## BİLGİSAYARLA GÖRÜDE AYRIT SAPTAMA, TONDAN ŞEKİL BULMA, GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA, PARMAKİZİ TANIMA VE SIKIŞTIRMA PROBLEMLERİNİN DÜZENLİLEŞTİRME KURAMI ÇERÇEVESİNCE ÇÖZÜLMESİ

PROJE NO : EEEAG-154

MUHİTTİN GÖKMEN

ARALIK 1997 İSTANBUL

# İÇİNDEKİLER

60

ŞEKİL LİST	ΓESİ	iii				
TABLO LİS	STESİ	vii				
ÖZ		viii				
BÖLÜM 1	. GİRİŞ	1				
BÖLÜM 2	. LİTERATÜR ÖZETİ	1				
2.1	Görüntü Gösterilimi ve Genelleştirilmiş Ayrıt Saptayıcı	2				
2.2	Yırtılabilir Zar Yardımı ile Görüntü Sıkıştırma	2				
2.3	Tondan Şekil Bulma	3				
2.4	Parmakizi Tanıma ve Sıkıştırma	3				
2.5	Referanslar	4				
BÖLÜM 3	. YÖNTEM	6				
3.1	Görüntü Gösterilimi ve Ayrıt Saptama	6				
3.2	Yırtılabilir Zar Modeli ile Görüntü Sıkıştırma	14				
3.3	Tondan Şekil Bulma	17				
3.4	Kırkayak Modeline Dayalı Görüntü Kodlama					
3.5	Parmakizi Tanıma ve Sıkıştırma	47				
BÖLÜM 4	. SONUÇ VE ÖNERİLER	56				

**BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU** 

# ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1	$R(x;\lambda,\tau)$ ve $G(x;\lambda,\tau)$ Filtreleri
Şekil 1(a)	Durum 1, $\Delta > 0$
Şekil 1(b)	Durum 2, $\Delta < 0$
Şekil 1(c)	Durum 3, , $\Delta = 0$ 10
Şekil 1(d)	Durum 4, B=0 10
Şekil 1(e)	Durum 5, A=0 11
Şekil 2	Lenna görüntüsü için
Şekil 2(a)	Ayrıtların λτ-uzayı gösterilimi 12
Şekil 2(b)	Görüntünün λτ-uzayı gösterilimi 13
Şekil 3(a)	Özgün Saat Görüntüsü, çizgi işlevleri, kurulan görüntü 16
Şekil 3(b)	Özgün Lenna Görüntüsü, çizgi işlevleri, kurulan görüntü 16
Şekil 3(c)	Özgün Ev Görüntüsü, çizgi işlevleri, kurulan görüntü 16
Şekil 4	Mozart test görüntüsü
Şekil 4(a)	Özgün yükseklik haritasının 3B çizimi 19
Şekil 4(b)	Yapay görüntüler oluşturmak için kullanılan özgün yükseklik
	haritası 19
Şekil 4(c)	$(\eta=250, \tau=45^{\circ}, \sigma=45^{\circ})$ parametreleri ile elde edilen yapay giriş görüntüsü 19
Şekil 4(d)	Gerçek yükseklik haritasından alınan bir kesit
Şekil 5	Hata terimleri
Şekil 5(a)	Enerji 21
Şekil 5(b) Şekil 5(c)	p-q hatası
Şekil 6	μ=1 ve β=1 için $\lambda$ `nın farklı değerleri ile elde edilen TŞB
	sonuçları
Şekil 7	$\lambda=5$ (sürekli), $\lambda=1$ (çizgili), $\lambda=0.01$ (noktalı çizgili) için düzleştirme etkisini gösteren tek boyulu kesitler ( $\mu=1$ ve $\beta=0$ )
Şekil 8	Hata terimleri
Şekil 8(a)	Enerji

Şekil 8(b) Şekil 8(c)	p-q hatası	3 3
Şekil 9	$\lambda$ =1 ve $\beta$ =0 için $\mu$ `nün farklı değerleri ile elde edilen TŞB	
	sonuçları	4
Şekil 10	$\mu$ =5 (sürekli), $\mu$ =1 (çizgili), $\mu$ =0.01 (noktalı çizgili) için düzleştirme etkisini gösteren tek boyulu kesitler ( $\lambda$ =1 ve $\beta$ =0) 24	4
Şekil 11	Hata terimleri	
Şekil 11(a)	Enerji	5
Şekil 11(b) Şekil 11(c)	p- $q$ hatası	5 5
Şekil 12	$\lambda$ =1 ve µ=1 için $\beta$ `nın farklı değerleri ile elde edilen TŞB	
	sonuçları 20	6
Şekil 13	$\beta=5$ (sürekli), $\beta=1$ (çizgili), $\beta=0.01$ (noktalı çizgili) için düzleştirme etkisini gösteren tek boyulu kesitler ( $\lambda=1$ ve $\mu=1$ ) 20	6
Şekil 14	Hata terimleri	
Şekil 14(a)	Enerji	9
Şekil 14(b) Şekil 14(c)	p- $q$ hatası	9 9
Şekil 15	$\lambda=0$ ve $\mu=1$ için $\beta$ `nın farklı değerleri ile elde edilen TŞB	
	sonuçları 30	0
Şekil 16	$\beta=5$ (sürekli), $\beta=1$ (çizgili), $\beta=0.01$ (noktalı çizgili) için düzleştirme etkisini gösteren tek boyulu kesitler ( $\lambda=0$ ve $\mu=1$ ) 30	0
Şekil 17	Giriş görüntüsünün kısmi türevleri 3	1
Şekil 18	$(\lambda=1, \mu=1 \text{ ve } \beta=0)$ için kurulan görüntünün kısmi türevleri 3	1
Şekil 19	$(\lambda=1, \mu=1 \text{ ve } \beta=5)$ için kurulan görüntünün kısmi türevleri	1
Şekil 20	Mozart özgün yükseklik haritasından $\eta$ =250, $\tau$ =45° ve $\sigma$ =45° için elde edilen giriş görüntüsü	2
Şekil 21	Uyarlanır olmayan TŞB için elde edilen sonuç 3	2
Şekil 22	Uyarlanır TŞB için elde edilen sonuç	2
Şekil 23	Uyarlanır olmayan TŞB için elde edilen sonuç 3.	3
Şekil 24	Uyarlanır TŞB için elde edilen sonuç 3-	4
Şekil 25	Midilli Görüntüsü	

