yeniden oluşturulması üzerine çalışmışlardır. B-spline yönteminin parçalı yapısında sayesinde başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Geliştirdikleri yöntem hızlı bir şekilde aktif kontrol parametrelerini tespit ederek etkili bir ağırlıklandırma algoritması ile 2B şekil ve 3B yüzeyleri modelleyebilmiştir.

Zhi-chao vd. (2015), çalışmalarında hem 3B yüz modeli oluşturmak hem de yüz tanıma işlemini gerçekleştirmek için bölgesel kapalı fonksiyon özelliği yöntemi kullanmışlardır. Öncelikle biyolojik karakteristiğine göre yüzü beş adet bölgeye ayırıp daha sonra kontrol matrisi kullanıp 3B yüz modelini yeniden düzenleyip modellemişlerdir. Tanıma işlemi için düşük boyutlu karakter tanımlayıcı kullanarak 3B yüz tanıma işlemi gerçekleştirmişlerdir.

Peng vd. (2016), herhangi bir kamera kalibrasyonu olmadan farklı ortamlarda yakalanan görüntüler kullanılarak 3B yüz modellemesi yapmışlardır. Modelleme için B-spline eğrilerini kullanmışlardır. Yaş ya da pozun değişmesine rağmen başarılı sonuçlar almayı başarmış olup deneysel çalışmalarında Kraliçe Elizabeth'in bebeklik resminden yaşlılığına kadar olan resimleri de yer almaktadır.

Zhu vd. (2016), çalışmalarında tek bir RGB kamera kullanarak 3B insan vücudunu aşamalı ve otomatik bir şekilde modellemişlerdir. Öncelikle insan pozlarını belirlemek ve yeniden düzenlenmiş vücut parçalarını elde etmek için, vücudun bölgelerine kinematik sınıflandırma uygulamışlardır. Daha sonra kalıp bir model üzerinde vücudun parçalarını hesaplama ile yerleştirerek, kişiselleştirilmiş parametrik insan modeli oluşturulmuştur. Uygulamanın akıllı telefonlara yüklenebildiğini bu sayede insan vücuduna ait 3B modelin telefon üzerinde oluşturulmasının mümkün olduğunu belirtmişlerdir.

Bolkart ve Wuhner (2016), geliştirdikleri uygulamanın çoklu lineer modeli, 3B yüz veritabanlarındaki eksik veriler, uygunsuz verteks noktaları ve bozulmuş veriler ile birlikte öğrenmesini sağlamışlardır. Bu sayede sistem çoklu lineer model ile birlikte hatayı da düzeltmeyi öğrenebilmiş olup, bu sisteme gürbüzlük özelliği katmıştır.

Obo vd. (2016), Kinect ürünü üzerindeki 3B sensörler ile elde ettikleri insan jest hareketlerinin tanınmasını gerçekleştirmişlerdir. Yöntem olarak USBÇY kullanmışlardır. İnsan-robot etkileşiminde insan jestlerinin önemi vurgulayıp, robotların bu jestleri tanınmasıyla iletişim işleminin daha verimli olacağına vurgu yapmışlardır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde yapılan çalışmaların çoğunun modelleme işlemini küçük parçalardan bütünü oluşturma şeklinde yaptığı görülmekte olup bu çalışmada gerçekleştirilip modelin tamamını tek bir matematiksel ifade ile oluşturma işleminin literatürdeki bu boşluğu kapatacağı öngörülmektedir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Nokta bulutu verisinden örme yüzey elde etmede çeşitli yaklaşımlar mevcut olmakla beraber, bilgisayar grafiği konusunda çalışanlar konturlama tekniği ve yüzey normallerini (William ve Harvey, 1987; Hoppe vd., 1990) kullanırlarken hesaplamalı geometri konusu ile ilgilenenler 3B Delaunay (Delaunay, 1934), üçgenleme tekniği ve Voronoi diagramları (Voronoi, 1907) ile çalışmışlardır. Bunun yanında sınırlayan küpler (William ve Harvey, 1987), kütle-yay metodu (Baraff ve Witkin, 1999), 3B biçimi değiştirilebilir modeller (Blanz ve Vetter, 1999), kapalı yüzey fonksiyonları ve radyal taban fonksiyonları (Verleysen ve Hlavackova, 1994) ile USBÇY sıklıkla kullanılmaktadır. Tüm bu parçadan bütünü oluşturulduğu yöntemlerin dışında KCE (Taubin, 1991), 3L yöntemi (Lei vd., 1996), YSA ile oluşturulmuş yüzeyler, KTGO tekniği kullanan yüzey uydurma teknikleri de tek seferde modelleme teknikleri arasında yer almaktadırlar.

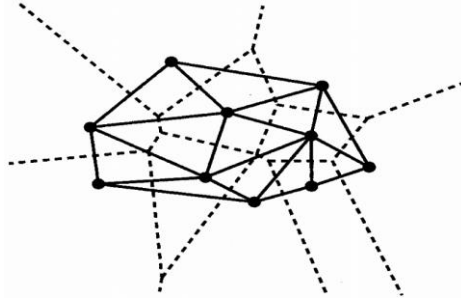
#### **3.1. Parçaların Birleştirilmesi ile Tüm Modelin Oluşturulduğu Teknikler**

Bu tip modelleme tekniklerinde nokta bulutunda yer alan veriler tek tek veya belli bir grup şeklinde modellendikten sonra bu parçalar ana modeli oluşturacak şekilde birleştirilir. Bunun yanında kalıp modellerin kullanılıp nokta bulutuna göre bu kalıbın şekillendirildiği uygulamalara da sıklıkla rastlanmaktadır.

##### **3.1.1. Delaunay üçgenleme tekniği**

Literatürde üçgenleme yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntem olan Delaunay üçgenleme yöntemi 3B ve 2B modellemede nokta bulutlarını birleştirip yüzey oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Düzlemde yer alan sonlu nokta kümesinde her noktanın kendisine en yakın komşu iki nokta ile birleştirilmesiyle oluşturulan üçgene Delaunay üçgeni denmektedir. Oluşturulan Delaunay üçgenlerinin kenar orta dikmelerinin birleştirilmesiyle Voronoi çokgeni elde edilir. Voronoi çokgeni herhangi bir noktaya, kümedeki diğer noktalardan daha yakın konumda bulunan düzlem noktalarının geometrik yeridir. Kümedeki tüm noktaların Voronoi çokgenlerinin birleşimi, o kümenin Voronoi diyagramını

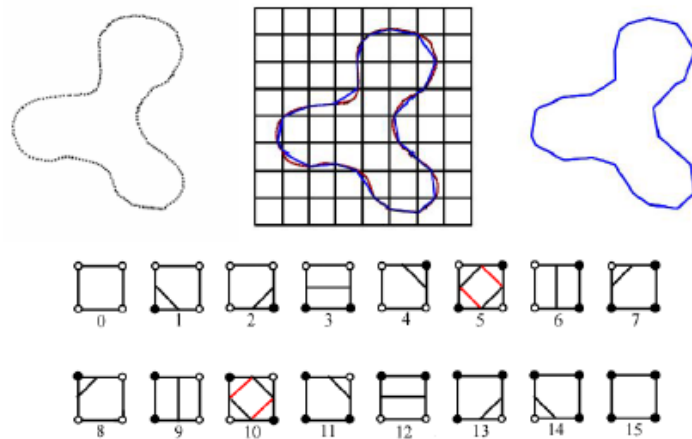
oluşturur (Yanalak, 1997). Şekil 3.1'de Voronoi diyagramı verilmiş olan kümenin Delaunay üçgenleri görülmektedir. Geometrik olarak Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi bir çift oluşturmaktadır.



Şekil 3.1. Voronoi diyagramı ve Delaunay üçgenlemesi (Mcallister ve Snoeyink, 2000)

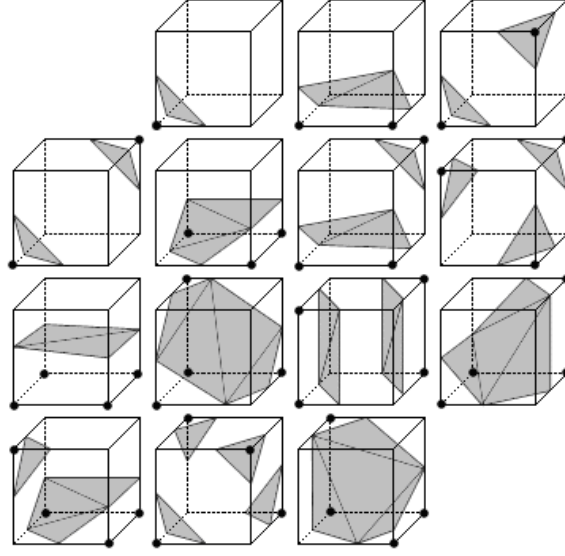
### 3.1.2. Sınırlayan küpler algoritması

Sınırlayan küpler (Marching cubes) algoritması tomografi verilerinin görüntülenmesi amacı ile geliştirilmiştir (William ve Harvey, 1987). Giriş uzayı küplere bölünerek, her bir hacim elemanı için önceden tanımlanmış belirli küp kombinasyonlarından yüzeyi en iyi sınırlayanı seçilerek, yüzeyi temsil eden poligon örme yüzey elde edilir. Şekil 3.2'de algoritmanın 2B gösterimi örnek üzerinde verilmiştir.



Şekil 3.2. Sınırlayan kareler için 2B'li kombinasyonlar ve örnek (Balta ve Öztürk, 2009)

Sınırlayan karelerin 3B'li gösterimi ise Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3. Sınırlayan küpler için simetrilerle birlikte 265 3B'li kombinasyon (Balta ve Öztürk, 2009)

Yüzey normaleri incelendiğinde, her bir nokta için yüzey normalinin belirlenmesinde  $k$  adet en yakın komşular veya belirli bir mesafedeki tüm komşular kullanılır. Seçilen noktaların belirlediği düzlem ve bu düzleme ait normalin yönü, poligon geri çatmada referans olarak kullanılır (Balta ve Öztürk, 2009).

### 3.1.3. Radyal taban fonksiyonları

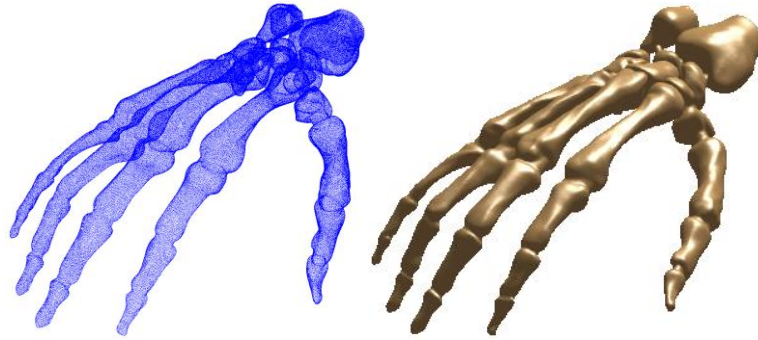
Radyal taban fonksiyonları aldıkları değerlerin yalnızca fonksiyonun hesaplandığı noktanın uzayın orijininden olan uzaklığına bağlı olduğu skaler fonksiyonlardır. 3B modeli oluşturmak için kullanılmalarının temeli ise; bir grup radyal taban fonksiyonunun istenen  $f$  fonksiyonuna yaklaşıp şekilde ağırlıklandırılarak toplanması oluşturmaktadır (Verleysen ve Hlavackova, 1994). Eşitlik (3.1)'de genel bir radyal taban fonksiyonu verilmektedir.

$$s(x) = p(x) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(|x - x_i|) \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)'de  $p$  düşük dereceli bir polinomu,  $\phi$   $[0, \infty)$  aralığında temel fonksiyonu,  $x_i$  radyal taban fonksiyonununun merkezlerini,  $\| \cdot \|$  öklidyen normu ve  $\lambda$  ise ağırlık katsayılarını ifade etmektedir. Temel fonksiyon olarak çoğunlukla iki değişkenli pürüzsüz değerler için ince-plaka spline fonksiyonu olan  $r^2 \log(r)$  yer almaktadır. Bunun yanında  $\sqrt{r^2 + c^2}$  ve üç değişkenli değerler için  $r^3$  spline'ları bulunmaktadır (Carr vd., 2001). En çok kullanılan temel fonksiyon ise YSA'da da kullanılan Eşitlik (3.2)'de yer alan fonksiyondur.

$$\phi = \exp(-cr^2) \quad (3.2)$$

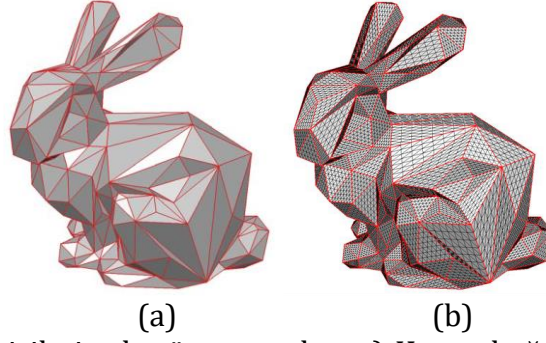
Radyal taban fonksiyonu kullanılarak çeşitli 3B nesnelere modellemek mümkün olmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, nesnelere önce sıfır değer setli kapalı yüzey fonksiyonları ile oluşturulup daha sonra bu fonksiyon radyal taban fonksiyonu kullanarak modellenmiştir (Carr vd., 2001). Açgözlü (greedy) algoritması sayesinde radyal taban fonksiyonu merkezlerinin sayısını azaltmak mümkün olmakla beraber bu bellek ve hız açısından kazanç sağlanabilmektedir. Şekil 3.4'te radyal taban fonksiyonu kullanılarak modellenmiş karmaşık bir nesne görülmektedir.



Şekil 3.4. Radyal taban fonksiyonu ile modellenmiş iskelet eli (Carr vd., 2001)

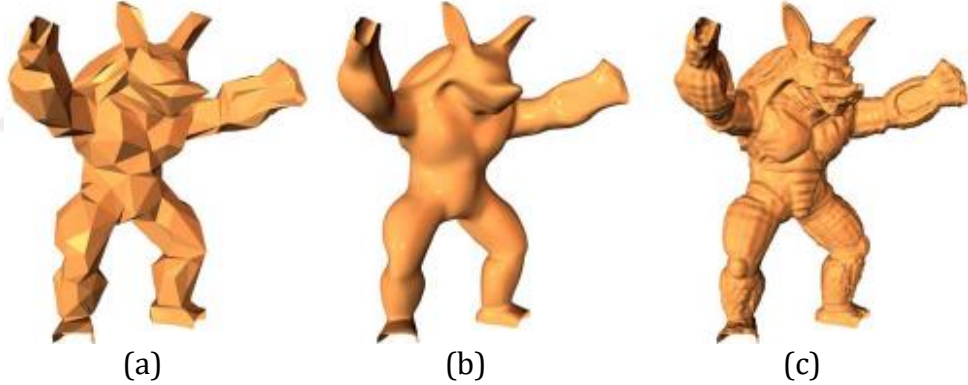
#### 3.1.4. Yer değiştirilmiş alt yüzeyler

Yer değiştirilmiş alt yüzeylerin yapısı, üçgenlerden oluşan kontrol ağ yapısı ve skaler yer değiştirme katsayılarının düzenli ağ yapısı parçalarına dayanmaktadır. Bu yapı Şekil 3.5'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Yer değiştirilmiş alt yüzey yapıları a) Kontrol ağ yapısı, b) Skaler yer değiştirme katsayılarının düzenli ağ yapı parçaları (Lee vd., 2000)

Yer değiştirilmiş alt yüzeyler ile oluşturulan yüzeylerin geometrik sıkıştırma, düzenlenebilme, animasyon, ölçeklenebilirlik ve uyarlanabilir sahneleme gibi yararlı özellikleri olabilmektedir. İnsan yüzleri üzerinde de kullanılabilen yöntem sayesinde hem detaylı hem de az boyut kaplayan 3B modeller elde edilebilmektedir (Lee vd., 2000). Şekil 3.6'da yer değiştirilmiş alt yüzey yönteminin kullanıldığı bir örnek görülmektedir.

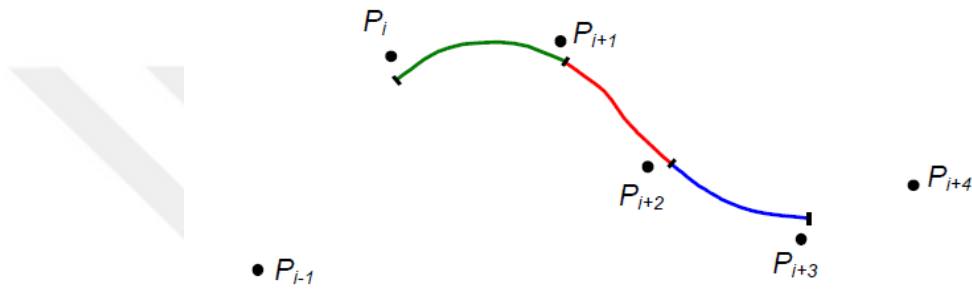


Şekil 3.6. Yer değiştirilmiş alt yüzey yöntemine ait bir örnek a) Kontrol ağ yapısı, b) Pürüzsüz alan yüzeyi, c) Yer değiştirilmiş alt yüzey (Lee vd., 2000)

### 3.1.5. Bezier, B-spline ve NURBS eğrileri

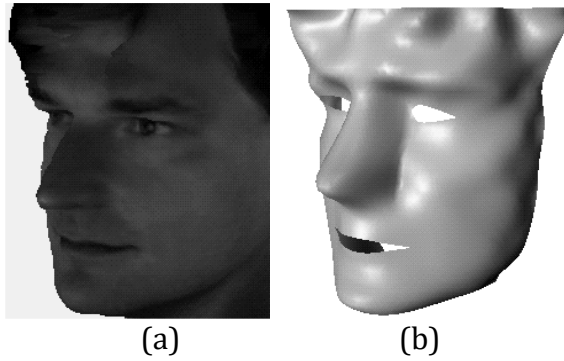
Bezier eğrileri ve B-spline eğrileri bilgisayar grafiklerinde ve Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. B-spline eğrileri sadece bir grup veri noktası için tanımlanan fonksiyonların sayısal türev ve integrasyonu için kullanılır. Bu iki tip eğri gerçek interpolasyon spline'ları değildir. Zira bu eğriler normal olarak bütün veri noktalarından geçmez. Bu bağlamda bu eğriler en küçük kareler eğrileriyle benzerlik gösterirler. Bununla

birlikte Bezier eğrileri ve B-spline eğrileri veri noktalarının belirlediği poligon dâhilinde kalma özelliğine sahiptirler. Ayrıca bu spline eğrileri güzel bir geometrik özelliğe sahiptirler ki, noktalardan biri değiştirildiğinde eğrinin sadece bir kısmı değişerek yerel bir etki görülür. Oysa kübik spline eğrilerinde veri setindeki noktalardan sadece biri değiştirildiğinde ilk noktadan son noktaya kadarki eğrilerin tamamı etkilenmektedir. Kübik spline eğrilerinde veri noktaları eğrilerin geçtiği noktalar iken, Bezier ve B-spline eğrilerinde ilgilenilen noktalar eğrinin şeklini belirlemek için kullanılan kontrol noktalarıdır (Yükselen, 2012). Şekil 3.7’de bir B-spline eğrinin ardı ardına üç parçası görülmektedir.



Şekil 3.7. Bir B-spline eğrisinin üç parçası (Yükselen, 2012)

B-spline eğrileri insan yüzünün 3B modellemesinde de kullanılmakla beraber Şekil 3.8’de lazer tarayıcıdan elde edilen insan yüzüne ait nokta bulutunun B-spline eğrilerle modellenmiş bir örneği görülmektedir.