Şekil 25(a)	Özgün yükseklik haritasının 3B çizimi	5
Şekil 25(b) Şekil 25(c)	Özgün yükseklik haritası	5 5
Şekil 26(a)	Uyarlanır TŞB ile kurulan yükseklik haritası	5
Şekil 26(b)	η=250, τ=45° ve σ=45° için elde üretilen TŞB sonucu	5
Şekil 27(a)	Ayrıt Kesiti	9
Şekil 27(b)	Ev görüntüsü üzerine bindirilmiş model 3	9
Şekil 28	(a,b,c,d,e,f,g,h) Çeşitli oranlarda seçilen ayrıt parçaları için kurulan Lenna görüntüleri	
Şekil 29	4. Soldan-sağa doğru : Özgün Görüntü, GAS ile saptanan ayrıtlar,	3
	Verilen Sıkıştırma Oranları için Kurulan Görüntüler 4	4
Şekil 30	Verilen Sıkıştırma Oranları için Kurulan Görüntüler 4	5
Şekil 31	$\tau=0, \tau=0.5$ ve $\tau=1$ için çekirdek fonksiyonu 4	6
Şekil 32	Farklı oranlarda gürültü bindirilmiş ayrıt kesitleri için hesaplanmı	IŞ
	optimal model parametreleri 4	6
Şekil 33	Model-tabanlı Parmakizi Sıkıştırma	
Şekil 33(a)	Özgün Parmakizi Görüntüsü48	8
Şekil 33(b)	Uyarlanır Eşikleme ile Elde Edilen Tepe ve Vadi Haritası 4	9
Şekil 33(c)	İnceltilmiş Tepe ve Vadi Haritası 50	0
Şekil 34	Özgün Parmakizi görüntüsü ve Model-tabanlı sıkıştırma yöntemiyle kurulan görüntü çiftleri	
Şekil 34(a)	F01.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 269181, Sıkıştırma Oranı : 43.71 5	1
Şekil 34(b)	F02.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 202181, Sıkıştırma Oranı : 42.55 5	1
Şekil 34(c)	F21.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 375081, Sıkıştırma Oranı : 44.38 5	1
Şekil 34(d)	F34.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 259556, Sıkıştırma Oranı : 40.09 5	2
Şekil 34(e)	F35.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 182781, Sıkıştırma Oranı : 44.58 5	2
Şekil 35	Özgün Parmakizi görüntüsü ve Model-tabanlı sıkıştırma yöntemiyle kurulan görüntü çiftleri	
Şekil 35(a)	70/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey 52	3
Şekil 35(b)	35/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey 52	3
Şekil 35(c)	10/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey 53	3
Şekil 35(d)	2 düzeyli kurulan yüzey 53	3
Şekil 36(a)	70/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey 54	4

Şekil 36(b)	40/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey	54
Şekil 36(c)	20/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey	54
Şekil 36(d)	10/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey	54
Şekil 36(e)	(a) ile (c) arasındaki hata yüzeyi	54

# TABLO LİSTESİ

Tablo 1	$G(x;\lambda,\tau)$ and $R(x;\lambda,\tau)$ Filtreleri	8
Tablo 2	Yapay ve Gerçek Görüntüler için elde edilen Sıkıştırma Oranları	. 15
Tablo 3	Yapay ve Gerçek Görüntüler için elde edilen Sıkıştırma Oranları	42
Tablo 4	Veritabanında Yeralan Bazı Parmakizi Görüntüleri için elde edilen	
	Sıkıştırma Oranları	55

## BİLGİSAYARLA GÖRÜDE AYRIT SAPTAMA, TONDAN ŞEKİL BULMA, GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA, PARMAK İZİ TANIMA VE SIKIŞTIRMA PROBLEMLERİNİN DÜZENLİLEŞTİRME KURAMI ÇERÇEVESİNCE ÇÖZÜLMESİ

#### 1 GİRİŞ

Görüntü İşleme ve Bilgisayarla Görü konulu bu projede, Genelleştirilmiş Ayrıt Saptayıcı (GAS) ve  $\lambda \tau$ -uzayında görüntü gösterilimi, yırtılabilir zar modeli kullanılarak görüntü sıkıştırma, tondan şekil bulma ve parmakizi tanıma ve sıkıştırma konuları ele alınmıştır. Bu problemlerin birlikte ele alınmalarının nedenlerinden biri, bunlara düzenlileştirme kuramının birleştirici çatısı altında çözüm bulmaya çalışılmasıdır.

Ayrıt saptama konusunda yapılacak çalışmada, var olan ayrıt saptama algoritmalarını bir çatı altında toplayan ve yeni ayrı saptayıcıların türetilmesine olanak sağlayan genel bir çerçevenin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu konuda, NFS ile ortak bir proje de yürütülmüş ve 1997 yılında tamamlanmıştır.

Yırtılabilir zar modeli kullanılarak görüntü sıkıştırma konusunda ise, nesne sınırlarının sağladığı az sayıda ayrıt kullanılarak görüntü sıkıştırılmaya çalışılmış ve bu konuda özgün bir yöntem geliştirilmiştir.

Tondan şekil bulma probleminde iki boyutlu görüntüdeki ton değişimlerinden yararlanılarak 3-boyutlu nesne şekillerinin elde edilmesi için özgün bir yöntem geliştirilmiştir.

Parmakizi tanıma ve sıkıştırma konusunda ise gurubumuzda belirli bir aşamaya gelmiş olan parmakizlerinin iyileştirilmesi, tekil noktalarının bulunması ve sınıflandırılması konularında çalışmalar toparlanmış ve düzenlileştirme kuramına dayalı modelleme ile sıkıştırılmıştır.

### 2 LİTERATÜR ÖZETİ

Görüntü İşleme ve Bilgisayarla Görü, gerek ele aldığı konuların önemi, gerekse bir çok probleme henüz istenen düzeyde çözümün bulunamaması nedeniyle üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı konulardır. Burada, ele alınan konular hakkında kısa bir literatür çalışması verilmektedir.

#### 2.1 Görüntü Gösterilimi ve Genelleştirilmiş Ayrıt Saptayıcı

Bilgisayarla görüde önemli sorunlardan biri, ham benek değerlerinden oluşan giriş görüntüsünün, problemin çözümüne uygun bir gösterilime dönüştürülmesidir. Bu amaçla kullanılan gösterilimlerinden biri, görüntüdeki öz niteliklerin ölçeklerine göre ayrıştırılmasına olanak sağlayan çok ölçekli gösterilimdir [1,2,3]. Bu gösterilim, genellikle ölçeğin bir parametre yardımı ile kontrol edilebildiği Gauss süzgeci ile elde edilmekte ve bu parametreyi belirli bir aralıkta değiştirip görüntüyü bu süzgeçlerle süzerek görüntünün değişik ölçeklerdeki ifadeleri elde edilmektedir. Burada böyle bir gösterilimi değişik süzgeçler kullanarak bulabilmenize olanak sağlayan ve görüntüyü tek boyutlu ölçek uzayı yerine iki boyutlu bir ölçek-süreklilik uzayında ayrıştıran bir gösterilimin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Bir görüntüdeki en zengin ve en seyrek gösterilimlerden biri nesne sınırlarına, aydınlatmadaki ve nesne yüzeylerinin dokularındaki hızlı değişimlere karşılık düşen ayrıtların oluşturduğu gösterilimdir. Bir indirgenmiş bilgiden, nesnelerin şekline ilişkin özellikler kolayca elde edilebileceği için, ayrıt saptama bir çok bilgisayarla görü sisteminin temel elemanlarından biridir. Ayrıca yüksek düzeyde uygulanan işlemlerin başarımının, ayrıt saptama algoritmasının başarımına doğrudan bağlı olması, problemin önemini daha da arttırmaktadır. Bu konuda yapılan en önemli çalışmalar arasında, Gauss eğrisini kullanan Marr-Hilreth [4] ve Canny [3] ayrıt saptayıcıları yer almaktadır. Daha sonra Shen-Castan [5] ve Deriche [6] optimum ayrıt saptayıcılar geliştirmişlerdir. Düzenlileştirme kuramı ile süzgeçleme arasındaki ilişki Blake ve Zisserman [7], Gökmen [2] ve Paggio [8] tarafından ele alınmış ve bu ilişki yardımıyla zar ve levha modellerine ilişkin  $R_1$  ve  $R_2$ -süzgeçleri elde edilmiştir.

#### 2.2 Yırtılabilir Zar Yardımıyla Görüntü Sıkıştırma

Bir görüntüde benek değerlerinin hızlı değişim gösterdiği yerlere karşılık gelen ayrıtlar, o görüntünün içeriğini açıklamak amacıyla çok önemli bilgiler sunar. Bunaa ek olarak bu ayrıtların sayısı görüntüyü oluşturan benek noktalarının sayısına oranla oldukça azdır.

Literatürde bu süreksizlik noktalarının çevresindeki bilgi kodlanarak görüntünün sıkıştırılması amacıyla yapılan çalışmalarda genellikle ayrıtlar önce bir ayrıt saptayıcıyla saptanmakta ve ayrıt çevresindeki geçiş bölgesine ilişkin ek bilgiler de kullanılarak görüntü kodlanmakta, kod çözücüde ise aradeğerleme gibi kodlamada yapılan oldukça farklı yöntemlerle görüntü tekrar oluşturulmaya çalışılmaktadır [9,10]. Burada ele alınan yaklaşımda ise hem ayrıtların elde edilmesinde hem de görüntünün oluşturulmasında aynı model kullanılmaktadır [11]. Ayrıca model, ayrıt çevresinde oldukça az sayıda bilgi kullanılarak görüntünün yeniden oluşturulmasına olanak sağlanmaktadır.

#### 2.3 Tondan Şekil Bulma

Tek bir görüntüdeki ton değişiminden nesnelerin 3-Boyutlu şekillerin bulunması, bilgisayarla görünün zor problemlerinden biridir. Bu konuda ilk çalışmalar Horn [12] tarafından başlatılmış ve karakteristik band denklemleri çözülmüştür. Start [12] kapalı bir eğri boyunca değişimin sıfır olması koşulunu kullnmış, Ikeuchi ve Horn [12] ise problemi *pq*-domeninden *fg*-domenine taşıyarak çözme yoluna gitmişler ve aynı zamanda düzlük koşulunu kullanmışlardır. Zheng ve Chelappa [18] tarafından geliştirilen diğer bir yaklaşımda ise düzlük terimi kaldırılarak, giriş resminin türevinin, oluşturulan yüzeyin kısmi türevlerine yakın olması koşulu kullanılmıştır. Yöntemler incelendiğinde, her birinin ancaak belirli özellikte veriler üzerinde etkili olduğu, genel olarak sorunu çözemedikleri görülmektedir.

#### 2.4 Parmakizi Tanıma ve Sıkıştırma

Sayısal parmakizi görüntülerinin tanınması, genelde bir iyileştirme sürecini izleyen öz nitelik çıkarımı ve sınıflandırma süreçlerinden oluşmaktadır. Parmakizlerinin iyileştirilmesi için genellikle uyarlanır süzgeçleme [13], yönsel süzgeçleme ve Fourier domeninde pencereleme [14] yöntemleri kullanılmaktadır. Öz nitelik olarak delta ve çekirdek noktaları gibi tekil noktalar kullanılmaktadır [15]. Yine parmakizi hatlarının uç noktaları ve dallanma noktaları sınıflandırmada sıkça kullanılan öz niteliklerin arasında yer almaktadır [16].