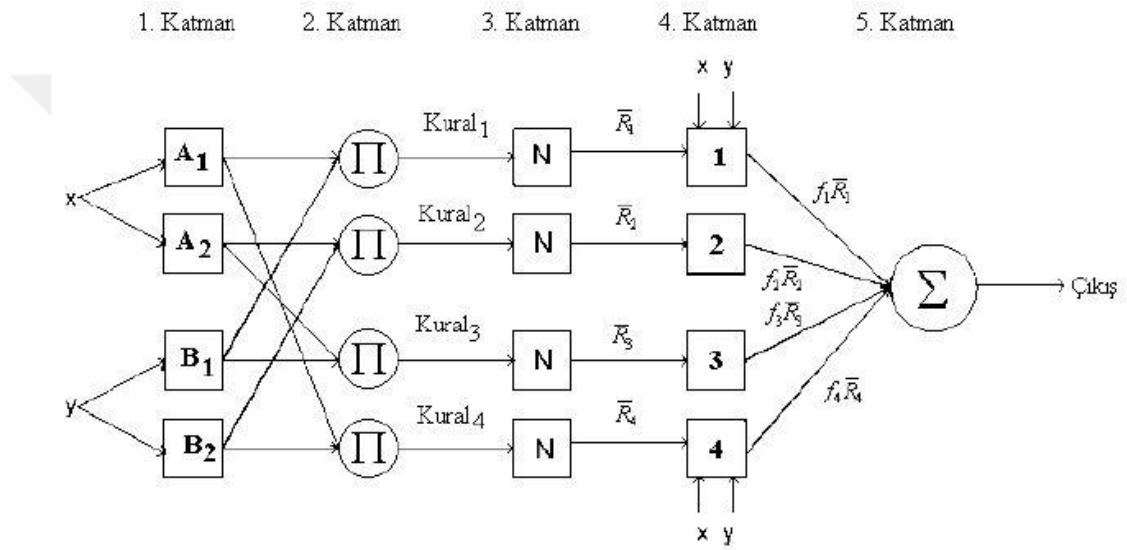


Şekil 3.8. İnsan yüzünün B-spline eğrilerle modellenmesi (Hoch vd., 1994)

### 3.1.6. Uyarlamalı sinir-bulanık çıkarsama yöntemi

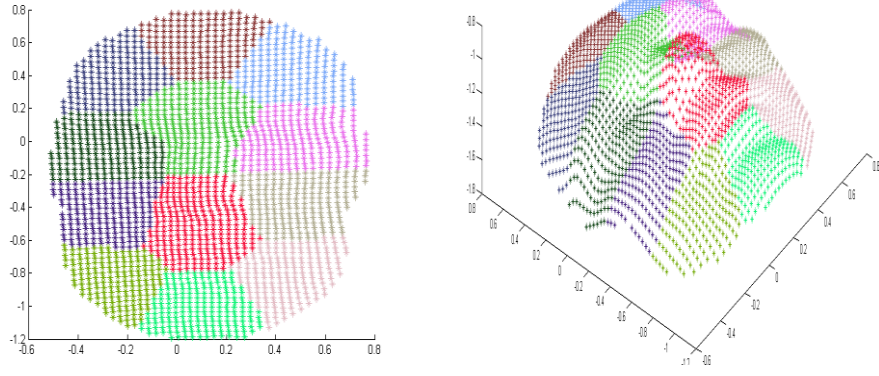
USBÇY, çeşitli alanlarda başarı ile kullanılmakla birlikte kontrol, zaman serisi tahmini, gürültü giderme, sınıflandırma, tanıma, eğri ve yüzey uydurma gibi

işlemlere uygulandığı görülmektedir. “Eğer-ise” bulanık kurallarına göre oluşturulan ağ yapısının katmanlarını; girişte bulanık üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma çarpımı, düzgeleştirme, toplama ve Sugeno tipinde doğrusal çıkış fonksiyonu katmanları oluşturmaktadır. Kurallar bütün bir giriş uzayını bölgelere ayırmak için tanımlanmış olup her kural, uzayın bir bölgesini kontrol etmektedir. Girişler belirtilen farklı şartları sağladıklarında ilgili kural bir çıkış üretir. Buna göre USBÇY, giriş-çıkış verilerini dağılımlarına göre parçalara ayırıp, parçalar üzerinden doğrusal çözümler üretmektedir (Cetişli, 2005). Sugeno modeline denk gelen beş katmanlı USBÇY modeli Şekil 3.9’da görülmektedir.



Şekil 3.9. USBÇY yapısı (Cetişli, 2005)

USBÇY'in eğri ve yüzey uydurma uygulamalarındaki yaklaşımı, nesne veya veri setini belli sayıda kümeye ayırarak her bir kümenin bulanık kurallarla ifade edilerek modellenmesidir. Bu çalışma için ise yüzün, alt yüzeylere ayrılarak bu yüzeyler veya organların teker teker modellenerek birleştirilmesi için USBÇY'den faydalanılmıştır. Bu sayede insan yüzü bölgelere ayrılabilir ve her bir bölge bulanık bir kuralla ifade edilebilecektir. Şekil 3.10'da yüzün bulanık C-ortalama kümeleme yöntemi ile on ikiye kümelenecek her bir kümenin yüz üzerindeki ayrılmış bölgeleri görülebilmektedir.



Şekil 3.10. Yüzün bulanık bölgelere ayrılması

Klasik Sugeno temelli USBÇY'de, bulanık kurallar aşağıdaki gibi tanımlıdır.

Eğer  $x$   $A_1$ 'de VE  $y$   $B_1$ 'de VE  $z$   $C_1$ 'de İSE çıkış,

$$f(x, y, z) = p_3x + p_2y + p_1z + p_0 . \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.3)'te A, B, C üyelik fonksiyonlarını;  $x, y, z$  giriş değişkenlerini;  $f(x, y, z)$  çıkış fonksiyonunu;  $p$  ise 1. dereceden çıkış polinomunun katsayılarını göstermektedir.

### 3.2. Bir Matematiksel İfade ile Modelle Teknikleri

Nesneyi parçalara ayırmadan nokta bulutundaki tüm verileri tek seferde ifade edebilecek bir matematiksel ifadenin tespit edilip modellenmesi işlemi, nesnenin geneline ait bilgiyi koruyup animasyon, tanıma ve nesnenin hacminin önemli olduğu uygulamalarda önemli yer tutmaktadır.

#### 3.2.1. Verinin normalize edilmesi

Nesnelerin özellikle bütün bir şekilde modellendiği uygulamalarda nokta bulutunun tamamının, oluşturulacak denklemde yer alacak olması sebebiyle nesneyi standart bir şekilde ifade edebilmek için normalizasyon işlemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Birçok normalizasyon metodunda elde edilen sonuç, modelleme için kullanılacak cebirsel eğrilerin olumsuz etkilerini azaltmaktır. Bu

genellikle yüksek dereceli polinomlarda daha fazla ortaya çıkmaktadır, çünkü yüksek dereceli polinomlarda, gürültü benzeri etkiler kuvvet derecesi oranında artmaktadır.

Literatürdeki normalizasyon yöntemlerinden biri olan radyal uzaklık normalizasyon yöntemi basit yapısı ve veriyi [-1,+1] sınırlarında tutması ile sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde normalize edilmiş veri, veri setinin merkezi orijine taşındıktan sonra her bir veri noktası olan  $(x_i, y_i, z_i)_{i=1}^N$ , nin ortalama radyal mesafesi olan  $\frac{1}{N} \sum_i (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2)^{1/2}$  e bölümüyle elde edilir. Literatürdeki çoğu kaynakta radyal uzaklık normalizasyon yönteminin diğer normalizasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği açıklanmaktadır. Bu normalizasyon işlemi 3B verilerde şu şekilde gerçekleştirilir:

$$(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i) = (x_i, y_i, z_i) - \mu \quad (3.4)$$

$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i, y_i, z_i)$  özgün noktaların orta noktası olup özgün veri kümesinden hesaplanan ağırlık merkezinin çıkarılmasıyla veri seti orijine taşınmış olur. Sonrasında normalize edilmiş veri Eşitlik (3.5)'teki gibi bulunur.

$$(\hat{x}_{ni}, \hat{y}_{ni}, \hat{z}_{ni}) = \frac{(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i)}{s} \quad (3.5)$$

$s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{x}_i^2 + \hat{y}_i^2 + \hat{z}_i^2)^{1/2}$  uzaklığı orijine taşınmış verinin ortalama radyal uzaklığıdır (Sahin ve Unel, 2004).

### 3.2.2. Kapalı cebirsel eğriler ve 3L algoritması

Nesnenin genel şekil gösterimi, gürültülü veriyi yumuşatma, tıkanmaya karşı dayanıklılık gibi avantajları dolayısıyla veriye cebirsel eğri uydurmada KCE, parametrik eğrilere göre daha uygun olmaktadır.

Tüm lineer örtük eğri uydurma tekniklerinin amacı, bir polinom yardımı ile verilen veri setine aralarındaki cebirsel uzaklıkları mümkün olduğunca minimize ederek yakınlaşmaktır.

Cebirsel eğriler, KCE ile isteğe bağlı seçilmiş  $n$ . derecede örtük polinom modelleri ile 2B olarak Eşitlik (3.6)'daki gibi temsil edilebilirler. KCE nin 2B için katsayılarının sayısı  $c=(n+1)(n+2)/2$  dır.

$$f_n(x, y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + \dots + a_{n0}x^n + a_{n-1,1}x^{n-1}y + \dots + a_{0n}y^n \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6)'da  $a$  denklem katsayılarını,  $x$  ve  $y$  ise şekle ait noktaları ifade eder. 3B kapalı cebirsel yüzey (KCY) modeli ise Eşitlik (3.7)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} f_n(x, y, z) &= \sum_{0 \leq i, j, k; i+j+k \leq n} a_{ijk} x^i y^j z^k \\ &= \underbrace{a_{000}}_{H_0} + \underbrace{a_{100}x + a_{010}y + a_{001}z}_{H_1(x,y,z)} + \dots + \underbrace{a_{n00}x^n + \dots + a_{00n}z^n}_{H_n(x,y,z)} \\ &= \underbrace{(1 \ x \ \dots \ z^n)}_{m^T} \underbrace{(a_{000} \ a_{100} \ \dots \ a_{00n})^T}_a = m^T a \end{aligned} \quad (3.7)$$

3B KCY'nin katsayılarının sayısı ise  $c = (n + 1)(n + 2)(n + 3)/6$  dır. Eşitlik (3.7)'de  $a$  denklem katsayıları,  $x, y$  ve  $z$  ise 3B oluşan modele ait noktalardır.

KCE ile oluşturulan denklemi 0 yapan noktalar kümesi çözüm kümesi olup nokta bulutunu da içeren modeli ifade etmektedir. Buna göre 3B bir KCY  $f_n(x, y, z) = 0$  olmaktadır.

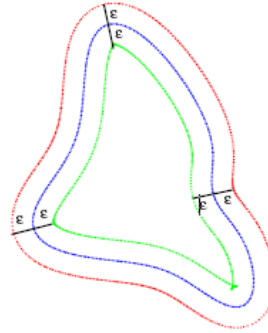
Cebirsel eğriler veya yüzeyler, örnek nesnelere veri setlerindeki her noktayı göz önüne alarak modellerler ve sonuç olarak nesnenin global ifadesini oluştururlar. Polinom eğrileri veya yüzeylerinin bilgisayarlı görme çalışmalarında tercih edilmesini sağlayan birçok avantajı vardır. Basit elips eğrileriyle temsil edilmesi oldukça zor olan karmaşık insan yapımı objeleri, yüksek dereceli eğri veya yüzeyler ile daha iyi uydurulabilmektedir. Bu modeller gürültüye karşı dayanıklı

ve eksik verilerde de makul seviyelerde modelleme yapabilmektedirler. Ayrıca nokta sınıflandırma problemleri ve eğri-yüzey kesişim hesaplamaları, sadece basit bir polinomsal ifade ile gerçekleştirilebilmektedir.

3L algoritması KCE'nin daha hassas etkilerini gerçekleştirmek için geliştirilmiş olup minimizasyon prensipleri olarak şunları kullanmaktadır: yakın-sınırlı KCE'nin veri noktalarında değerleri sıfır olmalı, negatif değerler noktaların içinde ve pozitif değerler noktaların dışında olmalı ya da tersi. Böylece uydurulacak eğri öncelikle orjinal verinin iç ve dış tarafından  $\varepsilon$  uzaklıkta yer alan noktalarla Şekil 3.11'deki gibi birleştirilir. Bu işlemi gerçekleştirmek için öklidyen uzaklıktan yararlanılabilir. Örtük fonksiyona göre dış katmanda +1 değerini, iç seviyede -1 ve orta katmanda 0 değerini almaya zorlanır. Böylece bir  $\mathbf{b}$  vektörü ve verinin 3 katmanlı matrisi olan  $\mathbf{M}$  Eşitlik (3.8)'deki gibi ifade edilir (Sahin ve Unel, 2004).

$$\mathbf{b} = [+1 \dots +1 \ 0 \dots 0 \ -1 \dots -1]_{(3NX1)}^T, \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_{+\varepsilon} \\ M_0 \\ M_{-\varepsilon} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1^T \\ Y_2^T \\ \dots \\ Y_{3N}^T \end{bmatrix}_{3NXc} \quad (3.8)$$

2B örnek bir eğri için oluşturulan 3 katman Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. 3L algoritmasının 2B bir eğride oluşturduğu üç katman (Sahin ve Unel, 2004)

Sonuç eğrisine ait katsayı vektörü  $\mathbf{a}$  en küçük kareler yöntemi ile Eşitlik (3.9)'daki gibi elde edilir.

$$\mathbf{a} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M})^{-1} \mathbf{M}^T \mathbf{b} \quad (3.9)$$

Lineer eğri uydurma teknikleri veri noktaları etrafında yerel istikrarı sağlarlar ancak global istikrar için zayıftırlar. Bunun nedeni verideki yakın çoklu bağlantıdaki (eşdoğrusallık), tek terimli  $\mathbf{M}^T, \mathbf{M}$  matrisinin değerleri yaklaşık olarak, bazı özdeğerlerin diğerlerine göre çok daha küçük olması sebebiyle tekildir. Bunun gibi özdeğerler veri setinin kendi etrafında uydurulmasına katkıda bulunamaz ve ekstra açık kararsız dallar içerir.

Son zamanlarda eğri uydurma sorunlarına lineer yaklaşımlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bununla birlikte bu teknikler genellikle bir çok durum için global stabilizeyi sağlayamaz ve gürültü gibi rahatsız edici etkilere karşı dirençli değildir. Yine de bu etkileri gidermek için çeşitli yöntemler mevcut olmakla beraber bunlar arasında ridge regresyon analizi ön plana çıkmaktadır.

Ridge regresyon, sapmalı tahmin yöntemlerinden biridir. Çoklu doğrusal bağıllık olduğunda en küçük kareler tahmincilerinin varyanslarından daha küçük varyanslı tahminler verdiği için tercih edilebilir. Kullanılması ile tüm değişkenlere modelde yer verme imkânı olabilmektedir (Wikipedia, 2015).

Ridge regresyon yöntemi sayesinde nesne etrafında oluşan açık kararsız eğriler sonsuza taşınırlar, bunun için Eşitlik (3.10)'daki  $k\mathbf{D}$  terimi en küçük kareler yöntemine eklenerek uygulanır (Sahin ve Unel, 2004).

$$\mathbf{a} = (\mathbf{M}^T \mathbf{M} + k\mathbf{D})^{-1} \mathbf{M}^T \mathbf{b} \quad (3.10)$$

Ridge regresyon yönteminde terime eklenen diyagonal  $\mathbf{D}$  matrisi,  $a$  katsayı vektörü gibi aynı sayıda terime sahiptir.  $\mathbf{D}$ 'ye girişler Eşitlik (3.11)'deki gibi tanımlanabilir.

$$\mathbf{D}_{ii} = \beta_{j+k} \frac{j! k!}{(j+k)!} \quad (3.11)$$

Her bir diyagonal element için dizin,  $x$  ve  $y$  bileşenlerinin derece varyasyonuna göre  $i = k + \frac{(j+k)(j+k+1)}{2} + 1$  ile hesaplanır. Eşitlikte  $\beta_{j+k}$  aşağıda yer alan Eşitlik (3.12)'deki gibi seçilir.

$$\beta_{j+k} = \sum_{r,s \geq 0; r+s=j+k} \frac{(r+s)!}{r!s!} \sum_{l=1}^N x_l^{2r} y_l^{2s} \quad (3.12)$$

$\beta$  fonksiyonunun bazı değerleri Eşitlik (3.13)'te listelenmiştir.

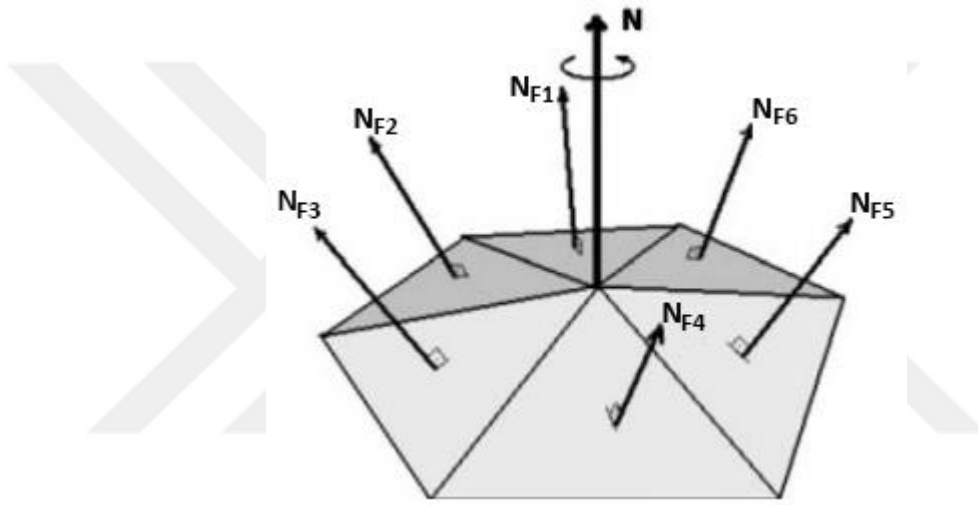
$$\begin{aligned} \beta_0 &= \sum_{l=1}^N x_l^0 y_l^0 = N \\ \beta_1 &= \sum_{l=1}^N x_l^2 + y_l^2 = \sum_l (x_l^2 + y_l^2)^1 \\ \beta_2 &= \frac{2!}{2!0!} \sum_l x_l^4 + \frac{2!}{1!1!} \sum_l x_l^2 y_l^2 + \frac{2!}{0!2!} \sum_l y_l^4 = \sum_l (x_l^2 + y_l^2)^2 \\ &\vdots \\ \beta_n &= \sum_l (x_l^2 + y_l^2)^n \end{aligned} \quad (3.13)$$

Burada  $n$  sonuç örtük eğrinin derecesidir ve  $(x_l, y_l)_{l=1}^N$  normalize edilmiş nesne verisinin elemanlarıdır. Diyagonal  $\mathbf{D}$  matrisi birim matris şeklinde de seçilebilir.

Örtük eğri uydurma tekniklerinde iki ana kategori vardır: Öklityen yaklaşımının veya doğrusal geometrik uzunluğun kullanıldığı doğrusal olmayan yöntemler ve cebirsel uzaklık temelli doğrusal metotlar. Doğrusal olmayan yaklaşımlar öklit uzayında değişmeyen dönüşümlerdir ve düzensiz şekillerde sapmalara sebep olurlar. Böylelikle, bazı temel şekiller hariç öklit uzaklığı ile kapalı form ifadesi mümkün değildir. Dahası, iterasyon açısından optimizasyon prosedürü epey zaman alacaktır. Bu sebeplerden dolayı, sonuç hesaplama zamanı hızlı ve doğrusal bir teknik olan en küçük kareler yöntemi önerilmektedir.

3B nesnelere 3L algoritması için oluşturulması gereken 3 katman, 2B şekillerdeki kadar rahat hesaplanamaz çünkü 2B eğrilerde öklidyen uzaklık doğrudan nesne etrafındaki noktaları ifade ederken 3B düzensiz şekilli yüzeylerde öklidyen uzaklık kullanılamaz. Bu sebeple 3B yüzeylerde yüzey normalleri kullanılmak zorundadır. Yüzey normali yönünde ve tersi yönünde belli bir  $\pm\varepsilon$  mesafesinde noktalar alındığında 3 katman oluşturulabilir (Sahin ve Unel, 2008).

Şekil 3.12’de bir yüzeye ait yüzey normalleri görülmektedir.



Şekil 3.12. Bir yüzey üzerinde  $N_i$  nokta normalleri (Sahin ve Unel, 2008)

3L uydurmadaki diğer önemli faktör  $\varepsilon$  parametresi seçimidir.  $\varepsilon$ ; esneklik için çok küçük ve veri setindeki iç ve dış katman detaylı seçimi için çok büyük seçilmemelidir. Radyal uzaklık normalizasyonu için  $\varepsilon$  değer aralığı 0.01-0.05 aralığında en iyi sonucu verdiği için bu değer aralığının seçilmesi daha iyi sonuç verecektir (Sahin ve Unel, 2008).