Parmakizlerinin sıkıştırılması için benek değerleri arasındaki farkların değişken uzunluklu entropi kodlaması gibi genel yöntemlere ek olarak, parmakizi hatlarının üçüncü dereceden uzay eğrileri ile modellenmesi üzerine de çalışmalar yapılmıştır [17].

#### 2.5 **REFERANSLAR**

[1] A. P. Witkin, Scale Space Filtering. In Proc. 8<sup>th</sup> Int. Joint Conference on AI, sayfa 1019-1022, Karlsruhe, Bati Almanya, 1983.

[2] M. Gökmen ve C.C. Li, Multiscale edge detection using first order *R*-filter. In Proceedings of IEEE Conference on Pattern Recognition, The Hague, Hollanda, sayfa 307-310, 1992.

[3] J. F. Canny, A computational approach to edge detection,. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8, sayfa 679-698, 1986.

[4] D. Marr ve E. Hildreth. Theory of edge detection. In Proceedings of Royal Society , sayfa 187-217, London B, 207, 1980.

[5] J. Shen ve S. Castan. An optimal linear operator for edge detection. In Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognitioni sayfa 109-114, 1986.

[6] R. Deriche. Optimal edge detection using recursive filtering. In Proceedings of First International Conference on Computer Vision, sayfa 501-505, 1987.

[7] A. Blake ve A. Zisserman. Visual Reconstruction. MIT Press. London, 1987.

[8] T. Paggio, H. Voorhees ve A. Yuille. A regularized solution to edge detection. Teknik Rapor, MIT AI Lab., AI Memo 833, 1985.

[9] M. Kunt, M. Benard ve R. Leonardi. Recent results in high compression image coding. IEEE Transactions on Circuits and Systems, Sayı 34, sayfa 4:1306-1336, 1987.

[10] C. Gu ve M. Kunt. Contour simplification by a new nonlinear ilter for region-based coding. In Proceedings of Visual Communications and Image Processing'94, sayfa 1180-1191, Chicago, Illinois, Eylül 1994.

[11] T. Acar ve M. Gökmen. Image coding using weak memrane model of images. In Proceedings of Visual Communications and Image Processing'94, sayfa 1221-1230, Chicago, Illinois, Eylül 1994.

[12] B.K.P. Horn ve M. Brooks. Shape From Shading. The MIT Press, Cambridge Massachusetts, 1989.

[13] J.S. Lim. Two-Dimensional Signal and Image Processing. Prentice Hall, Anglewood Cliffs, New Jersey, 1990.

[14] B.G. Sherlock, D.M. Monro ve K. Millard. Fingerprint enhancement bby directional fourier filtering. IEE Proceedings – Vision and Image Processing, 141, sayı 2, 1994.

[15] S. Srinivasan ve N.N. Murthy. Detection of singular points in fingerprint images. Pattern Recognition, 2:139-153, 1992.

[16] A. Tojo, M. Kawagoe. Fingerprint pattern classification. Pattern Recognition, 17, sayfa 3:295-303, 1984.

[17] M. Chong, R. Gay, H. Tan ve J. Liu. Automatic representation of fingerprint for data compression by B-Spline function. Pattern Recognition, 25, sayfa 10:1199-1210, 1992.

[18] Q. Zheng ve R. Chelappa. Estimation of the illuminant direction, albedo and shape from shading. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 13, No 7, 1991.

#### **3 YÖNTEM**

Bu projede, bilgisayarla görünün önemli problemlerinden olan genelleştirilmiş ayrıt saptayıcı ve  $\lambda \tau$ -uzayında görüntü gösterilimi, yırtılabilir zar modeli ile görüntü sıkıştırma, tondan şekil bulma (SFS) ve parmakizi tanıma ve sıkıştırma konularında araştırma çalışmaları yürütülmüştür. Projede genel amaçlı bir ayrıt saptama yöntemi ve durağan/hareketli görüntü sıkıştırma amacıyla özgün bir yöntem geliştirilmiştir ve iki boyutlu görüntüdeki ton değişimlerinden yararlanılarak 3 boyutlu nesne şekillerini elde etmek amacıyla özgün bir yöntem geliştirilmiştir ve başarımı endüstriyel parçalar üzerinde denenerek, parmakizini tanıyan ve model temelli yaklaşımla sıkıştıran bir yöntem gerçekleştirilerek başarımı incelenmiştir.

Projede ele alınan problemlerinin çözülmesinde kullanılan yaklaşım her bir problem için aşağıda özetlenmektedir.

#### 3.1 Görüntü Gösterilimi ve Ayrıt Saptama

Çok ölçekli görüntü gösterilimini genelleştirmek amacı ile önce zar enerji fonksiyonelini

$$E_Z(f) = \iint_{\Omega} \left( f(x, y) - d(x, y) \right)^2 dx dy + \lambda \iint_{\Omega} \left( f_x^2 + f_y^2 \right) dx dy \tag{1}$$

veya levha enerji fonksiyonelini

$$E_{L}(f) = \iint_{\Omega} (f(x, y) - d(x, y))^{2} dx dy + \lambda \iint_{\Omega} (f_{xx}^{2} + 2f_{xy}^{2} + f_{yy}^{2}) dx dy$$
(2)

en aza indiren çözüm yardımı ile çok ölçekli çözümün nasıl elde edileceği ele alınmış ve daha sonra bu fonksiyonellere karşı düşen süzgeçler incelenmiştir.  $\lambda \tau$  gösterilimi, bu enerji fonksiyonellerinin bileşiminden

$$E_{\lambda\tau}(f) = \iint_{\Omega} \beta(f-d)^2 + \lambda[(1-\tau)(f_x^2 + f_y^2) + \tau(f_{xx}^2 + 2f_{xy}^2 + f_{yy}^2)]dxdy$$
(3)

şeklinde elde edilen karma modelden yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu model yardımı ile, bir yandan  $\lambda$  parametresi süpürülerek çok ölçekli gösterilim elde edilirken, diğer yandan  $\tau$ parametresi ile çözümün süreklilik derecesi de değiştirilebilmektedir. Böylece görüntü,  $\lambda \tau$ uzayında ölçek ve süreklilik eksenlerinde ayrıştırılmaktadır. Aslında bu gösterilim, görüntünün hem ölçek hem Sobolev uzayında örneklenmesinden oluşmaktadır.

Genelleştirilmiş ayrıt saptayıcı ise bu karma model ile süzgeçleme arasındaki ilişkinin bulunmasına dayanmaktadır. Bu amaçla önce karma enerji fonksiyoneline karşı gelen Euler-Lagrange denklemi

$$\lambda \tau \left[ f_{xxxx} + 2f_{xxyy} + f_{yyyy} \right] - \lambda (1 - \tau) \left[ f_{xx} + f_{yy} \right] + f = d \tag{4}$$

elde edilmiş ve daha sonra elde edilen bu diferansiyel denklemin çözümünü veren Green fonksiyonu bulunmuştur. Bu sayede, şekil ve ölçeği iki parametre yardımı ile kontrol edilebilen genelleştirilmiş süzgeç elde edilmiştir. Bu süzgeçler  $G(x;\lambda,\tau)$  ve  $R(x;\lambda,\tau)$  ile gösterilmiştir. Burada  $R(x;\lambda,\tau)$  yumuşatma süzgecini ve  $G(x;\lambda,\tau)$  ayrıt saptayıcı süzgecini göstermektedir.  $R(x;\lambda,\tau)$  filtresi doğrudan (4) kısmi diferansiyel denkleminin çözümünden elde edilirken,  $G(x;\lambda,\tau)$  filtreleri  $R(x;\lambda,\tau)$  filtresi *x*'e göre türetilerek elde edilmektedir. (4) kısmi diferansiyel denkleminin çözümü,  $B = \lambda (1-\tau)$  ve  $A = \lambda \tau$  olmak üzere  $\Delta = B^2 - 4A$ 'nın işaretine ve A=0, B=0 olmasına göre beş farklı biçimde fonksiyon üretmektedir. Bu süzgeçler,  $G(x,\lambda,\tau)$  ve  $R(x;\lambda,\tau)$ , Tablo-1'de verilmiştir. Şekil-1'de ise bu beş farklı süzgecin çizimi verilmektedir.

Ayrıca bu iki parametrenin, elde edilen ayrıtlar üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Şekil-2'de Lenna görüntüsünün λτ-uzayı gösterilimi verilmiştir.

Genelleştirilmiş ayrıt saptayıcının analitik ifadesinden  $\lambda$  ve  $\tau$ 'nun herhangi bir değeri için süzgeç ifadesini elde etmek olasıdır. Örneğin  $\tau=0$  için beklendiği gibi  $R_1(x;\tau)$  süzgeci,  $\tau=1$  için  $R_2(x;\tau)$  süzgeci elde edilmektedir.  $\Delta=0$  eşitliğini sağlayan  $\lambda$  ve  $\tau$  değerleri için ise Deriche [6] süzgecinin elde edildiği saptanmıştır. Ayrıt saptamada ilk kez ulaşılan bu genelleme yardımı ile hem var olan ayrıt saptayıcılar elde edilmekte hem de yeni süzgeçler üretilebilmektedir.

Durum	$G(x;\lambda,\tau)$	$R(x;\lambda,\tau)$					
1. Δ >0	$G(x;\lambda,\tau) = \frac{sign(x)}{2A(b^2 - a^2)} (e^{-b x } - e^{-a x })$	$R(x;\lambda,\tau) = \frac{1}{2A(b^2 - a^2)} \left[ \frac{e^{-a x }}{a} - \frac{e^{-b x }}{b} \right]$					
	$a = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B}}{2}}$	$\overline{B^2 - 4A}$					
	$b = \sqrt{\frac{B - \sqrt{B}}{2}}$	$\frac{B^2 - 4A}{A}$					
<b>2.</b> <i>Δ</i> <0	$G(x;\lambda,\tau) = \frac{-1}{4Aab} e^{-b x } \sin(ax)$	$R(x;\lambda,\tau) = \frac{e^{b x }}{4\sqrt{A}} \left[ \frac{\cos(a x )}{b} + \frac{\sin(a x )}{a} \right]$					
	$a = \frac{1}{A^{\frac{1}{4}}} \cos(\frac{1}{2}\arctan\sqrt{\frac{4A}{B^2}} - 1)$						
	$b = \frac{1}{A^{\frac{1}{4}}} \sin(\frac{1}{2}\arctan\sqrt{\frac{4A}{B^2}-1})$						
<b>3</b> . Δ =0	$G(x;\lambda,\tau) = \frac{-a}{2B} x e^{-a x }$	$R(x;\lambda,\tau) = \frac{e^{-a x }}{2B} \left[\frac{1}{a} +  x \right]$					
	$a = \sqrt{\frac{1}{2}}$	$\frac{B}{A}$					
4. B=0	$G(x;\lambda,\tau) = \frac{-1}{2\sqrt{A}} e^{-a x } \sin a x $	$R(x;\lambda,\tau) = \frac{e^{-a x }}{4\sqrt{Aa}}(\cos a x  + \sin a x )$					
$a = \frac{-1}{\sqrt{2}A^{\frac{1}{4}}}$							
5. A=0	$G(x;\lambda,\tau) = \frac{-\operatorname{sgn}(x)}{B} e^{\frac{- x }{\sqrt{B}}}$	$R(x;\lambda,\tau) = \frac{e^{\frac{- x }{\sqrt{B}}}}{\sqrt{B}}$					

**Tablo-1**  $G(x,\lambda,\tau)$  ve  $R(x;\lambda,\tau)$  Filtreleri







(b) Durum 2,  $\Delta < 0$ 



(c) Durum 3,  $\Delta = 0$ 



(d) Durum 4, B=0



**Şekil-1**  $R(x;\lambda,\tau)$  ve  $G(x;\lambda,\tau)$  Filtreleri

Yine bu genelleme sayesinde Poggio [8] tarafından öne sürülen kaba yaklaşımın aksine Gauss süzgecine en yakın süzgecin  $R_2$  değil,  $\Delta$ =0 koşulunu sağlayan parametre değerleri ile elde edilen süzgeç olduğu saptanmıştır. Değişik uygulamaların değişik süzgeçler gerektirebileceği ve aranan çözümlerin genelleştirilmiş ayrıt saptayıcı ile üretilebileceği Şekil-2(a)'daki sonuçlar ile gösterilmektedir.