3B ridge regresyon düzenlemesi incelendiğinde; diyagonal  $\mathbf{D}$  matrisinin sonuç terimleri Eşitlik (3.14)’teki gibi verilir.

$$D_{ll} = \beta_{i+j+k} \frac{1}{T_{ll}} \quad (3.14)$$

Burada  $T_u$  Eşitlik (3.15) ile ifade edilebilir.

$$T_u = \frac{(i+j+k)!}{i!j!k!} \quad (3.15)$$

$i, j, k$ 'nin artırımı ise;

$$(i, j, k) = (0,0,0), (1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), \dots, (n, 0,0), \dots, (0, n, 0), \dots, (0,0, n)$$

şeklinde olup diyagonal terimlerin  $l$  dizini 1'den örtük katsayılarına kadar artırılır, üstteki varyasyona göre  $i, j, k$  ifadeleri ile Eşitlik (3.16)'daki gibi olur.

$$l = k + \frac{(j+k)(j+k+1)}{2} + \frac{(i+j+k)(i+j+k+1)(i+j+k+2)}{6} + 1 \quad (3.16)$$

Buradaki  $\beta_{i+j+k}$  terimi,  $(P_t)_{t=1}^N$  veri seti noktalarından Eşitlik (3.17)'deki gibi katkıda bulunur.

$$\beta_{i+j+k} = \sum_{t=1}^N (x_t^2 + y_t^2 + z_t^2)^{i+j+k} \quad (3.17)$$

Basit bir örnek olarak  $\mathbf{D}$  matrisi kuadratik yüzey tek terimli matrisi üzerinde olup Eşitlik (3.18)'deki gibi  $\beta$  terimlerinin birleşimi şeklindedir.

$$\mathbf{D} = \text{diag} \left( \beta_0, \beta_1, \beta_1, \beta_1, \beta_2, \frac{1}{2}\beta_2, \frac{1}{2}\beta_2, \beta_2, \frac{1}{2}\beta_2, \beta_2 \right) \quad (3.18)$$

$\beta_0 = N$ ,  $\beta_1 = \sum_{t=1}^N (x_t^2 + y_t^2 + z_t^2)$  ve  $\beta_2 = \sum_{t=1}^N (x_t^2 + y_t^2 + z_t^2)^2$  'nin olduğu yerlerdir.

### 3.2.3. Kümeleme tabanlı global optimizasyon yöntemi ile yüzey uydurma

Literatürdeki yaklaşımlar, modelin kurulmasını yavaşlatmakta ve gerçek zamanlı 3B uygulamaların ve animasyonların önünü tıkamaktadır. Saatleri hatta günleri alan 3B taramalar sonucunda yine bu verinin depolanması ve işlenmesindeki

zorluklar mevcut yöntemlerin gelişen teknolojiye göre yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu çalışmada yöntem olarak, daha önce rakamlar üzerinde çalışılan denklemin signomial olarak genişletilmesi ve literatürdeki mevcut eğri ve yüzey uydurma algoritmalarına göre daha iyi yeni bir yöntemin ortaya konulması amaçlanmaktadır (Pençe ve Cetişli, 2013). Signomial fonksiyonlar polinomların aksine kuvvet derecesi ve katsayıları gerçel sayı olabilen ifadelerdir. Eğer katsayı ifadesi pozitif gerçel sayı ise fonksiyon posinomial olarak adlandırılır (Duffin vd., 1967). Signomial fonksiyonlar ile daha hassas eğri ve yüzey uydurma işlemleri gerçekleştirilebilir. Üzerinde çalışılacak yöntem ile literatürde gerek 3B nesnelerin gerekse diğer alanlardaki verilerin modellenmesinde yüksek başarımlar elde edileceği öngörülebilir. Bu sayede daha iyi performanslı modelleme ve tanıma sistemleri oluşturulabilecektir. Geliştirilen yöntem ile 3B model matematiksel denklem şeklinde ifade edilerek; yüz tanıma, animasyon ve diğer birçok alanda kullanılabilir. Modelin sadece katsayılarla saklanması bellek açısından, veri transferlerinde ve verinin uygulamalar tarafından işlenmesinde kolaylıklar sağlayacaktır.

Önerilen yöntemde gerçel kuvvetler kullanılacağından, yukarıda bahsedilen yöntem olduğu gibi kullanılamaz. Yine bu nedenle çokterimli katsayıları kombinyonel olarak hesaplanamazken, değişken kuvvetleri de birer birer artıp azalamaz. Bunun yerine çok terimli sayısı önceden sezgisel olarak belirlenerek, kuvvetlerin de belli aralıklarda değişmesine izin verilir. Buna göre signomial fonksiyon Eşitlik (3.19)'daki gibi olur.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n (c_i x^{a_i} y^{b_i}) + c_0 \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.19)'daki  $a$  ve  $b$  artık bir gerçel sayıdır. Eğer  $c_i > 0$  olursa fonksiyon posinomial olarak adlandırılır.

Önerilen yeni eğri ve yüzey uydurma yöntemi ise üstel olarak signomial yapı göstermekle birlikte Eşitlik (3.20)'de görülen bir yapıdadır.

$$f(x, y, z) = \sum_{i=1}^n (k_i x^{a_i} y^{b_i} z^{c_i} + m_i \alpha^{d_i x} \beta^{e_i y} \gamma^{g_i z}) \quad (3.20)$$

Eşitlik (3.20)'de görüldüğü gibi matematiksel ifadede  $k$  ve  $m$  katsayıları;  $\alpha, \beta, \gamma$  ifadeleri gerçel tabanları;  $a, b, c, d, e, g$  ifadeleri de signomial kuvvetleri oluştururken giriş değerlerine ait  $x, y, z$  ifadeleri sayesinde model 3B şekilde ifade edilebilmektedir. Eşitlik (3.20), Eşitlik (3.19)'a göre genişletilmiş biçimdedir. Çokterimlilerin önündeki katsayıların belirlenmesi için ise en küçük kareler tahmin yöntemi kullanılmaktadır. İlk kısımda giriş değişkenleri tabanda iken ikinci kısımda ise kuvvetlerde yer almaktadır. Böylelikle üstel fonksiyon özellikleri taşıyan kısımlar da modellenebilecektir. Bu ifadede sadece periyodik kısımlar eksiktir. Aslında kuvvetin tam sayı olmadığı ve tabanların negatif sayılar olduğunda kompleks sayılar elde edilebilmektedir. Kompleks sayılarla da trigonometrik sayılar, trigonometrik sayılarla da periyodik fonksiyonlar tanımlanabilmektedir. İlerideki çalışmalarda bu tarz fonksiyonlarında modellenmesi düşünülmektedir.

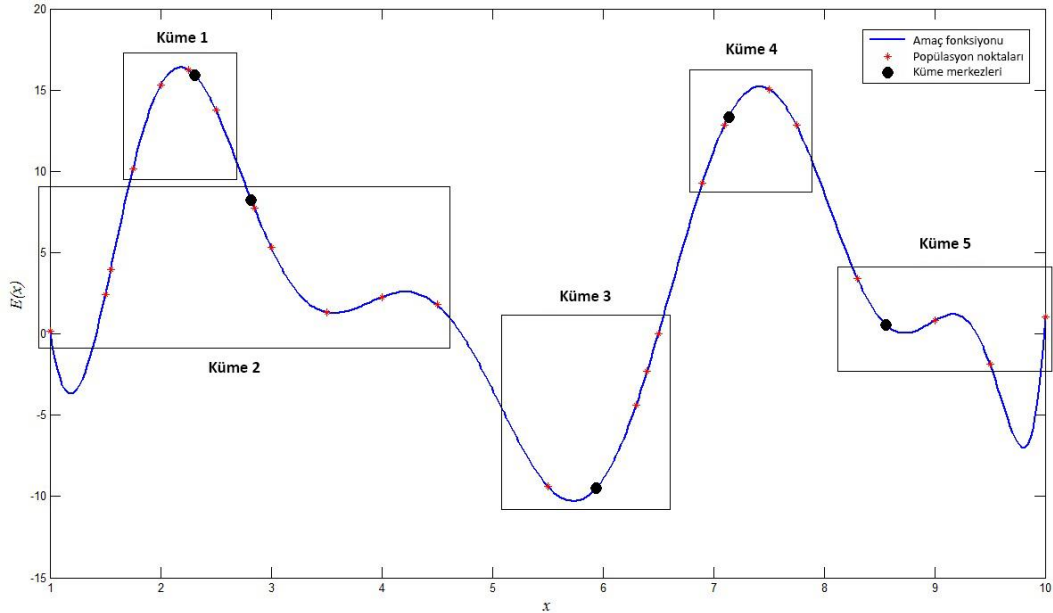
Bütün yüzeyi tek seferde modelleme için Eşitlik (3.20)'de yer alan toplam sembolüne ait  $n$  sayısı arttırılarak birden fazla katmanın toplamı şeklinde 3B yapı oluşturulabilir. Eşitlikte yer alan signomial ifadeleri ve gerçel taban kuvvetlerini tespit etmek için başarılı sonuçlar veren KTGO tekniğinin popülasyon seçme altyapısı kullanılmıştır. Bu yöntem genel olarak popülasyondaki elemanları ve bunlara ait performans değerlerini kullanarak kümeleme işlemi yapması, yeni popülasyonu bu küme merkezleri etrafından seçmesi ve kümelerin parabolik eğri uydurma ile minimum ya da maksimum noktalarının bulunması ön plana çıkmaktadır. Yöntemin basitleştirilmiş algoritması şu şekildedir (Pence vd., 2016):

#### Algoritma (KTGO)

1. Önceden belirlenen popülasyon büyüklüğüne göre ilk popülasyonu rastgele elemanlardan oluştur ve popülasyondaki her elemanın hata değerini hesapla.
2. Popülasyon-Hata oranı ve önceden belirlenen küme sayısına göre Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme yöntemi ile kümeleme işlemi yap.
3. Fonksiyon değerlerine göre kümeleri sırala ve küme sayısının 1/3 oranında en iyi kümeleri seç.

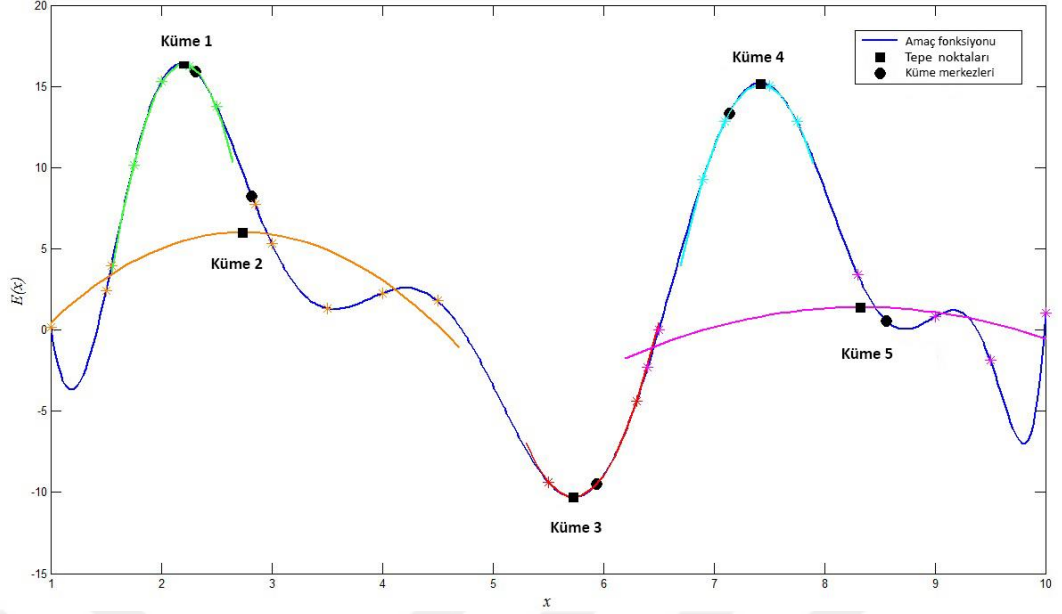
4. Seçilen her bir kümeye ait elemanları kullanarak her boyut için ayrı ayrı parabolik eğri uydurma gerçekleştir ve oluşan eğrilerin iç bükey veya dış bükey olduğunu tespit et.
5. İç bükey eğrilerde minimum nokta hata değerinden daha küçük ise küme merkezini bu minimum nokta ile değiştir. Dış bükey eğriler için ise küme merkezini değiştirmeden kullan.
6. Önceki popülasyonun en iyi elemanları ile birlikte küme merkezi etrafından rastgele seçilen yeni elemanlarla yeni popülasyonu oluştur. Çıkarılan kümelere ait bireyler yerine belli aralıkta yeni noktalar ekle.
7. Yeni popülasyondaki eleman değerlerini önceden belirlenmiş sınırlarda tut.
8. Yeni popülasyondaki her eleman için hata değeri hesapla.
9. Hata değeri önceden belirlenen eşik değerinden küçükse veya hedeflenen tekrara erişilmişse algoritmayı sonlandır değilse 2. adıma git.

Şekil 3.13'te oluşturulan popülasyonların kümeleme işlemi sonrasında küme merkezlerinin tespiti görülmektedir.



Şekil 3.13. Popülasyonların kümeleme işlemi ile küme merkezlerinin tespiti (Pence vd., 2016)

Şekil 3.14'te ise kümelere ait popülasyonlar kullanılarak parabolik eğri uydurma işlemi görülmektedir.



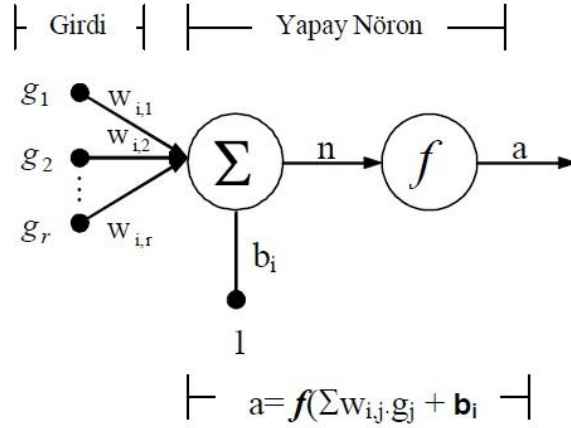
Şekil 3.14. Popülasyonların parabolik eğri uydurma ile minimum ve maksimum noktalarının tespiti (Pence vd., 2016)

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi bölgesel parabolik eğrilerin tepe noktaları minimumları, maksimumları veya orta değerleri gösterir. Böylelikle global minimuma gidış hızlandırılmaktadır.

### 3.2.4. Yapay sinir ağıları

YSA, insan beyninin çalışma prensibini taklit eden program ve veri yapısı sistemleridir (Akyılmaz ve Ayan, 2006). YSA'daki her bir sinir kendisine bir önceki sinirlerden gelen bilgiyi veri olarak alıp bir aktivasyon ya da transfer fonksiyonu ile işleme tabi tutup varsa bias değeri ile toplayıp oluşan çıktısını kendinden sonra bağılı olduğu sinirlere ilgili sinaptik ağırlıklar ile çarparak iletir. Genellikle bu çıktı değeri bundan sonraki sinirlere bir iletim olup olmayacağını belirleyecek bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenir. Bu ardışık işlemler süreci ta ki en son çıktı katmanında çıktı değerlerinin elde edilmesine kadar sürdürülür. Bir yapay sinir kendisine gelen sinyalleri ( $g_j$ ) geldikleri sinirlerle olan sinaptik bağlantıların ağırlıkları ( $w_{i,j}$ ) ile çarparak toplamakta, buna varsa bias terimini ( $b_i$ ) de ekleyerek elde edilen sonucu ( $n$ ) tanımlanan aktivasyon fonksiyonuna ( $f$ ) göndermektedir. Argümanı  $n$  olan aktivasyon fonksiyonu da skaler sinir çıktısı

olan  $a$  değerini üretmektedir. Şekil 3.15.'de genel olarak herhangi bir ara katmandaki (saklı katman)  $i$ -inci yapay sinirin yapısı ve işlem akışı görülmektedir (Akyılmaz ve Ayan, 2006).



Şekil 3.15. Sinirin matematiksel modeli (Haykin, 1994)

Şekil 3.15. incelendiğinde aktivasyon fonksiyonuna girecek toplam büyüklük Eşitlik (3.21) ile hesaplanırken, sinirin sonuç çıktısı ise Eşitlik (3.22) ile bulunur.

$$j = 1, 2, \dots, r$$

$$n = w_{i,1}g_1 + w_{i,2}g_2 + \dots + w_{i,r}g_r + b_i = \sum w_{i,j}g_j + b_i \quad (3.21)$$

$$a_i = f(n) \quad (3.22)$$

Literatürde en çok ileri beslemeli sinir ağ yapıları kullanılır. İleri beslemeli YSA da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir.

Çok katmanlı sinir ağlarının eğitimi için genellikle kullanılan eğitim algoritması hatayı geriye yayma (back-propagation) algoritmasıdır (Civalek, 1999). Bu algoritma, türevi alınabilir aktivasyon fonksiyonu ile herhangi bir ileri beslemeli sinir ağları için kullanılabilir. Geriye yayma modeli her yerde diferansiyeli alınabilen aktivasyon fonksiyonu gerektirir. Eşitlik 3.23'te verilen sigmoid tipli

aktivasyon fonksiyonu türevi alınabilir ve sürekli problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Özsoy ve Fırat, 2004).

$$f_1(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (3.23)$$

Hatayı geriye yayma algoritmasının işlem sırası kısaca şu şekilde verilebilir (Fırat, 2002).

1. İlk önce her bir sinirin çıkış değerleri Eşitlik (3.22) ile hesaplanır.
2. Daha sonra ağırlık hatası Eşitlik (3.24) ile hesaplanır.

$$J_r = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (d_i - a_i)^2 \quad (3.24)$$

3. Çıkış tabakası için ağırlık değerlerinin değişimleri Eşitlik (3.25) ve Eşitlik (3.26)'ya göre belirlenir.

$$\Delta w_{j,i} = \eta \delta_j a_i \quad (3.25)$$

$$\delta_j = (d_j - a_j) f'(net_j) \quad (3.26)$$

4. Gizli tabakalar için ağırlık değerlerinin değişimi Eşitlik (3.27) ile hesaplanır.

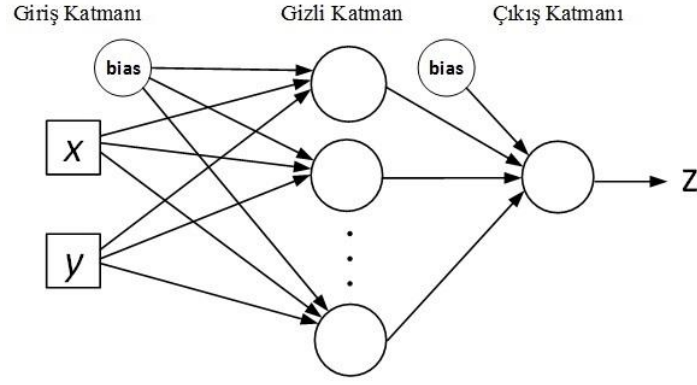
$$\delta_j = \sum_k (\delta_k - w_{k,j}) f'(net_j) \quad (3.27)$$

5. Değişen değerlere göre ağırlıkların güncellenmesi Eşitlik (3.28) ile yapılır.

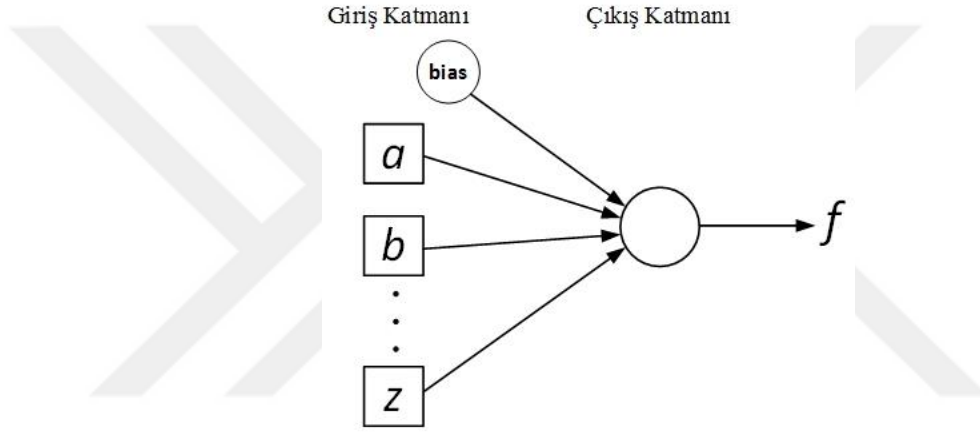
$$w_{i,j}^{yeni} = w_{i,j}^{eski} + \Delta w_{i,j} \quad (3.28)$$

6. Bu adımlar toplam hata kabul edilebilir değere gelinceye kadar tekrarlanır (Fırat, 2002).

Bu çalışmada YSA, 3B modellemenin yanı sıra 3L algoritması için katsayıların bulunmasında en küçük karalar yöntemine alternatif olarak da kullanılmıştır. 3B modelleme için kullanılan YSA yapısı Şekil 3.16'da görülürken, katsayıların bulunması için kullanılan YSA yapısı ise Şekil 3.17'de yer almaktadır. Şekil 3.16'da yer alan YSA modelinde bir veya daha fazla gizli katman kullanılabilirken, Şekil 3.17'de lineer bağlantıyı bozmamak için gizli katman kullanılmaz.



Şekil 3.16. Yüzey uydurma için YSA modeli



Şekil 3.17. Katsayı tespiti için YSA modeli

Şekil 3.17’de yer alan ve sadece giriş katmanı ile çıkış katmanından oluşan YSA modeli eğitildiğinde Eşitlik (3.21)’de yer alan  $w_{i,j}$  ağırlıkları katsayıları ifade etmiş olurken,  $b_i$  ise sabit terimi karşılar. Bu sayede en küçük kareler yönteminde hesaplandığı gibi, katsayılar YSA ile de bulunmuş olur. Bu çalışmada çıkış modelinde daha belirgin hatlar oluşturduğundan YSA ile katsayıların bulunması da kullanılmıştır.

### 3.3. Nesnelere Üzerinde Animasyon İşlemleri

İnsan yüzüne ait animasyonlar birçok alanda kullanılmakta olup yapay aktörler ile bilgisayar tabanlı oluşturulmuş filmlerde, ameliyat öncesi testler ile yüze yapılacak cerrahi müdahalede ve görüntü kodlama alanında görsel telefonlardaki

aktarım hızını arttırma uygulamalarında animasyona ait teknikleri görebilmekteyiz. Ayrıca yine animasyonlar ve yüz ifadeleri sayesinde bir kişinin o an mutlu, kızgın veya neşeli olup olmadığı da tespit edilebilmektedir (Hoch vd., 1994).

### 3.3.1. Kütle-yay metodu

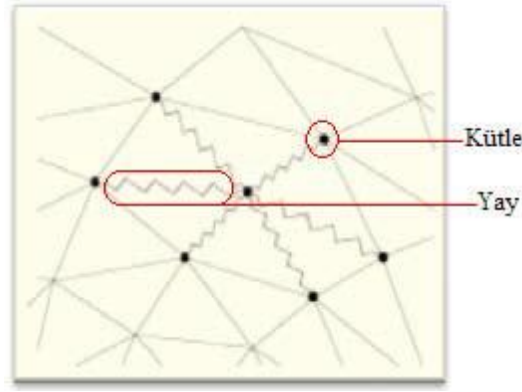
Kütle-yay metodunda deforme olacak nesnenin geometrisi 3B uzayda noktalar ile temsil edilir. Bu noktalar kütle noktaları olarak ifade edilir ve birbirlerine yay ile bağlanırlar. Yaylar kütsesizdir fakat deformasyon özelliklerini belirlemek için bir sabitleri vardır. Yayların uzunluklarında meydana gelen değişimler kütle noktasının yer değiştirmesine sebep olur ve nesnedeki deformasyonu ifade ederler. Bu yer değiştirme (deformasyon) Explicit Euler metodu ile Eşitlik (3.29)'daki gibi hesaplanır (Baraff ve Witkin, 1999).

$$f = - \left[ k_s (|\Delta X| - r_0) + k_d \left( \frac{\Delta V \cdot \Delta X}{|\Delta X|} \right) \right] \frac{\Delta X}{|\Delta X|} \quad (3.29)$$

$$V_i^{t+h} = V_i^t + h \frac{f_i^t}{m_i} \quad (3.30)$$

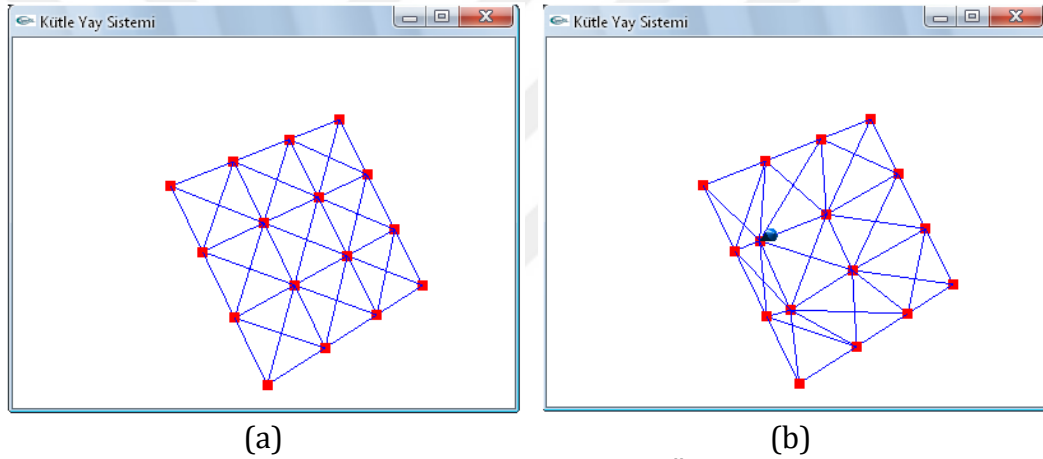
$$X_i^{t+h} = X_i^t + h V_i^t \quad (3.31)$$

Eşitlik (3.29)'da  $f$  kütle noktalarda toplanan yaylar tarafından oluşturulan kuvveti,  $X$  3B uzayda kütle noktasını ve  $V$  ise kütle noktasının hızını temsil etmektedir. Yayların uzunluğu  $r_0$  ile ifade edilirken katsayıları ise  $k_s$  ve  $k_d$  ile gösterilmiştir. İki uç arasındaki vektörel fark ve uzunluk ise sırasıyla  $\Delta$  ve  $||$  sembolleri ile ifade edilmektedir. Eşitlik (3.30) ve Eşitlik (3.31)'de yer alan  $h$  ise Euler integrasyonundaki basamak zamanını belirten sabittir (Baraff ve Witkin, 1999). Kütle-yay metodu Şekil 3.18'de görülmektedir.



Şekil 3.18. Kütle-yay modeli (Duysak ve Aytekin, 2012)

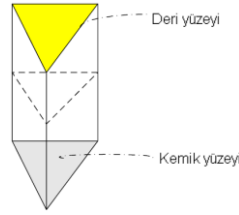
Kütle-yay yönteminde deformasyon sonucu oluşabilecek durum Şekil 3.19'da görülmektedir.



Şekil 3.19. Kütle-yay yönteminde deformasyon a) Üçgensel ağ yapısı ile oluşturulan model, b) Model üzerinde deformasyon sonucu oluşan durum (Duysak ve Aytekin, 2012)

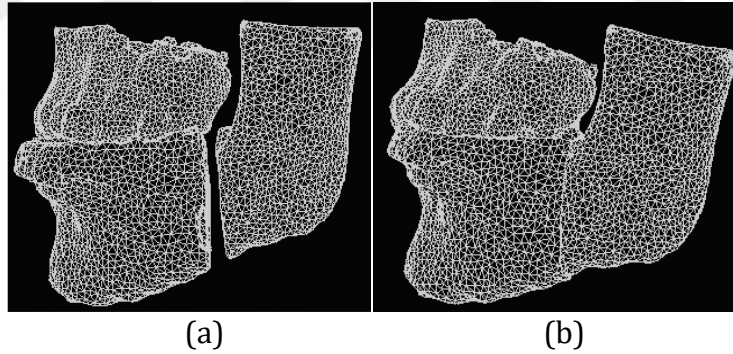
Kütle-yay yöntemi birçok çalışmada kullanılmakla beraber sadece grafik animasyon değil tıp alanının cerrahi uygulamalarında da karşımıza çıkabilmektedir. Duysak (2005), yüz dokularında kemikler üzerinde gerçekleşen operasyonlar nedeniyle oluşan deformasyonun simülasyonu için bu yöntemi kullanmıştır. 22 adet MRI veri diliminin birleştirilmesinden oluşan 3B model, animasyonda da kullanılabilmesi için sınırlandırıcı küpler yöntemiyle modellenmiştir. Deri yüzeyindeki üçgenleri oluşturan noktalardan çıkarılan vektörleri kemik yüzeyine yönlendirip, bu vektörlerin kemik yüzeyini kestiği noktaları tespit etmiştir. İki yüzey arasında prizmatik doku katmanı Şekil

3.20'deki gibi oluşturulduktan sonra kütle-yay modeli ile nesnedeki deformasyon ifade edilmiştir (Duysak, 2005).

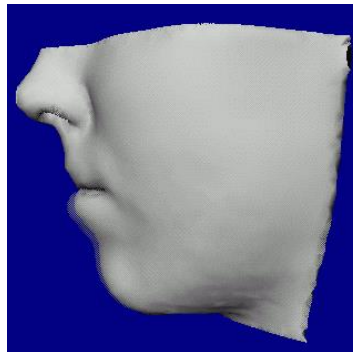


Şekil 3.20. Üçgenleme sonrası doku katmanı modeli (Duysak, 2005)

Şekil 3.20'deki prizmatik elemanların köşe noktaları kütle merkezleri, kenarları ise yaylar olarak ele alınıp yay sabitleri deri için 200, dokular için ise 100 olarak seçilmiştir. Kemikler üzerinde deformasyon yapılmayacağı için kemik yaylarının yay sabiti yüksek seçilmiştir. Şekil 3.21'de alt çene kemiği bir miktar kesilerek gerçekleştirilen bir çene operasyonu, Şekil 3.22'de ise yüz dokularında oluşan deformasyonun simülasyonu sonucu görülmektedir (Duysak, 2005).



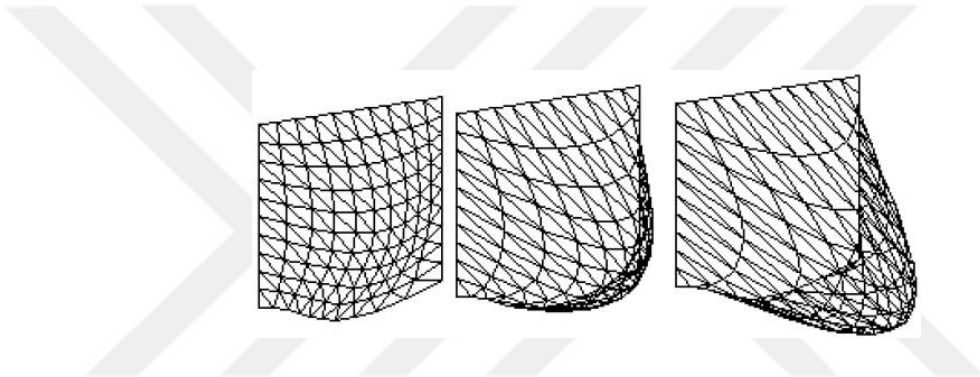
Şekil 3.21. Alt çene kemiği kesilerek alt ve üst dişleri aynı hizaya getirme a) Operasyon öncesi, b) Operasyon sonrası (Duysak, 2005)



Şekil 3.22. Yüz dokularının simülasyonu ile ameliyat öncesi ve sonrasındaki durumlarının bir arada gösterimi (Duysak, 2005)

### 3.3.2. Spline eğrilerin kontrol noktalarının değiştirilmesi

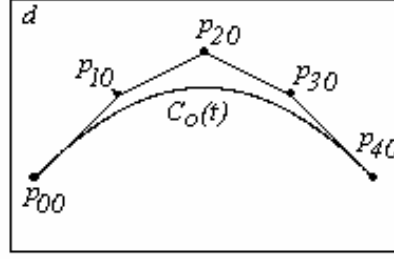
Spline eğriler özellikleri gereği parçalı yapıda oluşları sebebiyle animasyonun temel prensiplerinden olan nesnelerin modellenmesi ve hareketlerinin belirlenmesi üzerinde kullanılabilirler. Kontrol noktaları ve bu noktaların ağırlıklarından oluşan eğrilerin değerleri değiştirildiğinde eğrinin özelliği de değişip farklı yüzeyler oluşturabilmektedir. Spline eğrilerin kontrol noktaları ve ağırlıkları YSA ile de hesaplanabilmektedir (Çınar ve Arslan, 2001). YSA'da 2B ve 3B nesnelere üzerinde ağırlık katsayıları değiştirilerek nesnelere üzerinde değişimler oluşturulup, bu değişimlerin animasyon için uygun olabileceği Şekil 3.23'te görülmektedir.



Şekil 3.23. Ağırlıkların değiştirilmesi sonucu nesnede oluşan değişim (Çınar ve Arslan, 2001)

Şekil 3.23'te herhangi bir kontrol yöntemi kullanılmayarak ağırlıkların rastgele seçildiği serbest şekilli bir animasyon görülmektedir.

Spline eğrilerin kontrol noktaları ve ağırlıkları sadece YSA ile değil bulanık mantık vb. yöntemlerle de bulunabilir. Başlangıç ve bitiş durumları belli olan noktalar için diğer kontrol noktaları bulanık mantık yöntemiyle hesaplanıp eğriler modellenerek serbest şekilli yüzeyler oluşturulabilir. Bu yüzeylerde nesne birleştirme işlemi ile 3B nesnelere oluşturmak için kullanılabilir (Çınar ve Arslan, 2002). Başlangıç ve bitiş noktası  $p_{00}$  ve  $p_{40}$  olmak üzere ara noktalar olan  $p_{10}, p_{20}, p_{30}$  yardımıyla Eşitlik (3.32) kullanılarak Şekil 3.24'teki eğri üretilebilir.

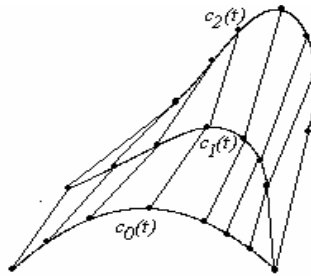


Şekil 3.24. Sadece bir yüzey için oluşturulan dördüncü dereceden eğri (Çınar ve Arslan, 2002)

Şekil 3.24'te kullanılan eğri dördüncü dereceden bir eğri olup Eşitlik (3.32) ile hesaplanabilmektedir.

$$C_0(t) = p_{00} * (1 - t)^4 + p_{10} * 4 * (1 - t)^3 * t + p_{20} * 6 * (1 - t)^2 * t^2 + p_{30} * 4 * t^3 * (1 - t) + p_{40} * t^4 \quad (3.32)$$

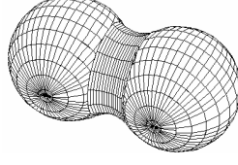
Eşitlik (3.32)'de başlangıç ve bitiş noktaları belli olan  $p_{00}$  ve  $p_{40}$  yardımıyla bulanık mantık yöntemi ile aradaki diğer noktalar olan  $p_{10}$ ,  $p_{20}$  ve  $p_{30}$  bulunmuştur. Toplamdaki beş nokta kullanılarak da  $C_0(t)$  eğrisi oluşturulmuştur (Çınar ve Arslan, 2002). Ara değer bulma yöntemi ile de daha önce bulunan eğriler birleştirilerek Şekil 3.25'deki 3B yüzey elde edilmiştir.



Şekil 3.25. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulmuş 3B yüzey (Çınar ve Arslan, 2002)

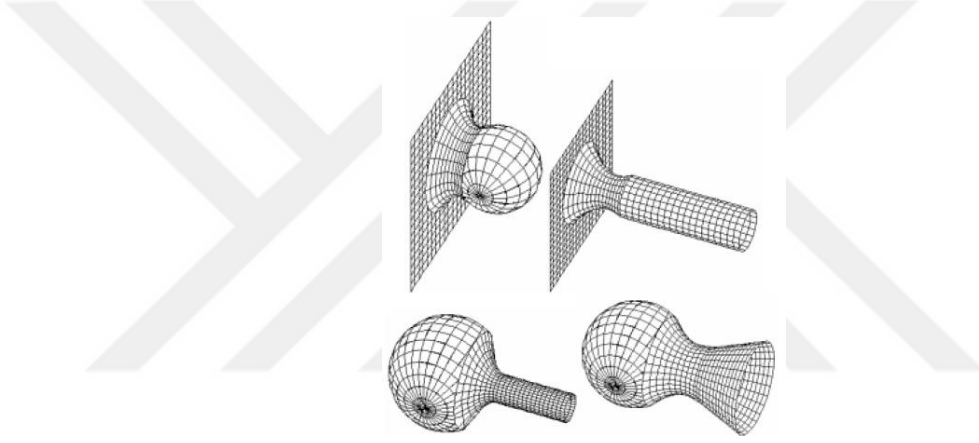
Şekil 3.25'de de görülen yüzeyler 3B nesne kaynaştırma işlemlerinde kullanılabilirler. Eşitlik (3.33)'te parametrik formda verilen küre denklemi yer almakta olup bu kürelerden aynı yarıçapa sahip iki tanesinin kaynaştırılmış hali Şekil 3.26'da görülmektedir.

$$\begin{aligned}
x(u, v) &= 10 * \cos(u), \quad 0^\circ \leq u, v \leq 360^\circ \\
y(u, v) &= 10 * \sin(u) * \sin(v) \\
z(u, v) &= 10 * \sin(u) * \cos(v)
\end{aligned}
\tag{3.33}$$



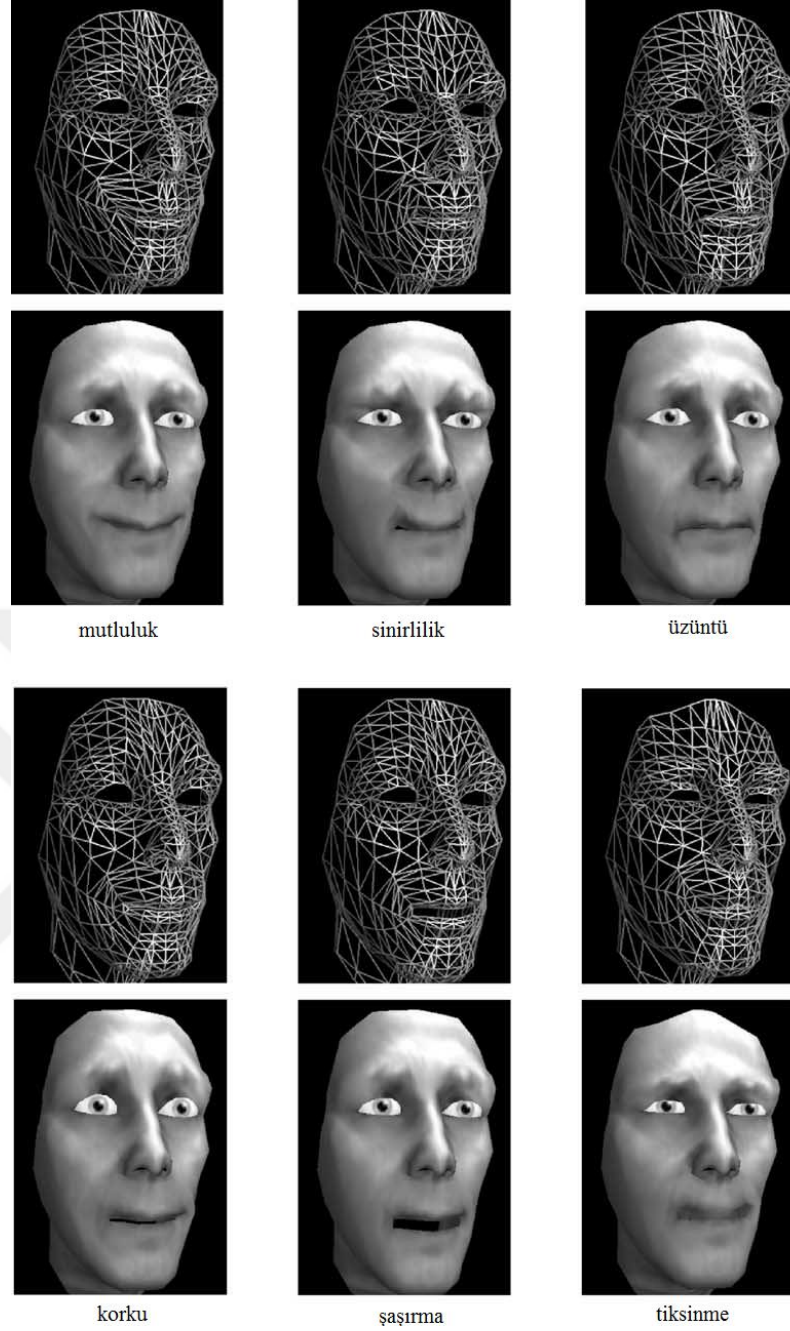
Şekil 3.26. Kaynaştırılmış iki küre (Çınar ve Arslan, 2002)

Yüzeylerin oluşturdukları diğer kaynaştırılmış nesnelere ise Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27. Bulanık mantık ile oluşturulan çeşitli yüzeyler (Çınar ve Arslan, 2002)

Spline eğriler gibi NURBS eğrilerinin de kontrol noktaları değiştirilip animasyon işleminde kullanılabilir. İnsan yüzüne ait ifadelerin modellenmesi ve animasyonu için NURBS eğrileri kullanılırken kontrol noktalarının hesaplanmasında yüz anatomisi bilgilerinden de faydalanılabilir. Bu sayede NURBS eğrilerine ait kontrol noktalarının hareket ettirilmesiyle veya ağırlıklarının değiştirilmesi ile yüze ait kasların hareketleri oluşturulabilmektedir (Huang ve Yan, 2002). Animasyon işlemi sonucu çeşitli yüz ifadelerinin elde edilmesi Şekil 3.28’de görülmektedir.