(a)



Şekil-2Lenna görüntüsü için<br/>(a) Ayrıtların λτ-uzayı gösterilimi<br/>(b) Görüntünün λτ-uzayı gösterilimi

#### 3.2 Yırtılabilir Zar Modeli İle Görüntü Sıkıştırma

Bu çalışmada model temelli bir görüntü sıkıştırma yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem, benek değerlerindeki süreksizliklerin görüntüyü tanımlama amacı ile kullanılmalarına dayanmaktadır. Genelde süreksizlikler dışındaki bölgelerde benek değerleri ani değişimler göstermezler. Bu özellikten yararlanarak, ayrıtlar boyunca bilinen benek değerlerine, düz bölgelerin benek değerlerini elde etmek olasıdır. İki boyutlu görüntüde, ayrıtlara ilişkin veri oldukça seyrek bir veri oluşturur, bu görüntüde veri yalnızca ayrıtlar boyunca benek değerleri olarak bulunmaktadır. Görüntünün tümü, uygun bir yüzey kurma algoritması kullanılarak, süreksizliklerin her iki tarafındaki benek değerlerinden yola çıkarak yeniden oluşturulabilir.

Kullanılan yaklaşımın önemli özelliklerinden biri hem kodlama ve hem de kod çözme amacı ile yırtılabilir zar modelinin kullanılabilmesidir. Kodlama iki bölümden oluşmaktadır. Önce yırtılabilir zar modeli yardımı ile ayrıt saptama gerçeklenmekte, daha sonra ayrıt yerlerinin oluşturduğu ikili görüntü ile bu ayrıtların iki yanındaki benek değerleri kodlanmaktadır. Bu verilerin kodlanmasında kullanılan yöntem, kodlamanın başarımını doğrudan etkiler. Bu nedenle bu çalışmada ikili görüntünün ve seyrek benek değerlerinin etkin bir şekilde kodlanması ele alınmaktadır.

Yırtılabilir zar modelinde, görüntü, dışbükey bir fonksiyonelin en aza indirgenmesi ile elde edilen parça parça sürekli bir fonksiyon ile modellenmektedir. Dışbükey enerji fonksiyoneli,

$$E = D + S + P$$

$$D = \sum_{i} \sum_{j} \beta_{i,j} (d_{i,j} - u_{i,j})^{2}$$

$$S = \lambda^{2} \sum_{i} \sum_{j} [(1 - l_{h_{i,j}})(u_{i,j} - u_{i-1,j})^{2} + (1 - l_{v_{i,j}})(u_{i,j} - u_{i,j-1})^{2}]$$

$$P = \alpha \sum_{i} \sum_{j} l_{h_{i,j}} + l_{v_{i,j}}$$
(5)

ile verilmektedir. Bu denklemlerden *d* giriş görüntüsü, *u* kurulan yüzey,  $\lambda$  ise düzlüğü kontrol eden düzenlileştirme parametresidir.  $l_v$  ve  $l_h$  sıfır yada bir değeri alabilen düşey ve yatay çizgi işlevleridir.  $\beta$  fonksiyonu verinin seyrekliğini belirlemekte kullanılmaktadır.

Kod çözme aşamasında, önce ayrıt yerlerini belirten ikili görüntü ve ayrıtlar çevresindeki benek değerleri kodlanmış veriden elde edilmekte ve daha sonra bu seyrek veriden yırtılabilir zar modeli yardımı ile yoğun yüzey yani görüntü oluşturulmaktadır. Durağan görüntüler üzerinde denenen yaklaşım sonra hareketli görüntülere uygulanacak ve yalnızca her bir çerçevede elde edilen ayrıtların devimini saptanıp kodlanarak sıkıştırma elde edilmesi düşünülmüştür.

Yöntem değişik yapay ve gerçek görüntülere uygulanmış, sonuçlar nical ve nitel olarak değerlendirilmiştir. Kodlama aşamasında, yırtılabilir zar modeli ayrıtların saptanması için kullanılırken, aynı model kod çözme aşamasında yüzey kurma amacıyla kullanılmakta vve bu, farklı  $\lambda$  değerleri kullanılmasını gerektirmektedir.Tablo-2`de elde edilen sonuçlarda, kodlama aşamasında parametrelerin değerleri  $\lambda$  için 0.8 ve  $\alpha$  için 250`dir. Kod çözme aşamasında  $\lambda = 6$  değeri kullanılmıştır. Şekil-3`de gerçek görüntüler üzerinde elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Bu yöntemin önemli özelliklerinden biri sıkıştırma oranı arttığında değişimin, giderek daha çok ayrıntının kaybolması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bilindiği gibi dönüşüm temelli sıkıştırma yöntemlerinde bu değişim görüntünün giderek düzleşmesi ve bulanıklaşması olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemde ise ayrıntılar kaybolsa da ayrıntılardaki keskin geçişler bozulmadığından görüntünün önemli özellikleri korunmaktadır.