Şekil 3.28. Yüz ifadelerine ait altı temel durumun animasyonu (Huang ve Yan, 2002)

### 3.3.3. 3L yöntemine ait polinom katsayılarının değiştirilmesi

3L yöntemi ile 3B nesnelere kapalı yüzeyler şeklinde Eşitlik (3.34)'teki gibi hesaplanıp modellenmektedir. Polinoma ait katsayıları içeren  $a_{ijk}$  nesnenin şeklini belirlemektedir. Öyleki aynı dereceden KCE ile modellenmiş iki farklı

nesne düşünülduğünde bu iki polinom arasındaki tek fark katsayı değerlerinde olmaktadır.

$$f_n(x, y, z) = \sum_{0 \leq i, j, k; i+j+k \leq n} a_{ijk} x^i y^j z^k = 0 \quad (3.34)$$

Eşitlik (3.34)'ten de anlaşıldığı gibi nesnenin biçimini belirleyen asıl bilginin katsayılar da yer aldığı görülmektedir. Bu sebeple bu katsayıların değişimi, nesne üzerinde deformasyon ve şekil değişikliklerine yol açıp animasyon işleminde kullanılabilir.

Bu çalışmada yüz ifadelerinin animasyonu için 3L yöntemi ile oluşturulan polinomun katsayılarındaki değişimlerden yararlanılmıştır. Referans yüz ifadelerinin denklemlerine ait katsayılar bulunup, bu katsayılar arasındaki farklar istenilen ara model sayısına eşit olarak düzenlenmiştir. Buna göre iki referans model arasında oluşturulacak (referans modeller dâhil)  $m$ . resim çerçevesi (frame) için katsayılar Eşitlik (3.35)'teki gibi bulunur.

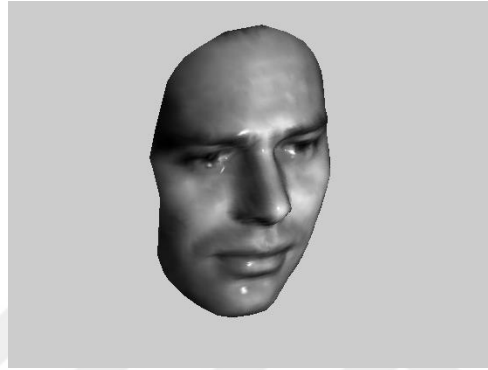
$$a_{ijk}^m = a'_{ijk} + \left( \frac{a''_{ijk} - a'_{ijk}}{s - 1} \right) * (m - 1) \quad , \quad 0 \leq i, j, k; i + j + k \leq n \quad (3.35)$$

Eşitlik (3.35)'te  $s$  referans modeller dâhil iki model arasında oluşturulacak toplam çerçeve sayısını,  $n$  KCE derecesini,  $a'_{ijk}$  referans modellerden ilkinin katsayılarını,  $a''_{ijk}$  ise referans modellerden sonuncusunun katsayılarını içermektedir. Buna göre tüm olası  $i, j, k$  değerleri için fark katsayıları bulunmuş olur. Yeni katsayıları içeren yeni denklem artık farklı bir modeli betimleyerek animasyon için kullanılabilir.

#### 3.4. Veri Setleri ve Görüntüleme Araçları

Lazer tarayıcılardan elde edilip nesneye ait nokta bulutunu içeren veri setleri çeşitli kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bu veri setleri 2B veya 3B nesnelere ait bilgileri içermekle birlikte modelleme, animasyon, çizim programları veya 3B

yazıcılarda kullanılırlar. Bu çalışmada insan yüzüne ait çeşitli modeller ve yüz ifadeleri içerip 3B nokta bulutuna sahip olan “3D Animated Face” veritabanı (Bronstein vd., 2007; Bronstein vd., 2008) ve Thingiverse (Thingiverse, 2015) kaynağına ait modeller kullanılmıştır. Bu modellerden “3D Animated Face” veritabanına ait olup doku kaplanmış bir yüz modeli Şekil 3.29 görülürken, Şekil 3.30’da ise Thingiverse kaynağından elde edilen bir 3B baş modeli yer almaktadır.



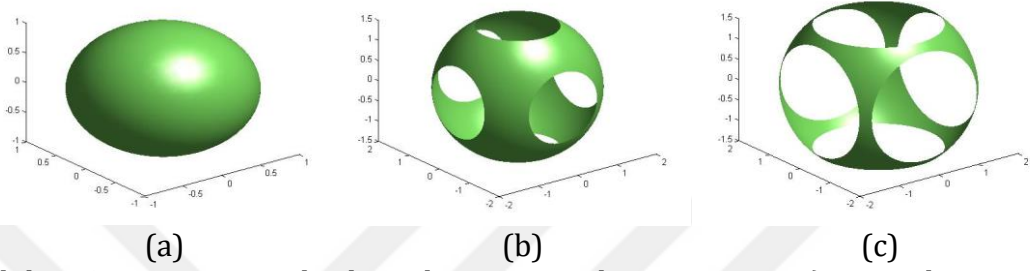
Şekil 3.29. Doku kaplanmış örnek bir yüz modeli (Bronstein vd., 2008)



Şekil 3.30. Örnek bir 3B baş modeli (Thingiverse, 2015)

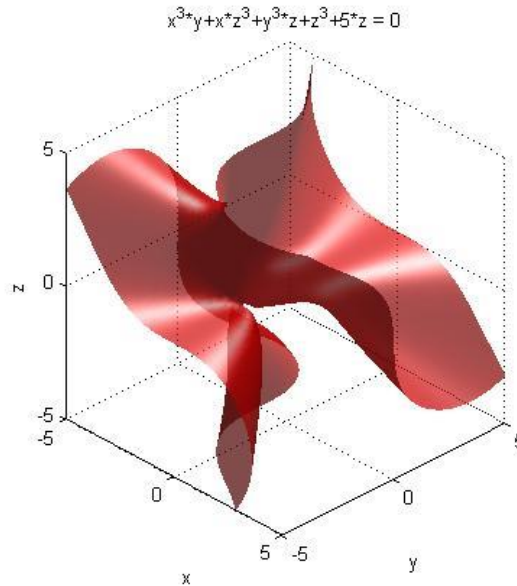
İnsan gözüyle 4-boyutlu (4B) yüzeylerin görüntülenememesi sebebiyle 4B yüzeylerin kesitinin alınması uygulaması tıp alanında kullanılan MRI görüntülerine benzemektedir. Modelleme sonrasında elde edilen sonuç yüzeyler bu sebeple klasik yöntemlerle verimli gösterilememektedir. Bunun için 4B yüzeylerin herhangi bir kesiti alınarak elde edilen 3B yüzeylerin kullanılarak

gösterimlerin yapılması, KCY'leri ifade edebilmektedir. Bu işlem "isosurface" olarak da adlandırılmakla birlikte örtük yüzeyler için eşitliği sıfır yapan değerler göz önüne alındığından gösterim için "0" kesiti kullanılmaktadır. Bu yöntem için Matlab dili kullanılarak yazılmış "ezimplot3" fonksiyonundan yararlanılmaktadır (Morales, 2009). Şekil 3.31'de yüzey üzerinde kullanılan kesit mantığı daha net görülmektedir.



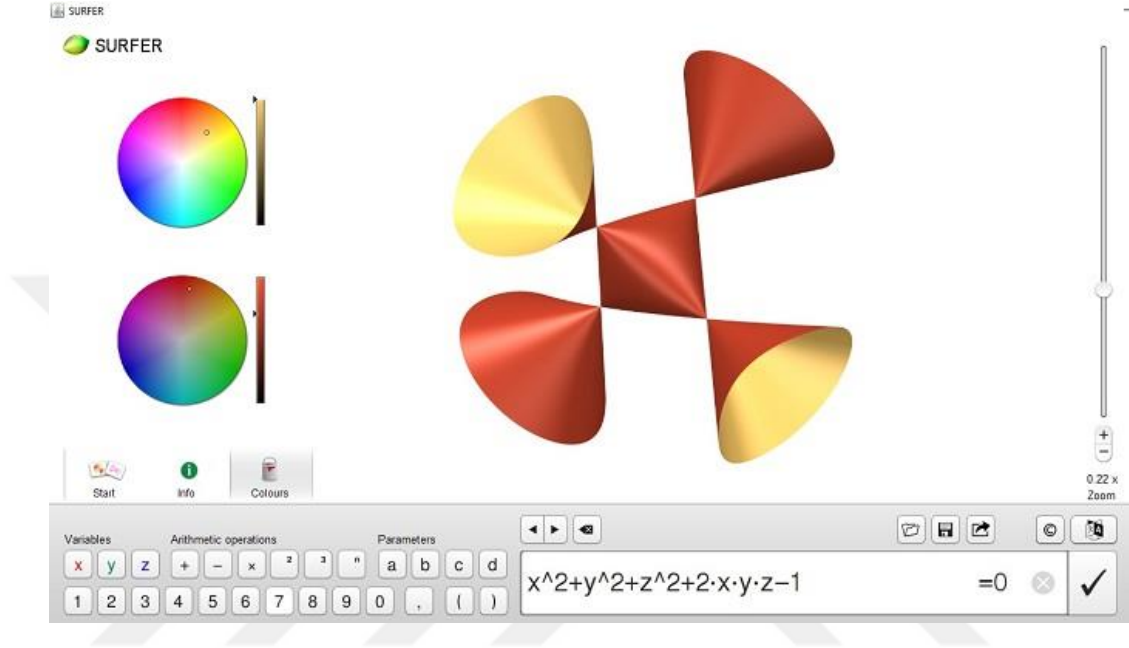
Şekil 3.31. Yüzey üzerinde alınan kesite göre oluşan görüntü a) Orijinal yüzey, b) Birinci kesiti alınmış yüzey, c) İkinci kesiti alınmış yüzey

Bazı karmaşık ve cebirsel yüzeylerden olup çeşitli isimlerle özdeşleşmiş denklemler literatürde bulunmakla beraber Durchblick bu eşitliklerden biridir. Durchblick denkleminin "ezimplot3" fonksiyonu ile çizdirilmesi sonucu elde edilen sonuç Şekil 3.32'de görülmektedir.



Şekil 3.32. Durchblick fonksiyonunun 3B olarak çizdirilmesi

Gösterim tekniği olarak isosurface kullanan diğer programlar arasında “Surfer” programı da yer almaktadır (Hartkopf ve Matt, 2013). Bu yazılımda girilen üç değişkenli eşitlik 3B olarak çizdirilebilmektedir. “Surfer” programının genel yapısı Şekil 3.33’te yer alırken, Durchblick denkleminin “Surfer” yazılımı ile çizdirilmesi sonucu elde edilen sonuç ise Şekil 3.34’de görülmektedir.



Şekil 3.33. Surfer yazılımının arayüzü



Şekil 3.34. Durchblick fonksiyonunun Surfer yazılımı ile çizdirilmesi

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

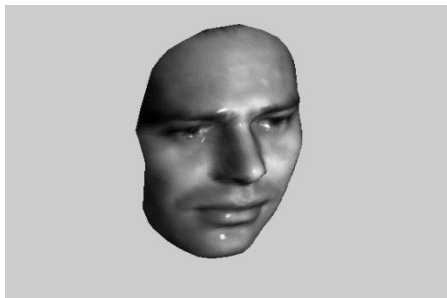
Bu çalışmada “3D Animated Face” veritabanı ve Thingiverse (Thingiverse, 2015) kaynağında yer alan 3B insan yüz ve baş modelleri tek seferde ve parçalı bir şekilde modellenmiştir. Ayrıca oluşturulan denkleme ait katsayıların değiştirilmesi ile de basit bir animasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

3B modelleme işlemi için 3L, USBÇY, YSA ve yeni geliştirilen ve KTGO metodundan yararlanan eğri uydurma yöntemi kullanılmıştır. İnsan yüzü tek seferde ve yüz üzerindeki uzuvlar gibi büyük parçaların birleşimi şeklinde olmak üzere 2 farklı şekilde modellenmeye çalışılmıştır.

##### 4.1. Tek Denklem ile Modelleme Çalışmaları

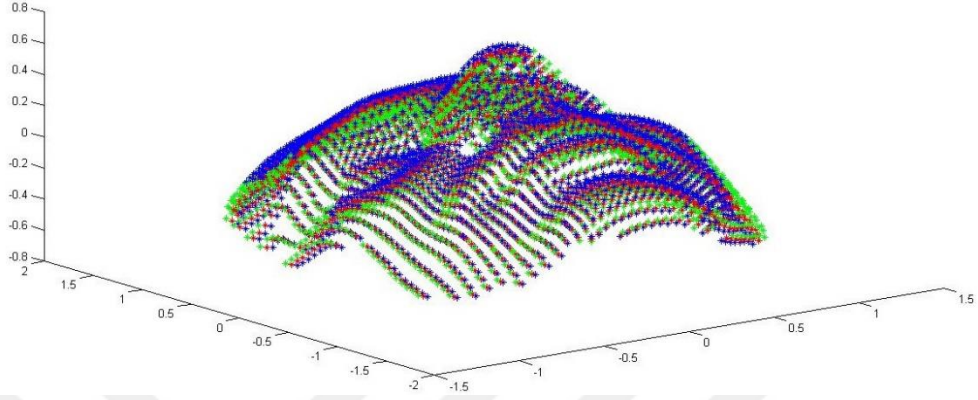
Bu tarz yaklaşımda hedef model tek bir matematiksel denklem ile ifade edilmeye çalışılıp modele ait genel ifade bulunmaya çalışılmaktadır. Yöntem olarak 3L, USBÇY, YSA ve KTGO tabanlı yüzey uydurma tekniği kullanılmıştır.

3L yöntemi 2B şekillerde çok iyi sonuçlar vermesine karşın insan yüzü gibi karmaşık 3B şekillerde yüksek hassasiyetli sonuçlar üretememektedir. Bu sebeple 3L başarımını arttırmak için uydurulacak polinomun katsayıları YSA ile bulunmuştur. Sadece giriş ve çıkış katmanının kullanıldığı Şekil 3.17’de daha önce açıklanmış olan YSA modelinde ağırlık hesaplanan ağırlıkları polinom katsayılarını ifade eder. Bu yöntem ile “3D Animated Face” veritabanında yer alıp Şekil 4.1’de yer alan yüz verisi tek seferde modellenmiştir.



Şekil 4.1. Modelleneyecek yüz verisi

Şekil 4.1’de yer alan veri kümesinin önce radyal uzaklık normalizasyonundan geçirilip daha sonra yüzey normalleri ile üç katmanı oluşturulmuştur. Şekil 4.2’de üç katmanı oluşturulmuş örnek yüz verisi yer almaktadır.



Şekil 4.2. Üç katmanı oluşturulmuş yüz verisi

Şekil 4.2’de yer alan katmanlı veriye katsayısı YSA ile hesaplanan 3L yöntemi uygulandığında yüze ait oluşturulan 3B sonuç modeli “Surfer” programıyla çizdirilip Şekil 4.3’te verilmiştir.

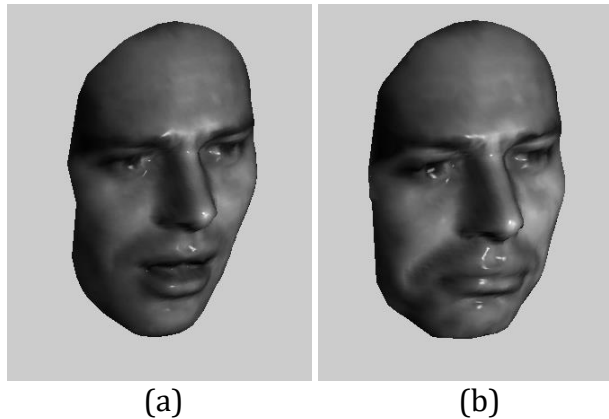


Şekil 4.3. 3L ile 3B modellenmiş insan yüzü

Şekil 4.3 incelendiğinde 3L yönteminin veriyi tek bir denklem ile 3B modelleyebildiği görülmektedir. 3L yönteminde kuvvet derecesi olarak 20. dereceden yüzey seçilmiş olup yüksek dereceden eğriler modelleme başarısındaki detayı arttırmıştır. Şekil 4.3'te yer alan 3B yüz modeline ait tek denklemin birkaç terimi Eşitlik (4.1)'de verilmiş olup yüksek derece sebebiyle tüm terim sayısı çok fazla olmaktadır.

$$\begin{aligned}
 f(x, y, z) = & -0.038683 + (-0.07790 * x^1y^0z^0) + (0.20371 * x^0y^1z^0) \\
 & + (0.58118 * x^0y^0z^1) + (0.44446 * x^2y^0z^0) + (0.12584 * x^1y^1z^0) \\
 & + (0.44665 * x^1y^0z^1) + (0.3474 * x^0y^2z^0) + (-0.6892 * x^0y^1z^1) \\
 & + (-1.9301 * x^0y^0z^2) + \dots = 0
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

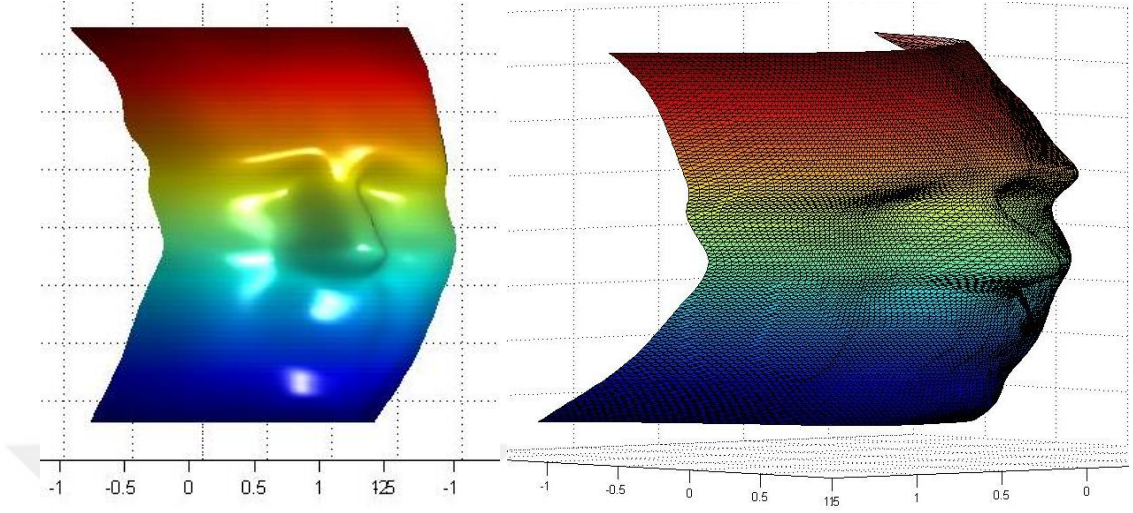
USBÇY ile gerçekleştirilen tek seferde modelleme işleminde ise, Şekil 4.1'de yer alan yüz verisinin yanında ilgili veri setindeki diğer yüz verileri de kullanılmıştır. USBÇY, özünde veriyi kendi içinde kümelerle ayırıp her bir kümeyi bulanık kurallarla ifade eden bir yöntem olmasına rağmen bu çalışmada 3B veriye ait nokta bulutunun tümü baz alınarak modelleme gerçekleştirildiğinden tek denklem ile modelleme kategorisinde sayılabilir. Organların modellenip birleştirilmesi uygulamasında da ayrıca USBÇY kullanılmış olup buna diğer konu başlığında değinilmiştir. "3D Animated Face" veritabanındaki 1. yüz verisi Şekil 4.1'de yer alırken, 3. ve 14. yüz verileri Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Örnek yüz veritabanındaki bazı veriler a) 3. yüz verisi, b) 14. yüz verisi