Görüntü	Boyut	Çizgi	Veri	Kodlanan	Toplam	SO
	(bytes)	İşlevi	Boyutu	Veri		
CHECKER B.	16465	199	1516	213	412	40:1
BARS	16465	706	4266	582	1288	25:1
HOUSE	65106	2387	7364	6065	8452	8:1
LENA	65106	4567	11864	11895	16462	4:1
BRAIN	30706	5622	11582	12159	17781	1.7:1
CLOCK	65106	5649	8673	7978	10858	6:1

Tablo-2 Yapay ve Gerçek Görüntüler için elde edilen Sıkıştırma Oranları



## Şekil-3

(Soldan sağa doğru)

- (a) Özgün Saat görüntüsü, çizgi işlevleri, kurulan görüntü,
- (b) Özgün Lenna görüntüsü, çizgi işlevleri, kurulan görüntü,
- (c) Özgün Ev görüntüsü, çizgi işlevleri, kurulan görüntü,

#### 3.3 Tondan Şekil Bulma

Tondan Şekil Bulma (TŞB) problemlerinde, nesne yüzeyi ve ışık kaynağı ile görüntüyü oluşturan benek değerleri arasındaki ilişki Yansıma Haritası (Reflectance Map) R(p,q) ile belirlenir. Kurulacak z yüzeyinin kısmi türevleri,  $p=\partial z/\partial x$  ve  $q=\partial z/\partial y$ , görüntü yansıtma denklemi

$$I(x, y) = R(p, q)$$
(6)

yardımıyla hesaplanır. Böylece yansıtma haritası belirlendikten sonra problem (6) eşitliğini en iyi sağlayan z(x,y) yüzeyinin bulunmasına indirgenir.

Görüntü yansıtma denklemi çözümünde izlenen genel bir yaklaşım çözüm üzerinde bir takım sınırlamalar koymak ve problemi bir sınırlanmış optimizasyon problemi olarak ele almaktır. Ikeuchi ve Horn [12] tarafından geliştirilen yöntemde, problem önce (p,q) uzayından (f,g) uzayına bir dönüşüm yardımı ile aktarılır ve

$$\iint (I(x, y) - R(f, g))^2 + \lambda \left(f_x^2 + f_y^2 + g_x^2 + g_y^2\right) dxdy$$
(7)

enerji fonksiyonunu en aza indiren çözüm aranır. Bu fonksiyondaki ikinci terim, çözümün düz olmasını sağlamak amacı ile kullanılmaktadır.

Zheng ve Chelappa [18] tarafından eliştirilen diğer bir yaklaşımda ise düzlük terimi kaldırılarak, giriş resmi I(x,y)'nin kısmi türevlerinin, oluşturulan z yüzeyinin kısmi türevlerine yakın olması koşulu kullanılmaktadır. Bu durumda, enerji fonksiyonu

$$\iint (I(x,y) - R(p,q))^2 + \mu((z_x - p)^2 + (z_y - q)^2) \, dxdy \tag{8}$$

şeklini almaktadır. Bu yaklaşımda, diğer yöntemde kullanılan düzlük koşulunun kullanılmasından kaynaklanan ve yüzeydeki süreksizlik noktalarının aşırı düzleşmesi şeklinde ortaya çıkan sorun da giderilmeye çalışılmıştır.

Bu projede, bu iki yaklaşıma ek olarak yakın zamanda bu konuda yapılan çalışmalar incelenmiş ve düzlük koşulunun görüntü üzerinde yerden yere değişebildiği uyumlu bir sistem geliştirilmiştir. Bu amaçla Ikeuchi ve Horn'un enerji fonksiyonelindeki sabit düzenlileştirme parametresi  $\lambda$ , x ve y'nin bir fonksiyonu olarak değiştirilmiş ve bu parametrenin değerinin her noktada belirlenebilmesi için ardışıl bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem, küre ve vazo gibi yapay veriler ile Michigan State University'den elde edilen gerçek erim verileri üzerinde denenmiştir. Şekil-4(a),(b)'de Mozart test görüntüsüne ait gerçek yükseklik değerlerinin 3B çizimi verilmiştir. Şekil-4(c) 'de ise (a)'da verilen yükseklik değerleri ile  $\eta$ =250,  $\tau$ =45° ve  $\sigma$ =45° için elde edilen yapay giriş görüntüsü verilmektedir. Şekil-4(d)'de ise gerçek yükseklik haritasından alınan bir kesit verilmiştir.

Bu çalışmada TŞB problemlerinde kullanılan sınırlamaların çözüm üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, sınırlamaların tümünü içeren

$$F(p,q,z) = F_{1}(p,q) + F_{2}'(p,q) + \mu F_{3}(p,q,z) + \beta F_{4}(p,q)$$

$$F_{1}(p,q) = \iint (I(x,y) - R(p,q))^{2} dx dy$$

$$F_{2}(p,q) = \iint (p_{x}^{2} + p_{y}^{2} + q_{x}^{2} + q_{y}^{2}) dx dy$$

$$F_{3}(p,q,z) = \iint ((z_{x} - p)^{2} + (z_{y} - q)^{2}) dx dy$$

$$F_{4}(p,q) = \iint ((R_{x} - I_{x})^{2} + (R_{y} - I_{y})^{2}) dx dy$$
(9)

enerji fonksiyoneli tanımlanmıştır. Buradaki  $\lambda$ ,  $\mu$  ve  $\beta$  parametreleri sabit sayılar olup kendileri ile ilişkili sınırlamaların enerji fonksiyoneli içindeki ağırlıklarını belirlemektedir. Yukarıda tanımlanan enerji fonksiyonelini en aza indirme problemi çözülerek, ardışıl bir TŞB yöntemi elde edilmiş ve kullanılmıştır. Her bir sınırlamanın çözüm üzerindeki etkilerini görebilmek amacıyla, algoritma parametreleri  $\lambda$ ,  $\mu$  ve  $\beta$ 'nın değişik kombinasyonları kullanılarak TŞB çözümleri elde edilmiştir. Her durumda, toplam enerji (*F*), ardışıl adımların fonksiyonu olmak üzere grafik olarak çizdirilmiştir. Gerçek yüzey parametreleri (*p*\*,*q*\*) ve gerçek yüzey *z*\* ile, TŞB'den bulunan yüzey parametreleri (*p*,*q*) ve yüzey *z* karşılaştırılmış, ortalama yüzey parametre hataları (*p*-*q* hataları) ve yüzey hataları (*z* hataları) çizdirilerek sonuçların kolaylıkla değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte, TŞB'den elde edilmiş ve sınırlamaların bu resimler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Deneysel sonuçlardan, sınırlamaların çözüm üzerindeki etkileri konusunda elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir :