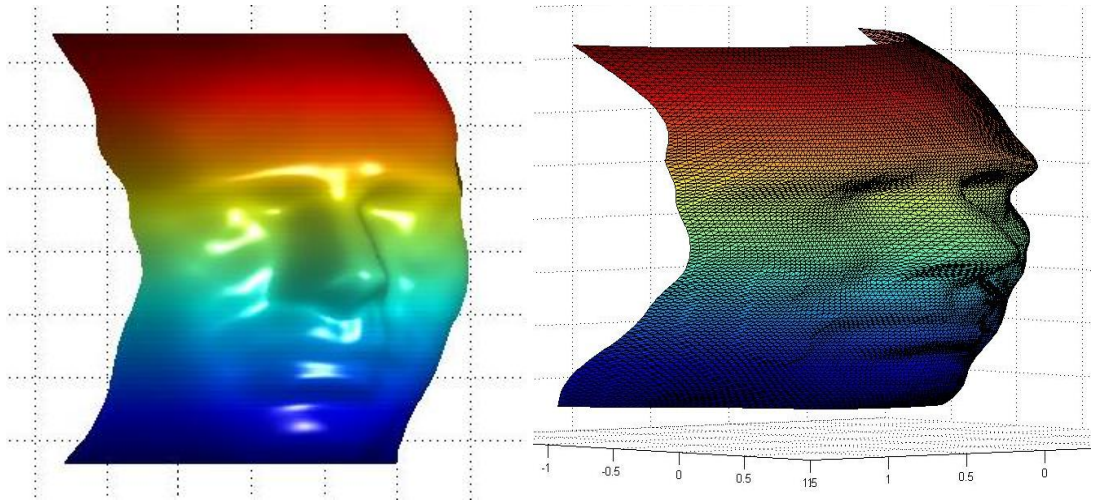
USBÇY ile 3B modellemede kural sayısı olarak 25, 50 ve 100 parametreleri denenmiştir. Kural sayısı arttırıldıkça modelleme başarısı da bu ölçüde artmakta

olup hesaplama zamanı ise aynı oranda uzamaktadır. Şekil 4.5'te 25 kural kullanarak 1. yüz verisinin 3B modelleme sonucu görülmektedir.

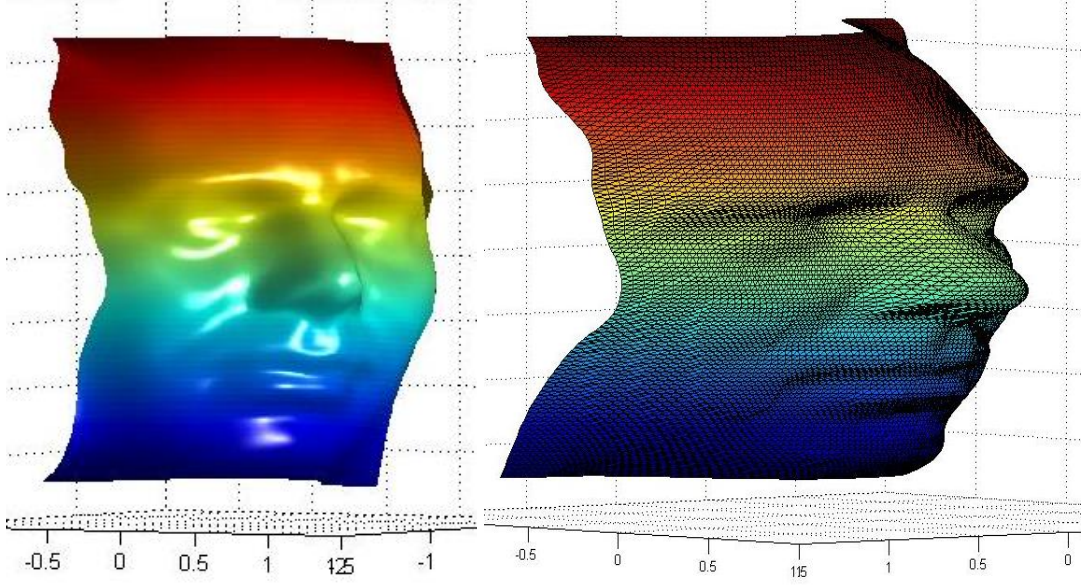


Şekil 4.5. 25 kurallı 1 nolu yüz verisinin 3B modeli

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de ise sırasıyla 50 ve 100 kural kullanarak 1. yüz verisinin 3B modelleme sonucu verilmiştir.



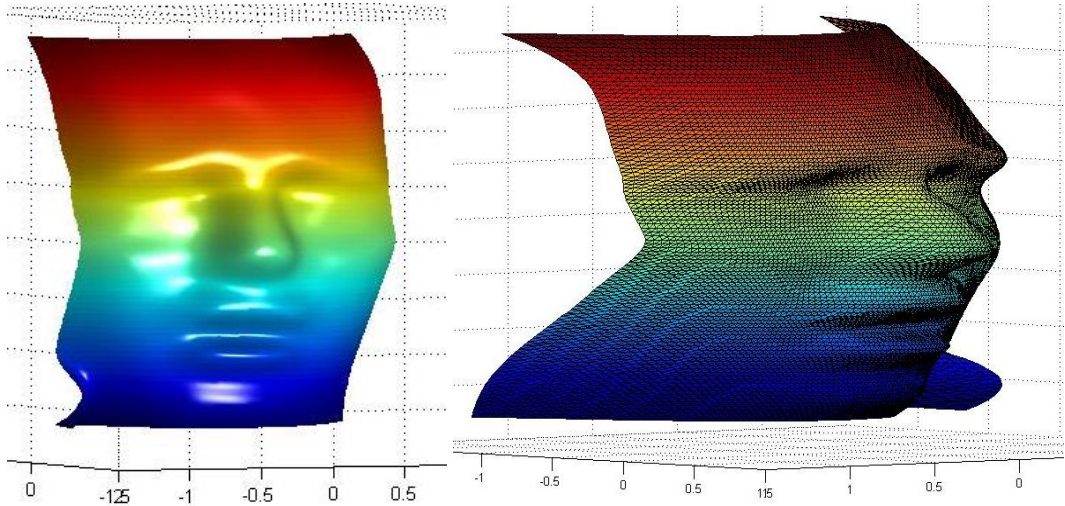
Şekil 4.6. 50 kurallı 1 nolu yüz verisinin 3B modeli



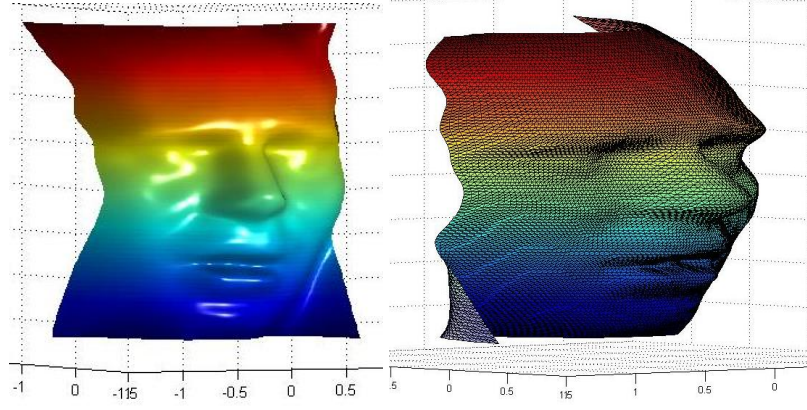
Şekil 4.7. 100 kurallı 1 nolu yüz verisinin 3B modeli

Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 incelendiğinde 50 ve 100 kural kullanıldığında USBÇY'in veriyi 3B olarak modelleyebildiği görülmektedir. Dudak ifadelerinin açıkça seçildiği sonuçlarda, nokta bulutu verileri tek seferde modellenenmiştir.

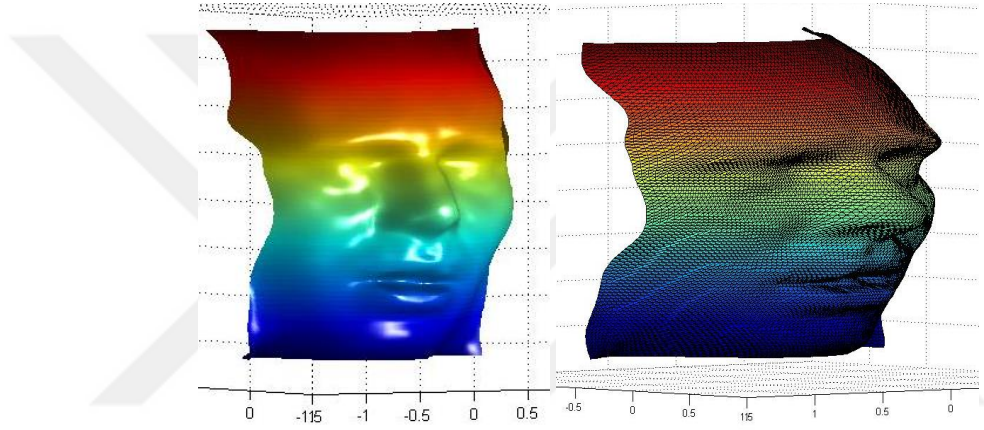
Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da ise sırasıyla 25, 50 ve 100 kural kullanılarak 3. yüz verisinin bir bütün şekilde elde edilmiş 3B modelleme sonucu verilmiştir.



Şekil 4.8. 25 kurallı 3 nolu yüz verisinin 3B modeli

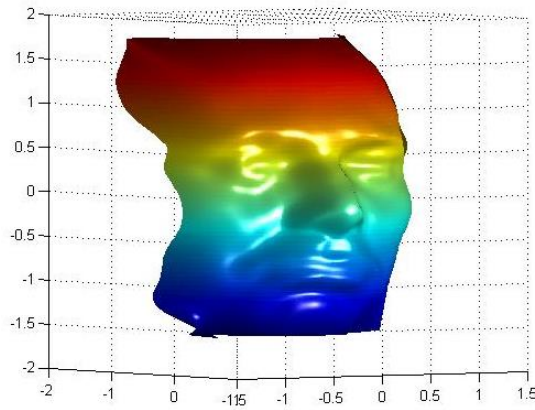


Şekil 4.9. 50 kurallı 3 nolu yüz verisinin 3B modeli

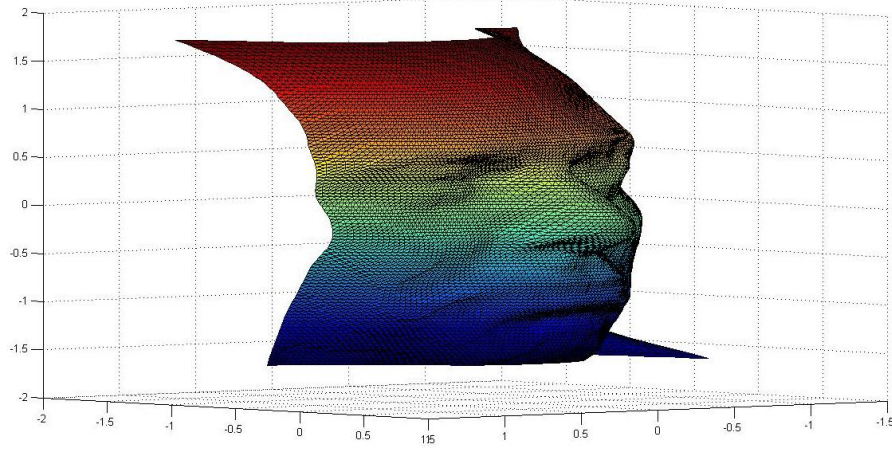


Şekil 4.10. 100 kurallı 3 nolu yüz verisinin 3B modeli

USBÇY için kullanılan bir diğer yüz verisi “3D Animated Face” veritabanında yer alan 14. yüz verisi olup Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de 100 kural kullanılarak bütün bir şekilde elde edilmiş 3B modelleme sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.11. 100 kurallı 14 nolu yüz verisinin 3B modeli



Şekil 4.12. 100 kurallı 14 nolu yüz verisinin 3B modelinin farklı gösterimi

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de de görüldüğü gibi üzüntü ifadesi modellenebilmiştir.

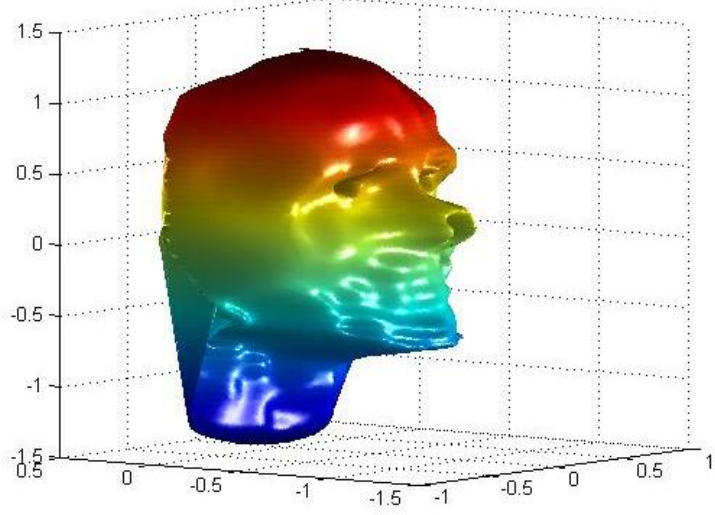
1, 3 ve 14 nolu yüz verilerine ait oluşturulan 3B modellerin parametrelerine göre Ortalama Kare Hatasının Karekökü (OKHK) hata değerleri Çizelge 4.1’de yer almaktadır.

Çizelge 4.1. USBÇY ile modelleme de 1, 3 ve 14 nolu verilere ait hata değerleri

Veri seti numarası	Kural Sayısı	OKHK
1	25	0.0143
1	50	0.0060
1	100	0.0027
3	25	0.0139
3	50	0.0077
3	100	0.0045
14	100	0.0038

Normalize edilmiş verideki OKHK değerleri incelendiğinde hata oranının az olması sebebiyle 3B modellemedeki başarının yüksek olduğu görülmüştür.

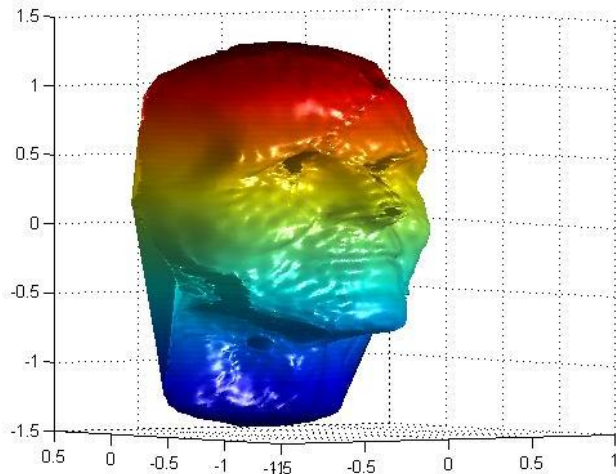
USBÇY ile gerçekleştirilen bir diğer uygulama ise Şekil 3.30’da yer alıp Thingiverse’e ait insan baş modelinin 3B modellenmesidir. Veri modeli onbinlerce nokta bulutundan oluştuğundan elde edilen sonuç değerler “3D Animated Face” veritabanları kadar detaylı olmamıştır. Şekil 4.13’te insan baş modelinin tek seferde 3B olarak modellenmesi yer almaktadır.



Şekil 4.13. İnsan baş modelinin USBÇY ile 3B modellenmesi

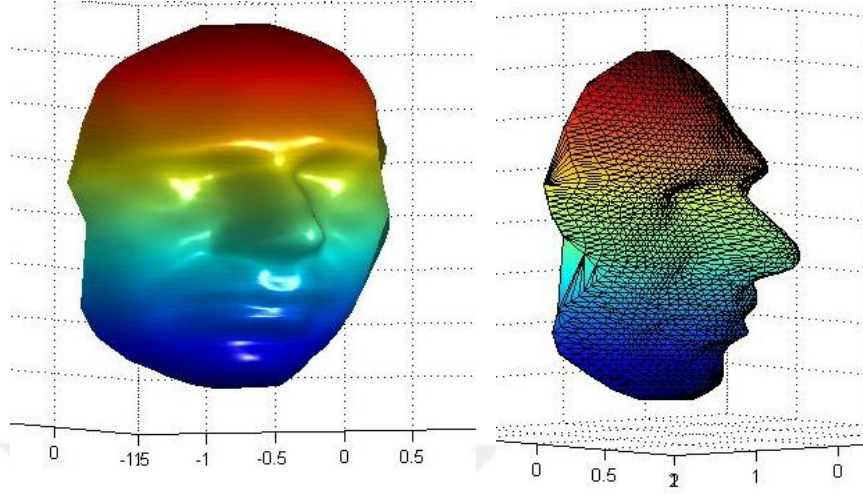
Şekil 4.13'te 245700 veri noktasına sahip bir insan başına ait modelin USBÇY ile uydurulması görülmekte olup, bu kadar fazla sayıda noktanın eğitime girişi çıkış modelinde hassasiyet konusunda performans kaybına yol açmıştır. Buna rağmen modelin USBÇY tarafından tek seferde modellenebildiği ve göz, burun gibi uzuvlarının belirgin olduğu görülmektedir.

YSA ile 3B modelleme işleminde Thingiverse'e ait modelin 3B yüzey uydurulmuş hali Şekil 4.14'te görülmektedir. Modellenmiş insan başı için YSA parametreleri olarak; iterasyon sayısı 1000, giriş katmanı 80 sinir, gizli katman 30, çıkış katmanı ise 1 sinirden oluşmaktadır.



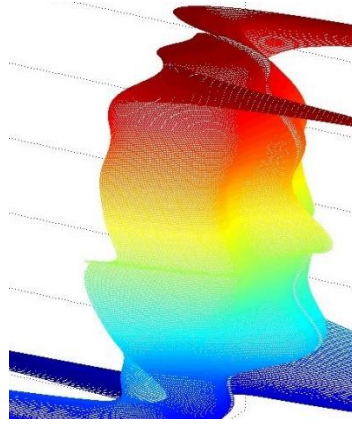
Şekil 4.14. İnsan baş modelinin YSA ile 3B modellenmesi

“3D Animated Face” veritabanındaki 1. yüz verisi için aynı parametrelerle YSA çıkışı ise Şekil 4.15’de görülmektedir.



Şekil 4.15. YSA ile 1 nolu yüz verisinin tek seferde 3B modellenmesi

KTGO kullanan yüzey uydurma yöntemi; 12. dereceden, 250 iterasyonlu, 36 popülasyonlu ve 50 adet denklemin birleşimi şeklinde çalıştırılmıştır. Elde edilen tek seferde modelleme sonuçları Şekil 4.16’da görülmektedir.



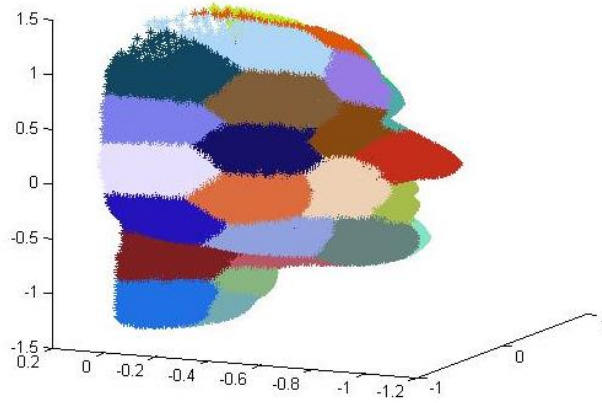
Şekil 4.16. KTGO ile tek seferde modelleme

Şekil 4.16’da KTGO ile tek seferde modellenen Thingiverse’e ait insan baş modeli görülmekte olup yüksek boyutlu veri ile başa çıkılabilmesi için derece ve parametre sayısının artırılması gerekmektedir. Fakat bu da terim sayısının çok artmasına sebep olmaktadır. Yüksek detaylı olmasada yüze ait tek denklem KTGO ile çıkarılabilmiş olup geliştirilen yöntemin literatüre yeni bir yön verdiği açıktır.

## 4.2. Büyük Parçaların Birleşimi Çalışmaları

Bu çalışmada tek seferde modellenemenin yanında insan yüzünün parçaların birleşimi şeklinde modellendiği çalışmaya da yer verilmiştir. Bu yöntem spline eğrileri gibi veriyi binlerce küçük parçaya bölmez. Bunun yerine yüz üzerinde yer alıp kendisi yine büyük bir model oluşturan burun, dudak, ağız gibi uzuvlar bütün bir şekilde modellenip yüz üzerinde birleştirilmişlerdir. Birleştirme için bu çalışmada herhangi bir kaynaştırma yöntemi kullanılmamıştır. Bu sebeple kaynaşım noktalarında gürültüler bulunmaktadır.

Radyal uzaklık normalizasyonundan geçirilip belirli sınır değerlerine getirilen 3B yüz veri kümesini parçalı modellemek için bulanık C-ortalama kümeleme yöntemi kullanılmış olup küme sayısı organların kümelere daha iyi dâhil olabilmesi için 35 seçilmiştir. Daha sonra yüz üzerinde farklı bölgeleri temsil eden her bir küme verisine ait yüzey normalleri kullanılarak 3 katman oluşturulmuştur. Şekil 4.17’de kümeleme sonucu elde edilen küme bölgeleri görülmektedir.

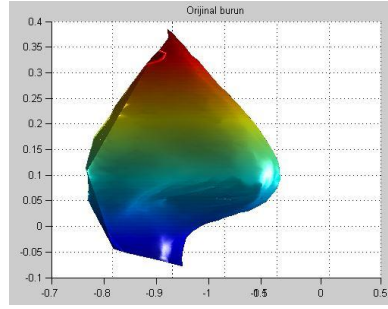


Şekil 4.17. İnsan yüzünün 35’e kümelmesi

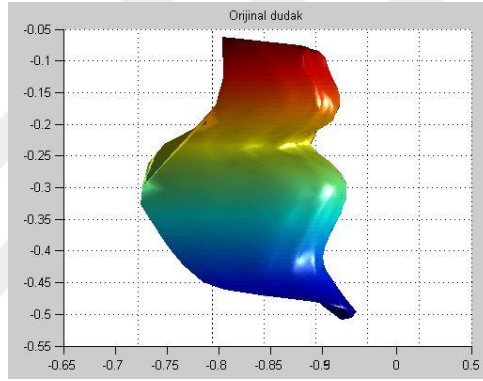
Şekil 4.17 incelendiğinde burun, ağız ve gözler gibi uzuvların küme bölgelerine dâhil oldukları rahatça görülmektedir. Bu bölgeler daha sonra modellemede kullanılmışlardır.

İnsan yüzünün kümelmesi sonucu elde edilen burun, ağız gibi uzuvlara ait veriler daha önce de belirtilen yöntemler ile 3B olarak modellenmişlerdir.

Kümeleme sonucu elde edilen orijinal verilerden olan burun ve dudağa ait yüzeyler Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da görülmektedir.

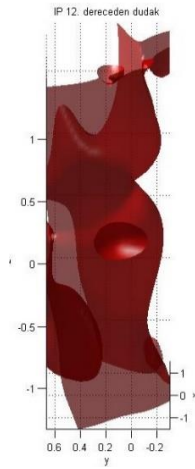


Şekil 4.18. Orijinal burun verisi

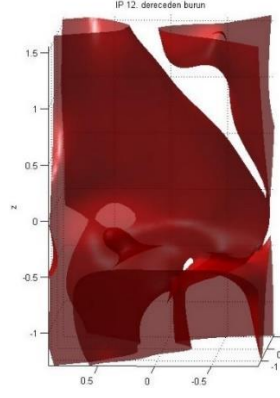


Şekil 4.19. Orijinal dudak verisi

3L algoritması kullanılarak modellenmiş burun ve dudağa ait grafikler Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de görülmektedir.

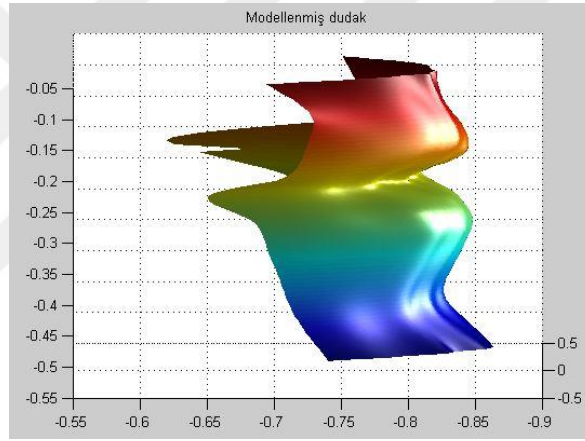


Şekil 4.20. Dudağın 3L yöntemi ile 3B modellenmesi

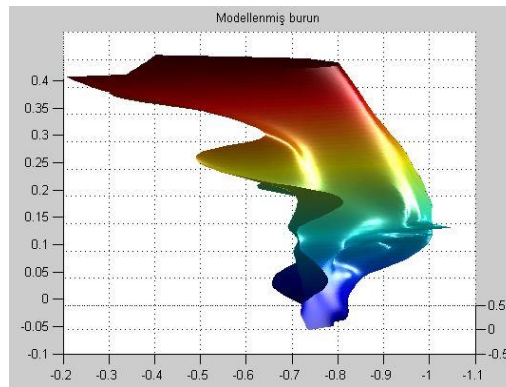


Şekil 4.21. Burunun 3L yöntemi ile 3B modellenmesi

USBÇY kullanılarak modellenmiş burun ve dudağa ait grafikler ise Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te görülmektedir.

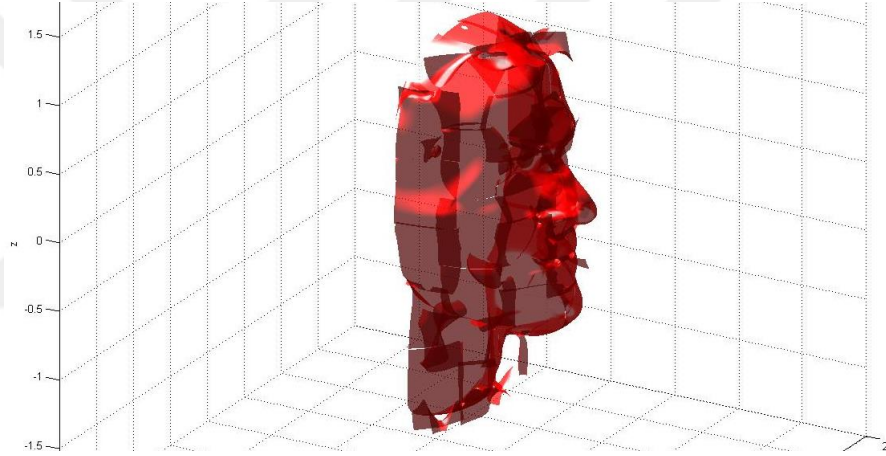


Şekil 4.22. Dudağın USBÇY yöntemi ile 3B modellenmesi

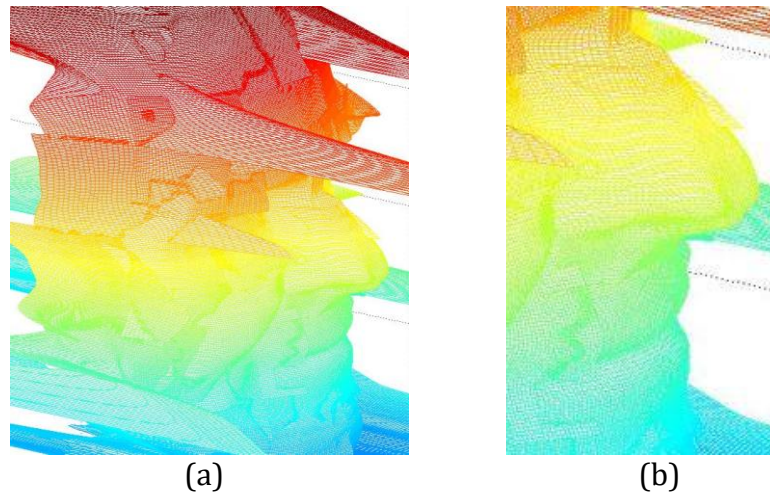


Şekil 4.23. Burunun USBÇY yöntemi ile 3B modellenmesi

Şekil 4.20-4.23 arasındaki dört şekilde insan başında yer alan uzuvlardan olan dudak ve burunu yine kendi içinde bir bütün şekilde başarılı bir biçimde 3B olarak modelleyebilmişlerdir. Fakat daha önce de belirtildiği gibi bu tez çalışmasında tek bir matematiksel ifade oluşturma üzerinde durulduğundan çok küçük parçalı birleşimler ya da kaynaştırma işlemleri deneysel çalışmalara dâhil edilmemiştir. Bu sebeple Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de de görüldüğü gibi uzuvlar birleştirilip insan başı oluşturulurken istenmeyen kararsız dallar oluşmaktadır. Yine de bu kararsız dallar göz ardı edildiğinde oluşturulan model yüksek detaya sahip bir 3B model görüntüsündedir. Şekil 4.24’te 3L yönteminde elde edilen uzuvların birleştirilmesi görülürken, Şekil 4.25’de ise USBÇY ile elde edilen parçaların birleştirilmesi yer almaktadır.



Şekil 4.24. Parçalıdan bütüne modelleme 12. dereceden 3L eğri



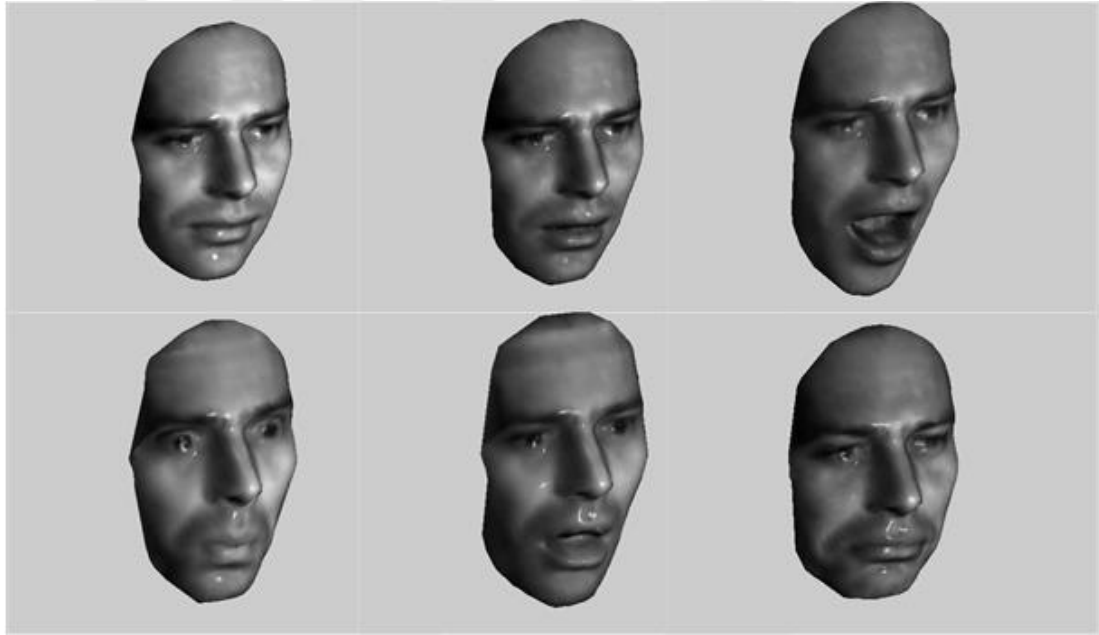
Şekil 4.25. USBÇY 10 kural ve 200 iterasyon için parçalıdan bütüne modelleme a) 3B birleşmiş yüzey, b) Birleşmiş yüzeyin ağız bölgesine yakınlaştırılmış görüntü

Şekil 4.25'de kararsız dalların modellenmiş yüzeyden uzaklaştırılmasıyla daha detaylı görüntülerin elde edileceği aşikârdır.

### 4.3. Basit Animasyon Çalışmaları

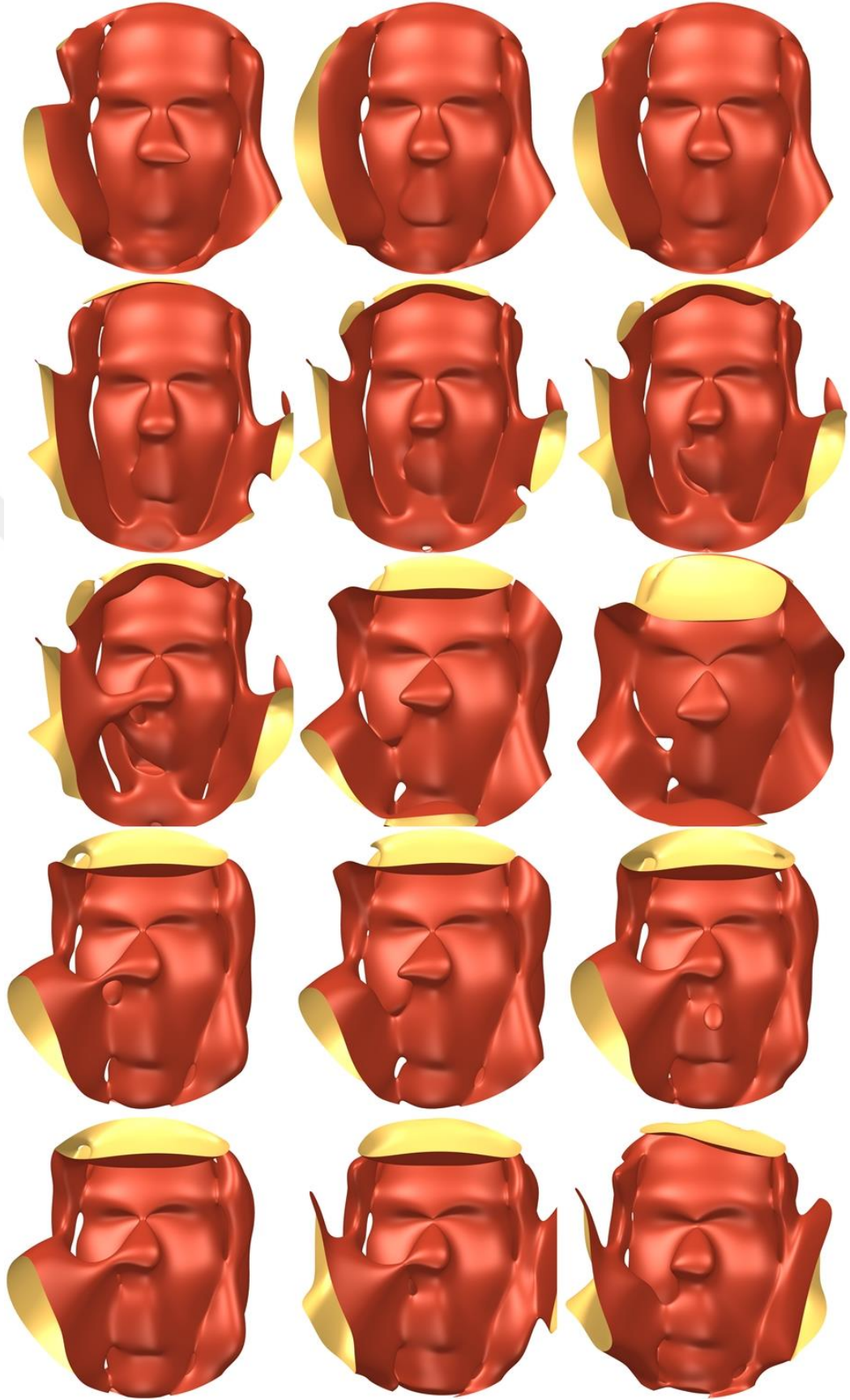
İnsan yüzündeki uzuvlar modellenirken ve matematiksel ifadeleri oluşturulurken, aynı zamanda belli katsayılarla elde edilebilmektedir. Normal veya az gülen bir kişinin çok fazla gülmesi arasındaki ilişki modelin katsayılarında yatmaktadır. Bu katsayılardaki değişimlerde kendini basit animasyonlar olarak ortaya koymaktadır.

Animasyon için kaynak modellere ait görüntü Şekil 4.26'da görülmektedir.



Şekil 4.26. Animasyon için referans modeller

Animasyon çalışmaları için 3L yönteminde katsayıların YSA ile bulunmasıyla elde edilen polinomun katsayı değişimleri kullanılmıştır. Referans yüz ifadelerine ait nokta bulutu 3L yöntemi ile 3B modellendikten sonra fark matrisleri oluşturulup Eşitlik (3.34)'teki gibi ara çerçeveler elde edilmiştir. Bu çerçeve döngüsü basit bir animasyonun oluşmasına zemin sağlamaktadır. Animasyon döngüsünde ara katmanlarda oluşturulan bazı çerçeveler Şekil 4.27'de görülmektedir.



Şekil 4.27. Referans modeller ile ara değerlerin bulunması ve animasyon işlemi

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde çalışılan klasik yöntemler incelendiğinde 3B modelleme işleminin, küçük eğri ya da poligonların birleştirilip büyük modelin elde edilmesi şeklinde yapıldığı görülmektedir. Bu yöntemler tasarım ve görüntü açısından nesnelere iyi ifade edebilmelerine karşın modelin tamamına ait matematiksel bilgiyi sağlayamazlar. Bu çalışmada bu eksiklik giderilmeye çalışılmış olup KCE, 3L yöntemi, USBÇY, YSA ve KTGO ile yüzey uydurma gibi yöntemlerden faydalanılarak insan yüz ve baş modelleri bir bütün şeklinde 3B olarak modellenmeye çalışılıp matematiksel ifadeleri elde edilebilmiştir.

Bu çalışma ile 3B farklı yüzeyleri modellemek için daha kolay ve daha hızlı bir yaklaşım olup tek tip denklemleri (signomial ve posinomial eğriler) ifade edebilen eğri ve yüzey uydurma yöntemi geliştirilmiştir. Bu eğrilerde parametreler, KTGO tarafından bulunmaktadır. KTGO sezgisel bir algoritma olup global minimum değere ulaşmak için kümeleme sonucu oluşan küme merkezleri ve parabolik yaklaşımdan yararlanmaktadır. KTGO, diğer sezgisel algoritmalar ile kıyaslandığında daha hızlı ve başarılı sonuçlar elde edebilmekle birlikte satranç gibi oyunlarda en iyi hamlenin aranması, mermer ve kumaş gibi materyallerin kesilip en iyi şekilde yerleştirilmesi gibi alanlarda da başarı ile kullanılmaktadır. Bu çalışmada da KTGO, yüksek çözünürlükte olmasa bile referans 3B modele ait tek denklemin bulunmasında başarı ile kullanılmış olup modele ait geometrik bilgileri yansıtabilmiştir.

Bu çalışmada KTGO dışında, uydurulacak yüzeyin alt-yüzeylere ayrılarak USBÇY ile her alt bölge için ayrı kuralın kullanılıp modellendiği yaklaşım ile KCE'nin daha hassas uygulamalarından 3L yöntemi ve YSA da tek tip denklemleri elde etmek için kullanılmıştır. Uygulama alanı olarak insan vücudundaki baş ve yüzün belirlendiği bu tez çalışmasında, yüze ait matematiksel ifadenin tek bir denklem ile bulunup modellenmesi gerçekleştirilmiş olup denkleme ait parametreler elde edilmiştir. Basit yüz animasyonu çalışması içinde bu parametrelerin değişimleri kullanılmıştır. Böylece bir bütün şeklinde modellenen 3B yüzlere ait denklem katsayılarının değişimine bağlı farkların belirlenmesiyle gülme, üzülme ve kızma

gibi yüz jestlerinin oluşturulup basit bir animasyon işlemide gerçekleştirilip literatüre yeni bir animasyon yaklaşımı kazandırılmıştır. Animasyon uygulamasında daha iyi sonuçların alınması için katsayıların bulunmasında en küçük kareler yöntemi yerine sadece giriş ve çıkış katmanı olan YSA yapısı kullanılmıştır. Böylece denkleme ait katsayı ve sabit terim elde edilebilmiştir. Daha sonra elde edilen katsayılara ait fark matrisleri bulunup ara modeller oluşturularak yüz üzerinde animasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

USBÇY ve YSA ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalar oldukça başarılı sonuçlar vermiş olup, diğer yöntemler modele ait genel geometri bilgisini taşımalarına rağmen yüksek hassasiyetli modellemede biraz geri kalmışlardır. USBÇY ve YSA tek seferde modellemede çok iyi sonuçlar alırken yapıları gereği tek bir polinomsal denklem oluşturmaya göre daha karmaşık özelliktedirler. Bu sebeple animasyon işlemi için kolayca kullanılamazlar çünkü yapılarında polinom katsayılarından çok parametrik yapılar mevcuttur. Öyleki YSA her bir ağ katmanındaki ağırlık değerlerini ve aktivasyon fonksiyonlarını kullanırken, USBÇY ise bulanık kuralların oluşturulması ve durulaştırılmasına ilişkin parametreleri kullanmaktadır. Tüm bu karmaşık yapılarına rağmen her iki yöntemde 3B referans yüzleri yüksek hassasiyetle modelleyip yüz üzerindeki ifadeyi belirgin bir şekilde oluşturmuştur.

Bu çalışma ile ayrıca, yüzün bir bütün şeklinde modellenebilmesi sayesinde pahalı lazer tarayıcıları ile elde edilen 3B nokta bulutu kümesine ait veriler sadece katsayılar ile saklanıp veri boyutu azaltılabilmekle birlikte, uzun zaman ve kaynak tüketen grafik animasyonunun kullanıldığı alanlarda da yeni alternatif bir yaklaşım elde edilmiştir. Geliştirilen yöntemler diğer 3B nesnelere de uyarlanabilir olduğundan grafik ve animasyon, simülasyon ve bilgisayar oyunları gibi birçok alanda da kullanılabilir özellik taşımaktadır.

İleride yapılacak çalışmalarda KTGO yönteminin diğer alanlardaki uygulanmasının yanı sıra, Kinect ve endüstriyel kameralarla anlık elde edilecek nokta bulutu verileri ile gerçek zamanlı 3B modelleme işleminin de gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Aina, O.O., 2009. Generating Anatomical Substructures for Physically-based Facial Animation Part 1: A Methodology for Skull Fitting. *The Visual Computer*, 25(5-7), 617-625.
- Akatürk, E. 2011. "Modeling 3d Objects with Free-Form Surfaces using 2d Sketches", Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Ankara.
- Akgül, Y.S., 2009. Çifte Ağ Metodu Yardımıyla Cisimlerin 3 Boyutlu Yapılarının Bulunması için bir Bilgisayarla Görme Metodu. TÜBİTAK kariyer projesi, proje no:105E097.
- Akyılmaz, O., Ayan, T., 2006. Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları. *İTÜ Dergisi*, 5 (1), 261-268.
- Ansari, A.N., Mottaleb, M.A., 2005. Automatic Facial Feature Extraction and 3D Face Modeling using Two Orthogonal Views with Application to 3D Face Recognition. *Pattern Recognition*, 38, 2549-2563.
- Archer, K.M., 1997. Craniofacial Reconstruction using Hierarchical B-Spline Interpolation. University of British Columbia, Department of Electrical and Computer Engineering.
- Balta, C., Öztürk, S., 2009. Tersine Mühendislikte Laser Tarama Nokta Bulutundan Örne Yüzey Elde Edilmesi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongre (EMO-ODTÜ)*.
- Baraff, D., Witkin, A., 1999. Physically Based Modeling Course Notes. Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'99), Course 36.
- Blanz, V., Vetter, T., 1999. A Morphable Model for the Synthesis of 3D Faces. Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'99), 187-194.
- Blane, M. M., Lei, Z., Civi, H., and Cooper, D. B., 2000. The 3L Algorithm for Fitting Implicit Polynomial Curves and Surfaces to Data. *IEEE Trans. On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 22(3).
- Blanz, V., Vetter, T., 2003. Face Recognition Based on Fitting a 3D Morphable Model. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(9), 1063-1074.
- Bolkart, T., Wuhner, S., 2016. A Robust Multilinear Model Learning Framework for 3D Faces. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.

- Bronstein, A.M., Bronstein, M.M., Kimmel, R., 2007. Calculus of Non-Rigid Surfaces for Geometry and Texture Manipulation. IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, 13(5), 902-913.
- Bronstein, A.M., Bronstein, M.M., Kimmel, R., 2008. Numerical Geometry of Non-Rigid Shapes. Springer-Verlag New York Inc.
- Bulu, H., Alpkoçak, A., 2007. Tıbbi Görüntüler için 3-Boyutlu Bölütleme Algoritmalarının Karşılaştırılması. 15. Sinyal İşleme Uygulamaları Kurultayı, Eskişehir.
- Büyükcatalay, S., Halıcı, U., Akagündüz, E., Ulusoy, İ., Leblebicioğlu, K., 2006. Çoklu Görüntülerden 3B Yüz Modeli Oluşturma. 14. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 1-4.
- Carr, J.C., Beatson, R.K., Cherrie, J.B., Mitchell, T.J., Fright, W.R., McCallum, B.C., Evans, T.R., 2001. Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Functions. Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 67-76.
- Cetişli, B., 2005. El Yazısı Karakter Tanıma: Dalgacık Moment Özniteliklerinin Yenilenen USBÇY ile Sınıflandırılması. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.
- Cetişli, B., Kalkan, H., 2011. Polynomial Curve Fitting with Varying Real Powers. Journal of Electronics and Electrical Engineering, 6(112), 117-122.
- CGAL, Erişim Tarihi: 11.10.2014. <http://www.cgal.org/>
- Cheng, C.M., Lai, S.H., 2001. An Integrated Approach to 3D Face Model Reconstruction from Video. Proceedings of IEEE Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems, 16-22.
- Civalek, Ö., 1999. Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği ile Analizi. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 1 (2), 13-31.
- Çınar, A., Arslan, A., 2001. Animasyon için Yapay Sinir Ağları Tabanlı Yapısal Olmayan Çözüm Ağları Üretimi. TMMOB Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Kocaeli, 256-260.
- Çınar, A., Arslan, A., 2002. Bulanık Mantık Tabanlı Yüzey Modelleme ve Üç Boyutta Nesne Kaynaştırma İşlemine Uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17 (4), 23-36.
- Delaunay, B., 1934. Sur la sphere vide, Izvestia Akademii Nauk SSSR. Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk, 7, 793-800.

- Dornaika, F., Ahlberg, J., 2006. Fitting 3D Face Models for Tracking and Active Appearance Model Training. *Image and Vision Computing*, 24, 1010-1024.
- Duffin, R.J., Peterson, E.L., Zener, C.M., 1967. *Geometric Programming: Theory and Application*. Wiley, 278p. New York.
- Duysak, A., 2005. Yüz Dokularındaki Deformasyonların Kütle-Yay Metodu Kullanılarak Gerçekçi Simülasyonu. 13. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 589-592.
- Duysak, A., Aytekin, S., 2012. Sanal Ortamda Nesnelerin Haptic Kol ile Manipülasyonu. 14. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, Akademik Bilişim'12, Uşak Üniversitesi.
- Fırat, M., 2002. Doğrusal ve Kıvrımlı Akarsulara Yerleştirilen Köprü Ayakları Etrafında Meydana Gelen Oyulma Derinliğinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 133s, Denizli.
- Fırat, M., Güngör, M., 2004. Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 219, 3267-3282.
- Furukawa, Y., Ponce, J. 2009. "Carved Visual Hulls for Image-Based Modeling", *International Journal of Computer Vision*, 81(1), 53-67.
- Hartkopf, A., Matt, A.D., 2013. SURFER in Math Art, Education and Science Communication. In *Proceedings of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture*, Tessellations Publishing, 271-278.
- Haykin, S.S., 1994. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. NY: Mcmillan Press.
- Hoch, M., Fleischmann, G., Girod, B., 1994. Modeling and Animation of Facial Expressions based on B-Splines. *The Visual Computer*, 11(2), 87-95.
- Hoppe, H., Derose, T., Duchamp, T., McDonald, J., Stuetzle, W., 1990. *Surface Reconstruction from Unorganized Points*. University of Washington.
- Huang, D., Yan, H., 2002. Modeling and Animation of Human Expressions using NURBS Curves based on Facial Anatomy. *Signal Processing: Image Communication*, 17, 457-465.
- Igarashi, T., Matsuoka, S., Tanaka, H., 2007. Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. *International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 409-416.
- Jiang, D., Hu, Y., Yan, S., Zhang, L., Zhang, H., Gao, W., 2004. Efficient 3D Reconstruction for Face Recognition. *Pattern Recognition*, 38, 787-798.

- Karniel, A., Belsky, Y., Reich, Y., 2005. Decomposing the Problem of Constrained Surface Fitting in Reverse Engineering. *Computer-Aided Design*, 37, 399-417.
- Lee, A., Moreton, H., Hoppe, H., 2000. Displaced Subdivision Surfaces. *Proceedings of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'00)*, 85-94.
- Lee, W.S., Magnenat-Thalmann, N., 2000. Fast Head Modeling for Animation. *Image and Vision Computing*, 18(4), 355-364.
- Lei, Z., Blane, M.M. and Cooper, D. B., 1996. 3L Fitting of Higher Degree Implicit Polynomials. In *Proc. 3rd IEEE Workshop Applications Computer Vision*, Sarasota, FL, Dec., 148-153.
- Luximon, Y., Ball, R., Justice, L., 2012. The 3D Chinese Head and Face Modeling. *Computer-Aided Design*, 44(1), 40-47.
- Mcallister, M., Snoeyink, J., 2000. Medial Axis Generalization of River Networks. *Cartography and Geographic Information Science*, 27(2), 129-138.
- Mikic, I., Trivedi, M., Hunter, E., Cosman, P., 2003. Human Body Model Acquisition and Tracking Using Voxel Data. *International Journal of Computer Vision*, 53(3), 199-223.
- Morales, G., 2009. Ezimplot3: Implicit 3D Functions Plotter. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/23623-ezimplot3--implicit-3d-functions-plotter>. Erişim Tarihi: 22.05.2014.
- Nahas, M., Huitric, H., Saintourens, M., 1988. Animation of a B-spline Figure. *The Visual Computer*, 3(5), 272-276.
- Obo, T., Loo, C.K., Seera, M., Kubota, N., 2016. Hybrid Evolutionary Neuro-Fuzzy Approach Based on Mutual Adaptation for Human Gesture Recognition. *Applied Soft Computing*, 42, 377-389.
- Orvalho, V.C.T., Zacur, E., Susin, A., 2006. Transferring Facial Expressions to Different Face Models. *Ibero-American Symposium on Computer Graphics – SIACG*.
- Özkurt, A., 2002. Üç Boyutlu Örneksele Veriden Yüzey Modeli Üretimi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(3), 27-36.
- Özsoy, İ., Fırat, M., 2004. Kirişsiz Döşemeli Betonarme Bir Binada Oluşan Yatay Deplasmanın Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1), 51-63.
- Özüağ, E., Güllü, M.K., Urhan, O., Ertürk, S., 2010. 3-B Yüz Modelleme ve Yerel Deformasyonlar. *18. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2010)*, 752-755.

- Özüağ, E., Güllü, M.K., Urhan, O., Ertürk, S., İşken, T., 2012. Çok-Bakışlı Stereo Yaklaşımı ile Yüksek Çözünürlüklü Bir 3-B Model Oluşturma Yaklaşımı. 20. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2012).
- Pence, İ., Cesmeli, M.S., Senel, F.A., Cetisli, B., 2016. A New Unconstrained Global Optimization Method Based on Clustering and Parabolic Approximation. *Expert Systems with Applications*, 55, 493-507.
- Pençe, İ. 2012. El Yazısı Karakterlerinin Kapalı Cebirsel Eğrilerle Modellenmesi ve Sınıflandırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, Isparta.
- Pençe, İ., Cetişli, B., 2013. El Yazı Karakterlerinin Kapalı Cebirsel Eğrilerle Modellenmesi ve Sınıflandırılması. *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, BEEM Özel Sayısı, 5(1), 1-7.
- Peng, W., Xu, C., Feng, Z., 2016. 3D Face Modeling Based on Structure Optimization and Surface Reconstruction with B-Spline. *Neurocomputing*, 179, 228-237.
- Rash, C.E., 1999. *Helmet-Mounted Displays: Design Issues for Rotary-Wing Aircraft*. Washington (USA): SPIE Press.
- Romdhani, S., Blanz, V., Vetter, T., 2002. Face Identification by Fitting a 3D Morphable Model using Linear Shape and Texture Error Functions. 7th European Conference on Computer Vision, 2353, 3-19.
- Rothganger, F., Lazebnik, S., 2006. 3D Object Modeling and Recognition Using Local Affine-Invariant Image Descriptors and Multi-View Spatial Constraints. *International Journal of Computer Vision*, 66(3), 231-259.
- Rosales, R., Siddiqui, M., Alon, J., Sclaroff, S., 2001. Estimating 3D Body Pose using Uncalibrated Cameras. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, 821-827.
- Rouhani, M., Sappa, A.D., 2012. Implicit Polynomial Representation Through a Fast Fitting Error Estimation. *IEEE Trans. Image Process.* 21 (4), 2089-2098.
- Rouhani, M., Sappa, A.D., Boyer, E., 2015. Implicit B-spline Surface Reconstruction. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(1), 22-32.
- Sahin, T., Unel, M., 2004. *Globally Stabilized 3L Curve Fitting*. Image Analysis and Recognition. Springer Berlin Heidelberg, 495-502.
- Sahin, T., Unel, M., 2008. Stable Algebraic Surfaces for 3D Object Representation. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 32(2), 127-137.

- Sato, Y., Shinya, Y., Zheng, B., Oishi, T., Ikeuchi, K., 2015. Modeling the Stone Floor based on Excavation Information using Implicit Polynomial. In Machine Vision Applications, 14th IAPR International Conference on IEEE, 65-68.
- Tasdizen, T., Tarel, J.-P., and Cooper, D. B., 2000. Improving the Stability of Algebraic Curves for Applications. IEEE Trans. Image Process., 9(3), 405-416.
- Taubin G., 1991. Estimation of Planar Curves, Surfaces, and Nonplanar Space Curves Defined by Implicit Equations with Applications to Edge and Range Image Segmentation. IEEE Trans. Pattern Analysis Mach. Intell, 13(11), 1115-1138.
- Thingiverse, Erişim Tarihi: 01.08.2015. <http://thingiverse.com>
- Uluçay, Ö., Ertürk, S., 2004. Çözünürlüğü Ayarlanabilir 3-Boyutlu Nesne Modellemesi. 12. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2004), 446-449.
- Verleysen, M., Hlavackova, K., 1994. An Optimized RBF Network for Approximation of Functions. Proceedings European Symposium on Artificial Neural Networks, 175-180.
- Voronoi, G., 1907. Nouvelles Application des Parametres Continus a la Theorie des Formes Quadratiques. Journal für Reine und Angewandte Mat., 133, 97-178.
- Waite, C.T., 1989. The Facial Action Control Editor, FACE: A Parametric Facial Expression Editor for Computer Generated Animation. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- Wikipedia, Ridge Regresyon, Erişim Tarihi: 01.06.2015. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Ridge\\_regresyon](http://tr.wikipedia.org/wiki/Ridge_regresyon)
- William, E.L., Harvey, E.C., 1987. Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. In Computer Graphics, 21(4).
- Yanalak, M., 1997. Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Yükselen, M.A., 2012. HM504 Uygulamalı Sayısal Yöntemler Ders Notları.
- Yirci, M., Ulusoy, İ., 2009. Üç Boyutlu İnsan Yüzü Modellerinin Yeniden Düzenli Olarak Modellenmesi. 17. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2009), 97-100.

- Zhang, B., Molenbroek, J.F.M., 2004. Representation of a Human Head with Bi-Cubic B-Splines Technique based on the Laser Scanning Technique in 3D Surface Anthropometry. *Applied Ergonomics*, 35, 459-465.
- Zhang, Y., Tan, C.L., 2007. Anthropometric Modeling of Faces from Range Scans. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(1), 9-20.
- Zheng, B., Takamatsu, J., Ikeuchi, K., 2007. Adaptively Determining Degrees of Implicit Polynomial Curves and Surfaces. *Proc. Conf. Asian Conf. on Computer Vision*, 4844, 289-300.
- Zhi-chao, J., Yong-min, M., Zhi-hua, Z., 2015. Extraction and Application of Regionalized Implicit Function Feature of 3D Face. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 8(3), 23-40.
- Zhu, H., Yu, Y., Zhou, Y., Du, S., 2016. Dynamic Human Body Modeling Using a Single RGB Camera. *Sensors*, 16(3), 402.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İhsan PENÇE  
Doğum Yeri ve Yılı : Mersin, 1987  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : ihsan\_ce@hotmail.com



## Eğitim Durumu

Lise : Mersin Dumlupınar Lisesi (Y.D.A.), 2005  
Lisans : Süleyman Demirel Üniv., Bilgisayar Mühendisliği, 2010  
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniv., Bilgisayar Mühendisliği, 2012

## Mesleki Deneyim

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Öğrenci İşleri Daire Başkanlığı - 2012-.. (halen)

## Yayımları

Pence, I., Cesmeli, M. S., Senel, F. A., & Cetisli, B., 2016. A New Unconstrained Global Optimization Method based on Clustering and Parabolic Approximation, Expert Systems with Applications, 55, 493-507.

Çeşmeli, M.Ş., Bozkurt, Ö.Ç., Kalkan, A., Pençe, İ., 2015. Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Öğrencilerinin Yönetim ve Bilişim Derslerindeki Başarılarının Veri Madenciliği Yöntemleri ile İncelenmesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 1(2), 36-47.

Pençe, İ., Şişeci Çeşmeli, M., Aslan, G., 2015. Bulanık Sayılarda Dört İşlemi ve İki Bulanık Sayı Arasındaki Uzaklığı Hesaplayan Görsel Ders, 2. Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, 8-10 Ekim, Erzurum.

Pençe, İ., 2015. El Yazısı Karakterlerinin Kapalı Cebirsel Eğrilerle 3B Modellenmesi, Türkiye Alim Kitapları Yayınevi, OmniScriptum Marketing DEU, Almanya, ISBN: 978-3-639-81030-1.

Çeşmeli, M.Ş., Bozkurt, Ö.Ç., Kalkan, A., Pençe, İ., 2014. Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Öğrencilerinin Yönetim ve Bilişim Derslerindeki Başarılarının Veri Madenciliği Yöntemleri ile İncelenmesi. Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi (YBS.2014), Boğaziçi Üniversitesi, 16-17 Ekim.

Pençe, İ., Cetişli, B. 2013. El Yazı Karakterlerinin Kapalı Cebirsel Eğrilerle Modellenmesi ve Sınıflandırılması, Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, BEEM Özel Sayısı, 5(1), 1-7.

Pençe, İ., Cetişli, B., 2012. El Yazı Karakterlerinin Kapalı Cebirsel Eğrilerle Modellenmesi ve Sınıflandırılması, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU 2012), 3-4 Temmuz, Trabzon.

SCI, SSCI VE AHCI TARAFINDAN TARANAN DERGİLERDE HAKEMLİK

Applied Soft Computing, 2014. Dynamic screening of autistic children in various mental states using pattern of connectivity between brain regions (Dynamic screening of autistic children using connectivity between the brain regions estimated by EEG correlates of affective faces perception).