Düzgünlük sınırlaması, TŞB probleminin tek çözümlü olmasını sağlamak amacıyla kullanılmasına rağmen, sayısal çözüm yönteminin yakınsaması açısından kritik öneme sahiptir. Bu terimin çarpanı olan  $\lambda$  parametresinin çok küçük değerleri için algoritmanın

ıraksaması olasıdır. Diğer taraftan,  $\lambda$ 'nın büyük değerleri, elde edilen yüzeylerin aşırı düzlenmesine neden olmaktadır. Bu düzleme etkisi, TŞB'den bulunan yüzeylerin aydınlatılması ile elde edilen resimlerin bulanık olmasına neden olmaktadır ve bu bulanıklığın miktarı  $\lambda$ 'nın sayısal değerine bağlı olarak değişmektedir. Şekil-5(a),(b),(c)'de  $\lambda$ 'nın üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\mu$ =1,  $\beta$ =0 için sırasıyla enerjideki değişimin, *p*-*q* hatasındaki değişim ve *z* hatasındaki değişim grafikleri verilmiştir. Şekil-6'da ise  $\lambda$ 'nın üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\mu$ =1,  $\beta$ =1 için TŞB'den elde edilen sonuçlar verilmektedir. Şekil-7'de, Şekil-6'da verilen görüntülerden alınan bir kesit verilmiştir.

İntegralin alınabilmesi sınırlaması, düzgünlük sınırlaması gibi, TŞB probleminde çözümün bulunmasında önemli etkilere sahiptir. Bu sınırlamanın enerji fonksiyoneli içindeki ağırlığını belirleyen parametre  $\mu$ `dür ve  $\mu$ `nün çok küçük değerleri, sayısal TŞB yöntemiyle bulunacak çözümlerin hatalı olmasına neden olabilir. Diğer yandan,  $\mu$ `nün büyük değerleri için aşırı düzlenmiş çözümler elde edilmektedir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi, doğru çözümlere ulaşılabilmesi için  $\mu$  parametresinin değerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Şekil-8(a),(b),(c)`de  $\mu$  `nün üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\lambda$ =1,  $\beta$ =0 için sırasıyla enerjideki değişimin, *p-q* hatasındaki değişim ve *z* hatasındaki değişim grafikleri verilmiştir. Şekil-9`da ise  $\mu$ `nün üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\lambda$ =1,  $\beta$ =1 için TŞB`den elde edilen sonuçlar verilmektedir. Şekil-10`da, Şekil-9`da verilen görüntülerden alınan bir kesit verilmiştir.

Türev farkları sınırlamasının etkisi, giriş resminin türevleri  $(I_x,I_y)$  ile TŞB yöntemiyle elde edilen aydınlatılmış resmin türevlerinin  $(R_x,R_y)$  karşılaştırılması sonucu belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sınırlamanın katsayısı olan  $\beta$ `nın sıfır olduğu durumda bulunan kısmi türevler,  $R_x$  ve  $R_y$ , sırasıyla  $I_x$  ve  $I_y$  ile karşılaştırıldığında, bunların birbirlerine benzemedikleri görülmemektedir. Oysa,  $\beta$ `nın sıfırdan farklı olduğu durumda bulunan  $R_x$  ve  $R_y$ `nin giriş resminin türevlerine oldukça benzediği deneysel sonuçlardan kolaylıkla görülmektedir. Diğer taraftan ardışıl çözüm yönteminde,  $\beta$ `nın büyük değerleri için bulunan çözümlerdeki, p ve qhatası ve z hatası, başlangıçta düşük olmasına rağmen, iterasyonların devam etmesi durumunda artmaktadır. Şekil-11(a),(b),(c)`de  $\beta$ `nın üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\lambda=1$ ,  $\mu=1$ için sırasıyla enerjideki değişimin, p-q hatasındaki değişim ve z hatasındaki değişim grafikleri verilmiştir. Şekil-12`de ise  $\beta$ `nın üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\lambda=1$ ,  $\mu=1$  için TŞB`den elde edilen sonuçlar verilmektedir. Şekil-13`de, Şekil-12`de verilen görüntülerden alınan bir kesit verilmiştir. Şekil-14(a),(b),(c)'de  $\beta$ 'nın üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\lambda=0$ ,  $\mu=1$  için sırasıyla enerjideki değişimin, *p-q* hatasındaki değişim ve *z* hatasındaki değişim grafikleri verilmiştir. Şekil-15'da ise  $\beta$ 'nın üç farklı değeri (5,1,0.01) ve  $\lambda=0$ ,  $\mu=1$  için TŞB'den elde edilen sonuçlar verilmektedir. Şekil-16'da, Şekil-15'de verilen görüntülerden alınan bir kesit verilmiştir.

Şekil-17`de sırasıyla giriş görüntüsünün x ve y doğrultularına göre kısmi türevleri verilmiştir. Şekil-18`de  $\lambda=1$ ,  $\mu=1$  ve  $\beta=0$  için elde edilen sırasıyla  $R_x$  ve  $R_y$  görüntüleri verilmiştir. Şekil-19`da ise  $\lambda=1$ ,  $\mu=1$  ve  $\beta=5$  için elde edilen sırasıyla  $R_x$  ve  $R_y$  görüntüleri verilmiştir. Şekil-18 ve Şekil-19 karşılaştırıldığında  $\beta$ `nın çözüm üzerindeki etkisi görülmektedir.

Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, TŞB probleminde kullanılan sınırlamaların çözüm üzerinde kritik etkileri vardır. Bu sınırlamaların ağırlıklarını belirleyen algoritma parametreleri  $\lambda$ ,  $\mu$  ve  $\beta$ `nın ancak uygun değerleri için TŞB yönteminden başarılı sonuçlar alınması olasıdır.Geliştirilen *Uyarlanır Düzleme* yönteminin TŞB problemine uygulanması konusuna çalışılmıştır. Düzleme sınırlaması TŞB`den bulunan yüzeylerin oldukça fazla düzlenmesine neden olmaktadır. Bu istenmeyen etkiyi ortadan kaldırmak için, uyarlanır düzleme yöntemi TŞB problemine uygulanmıştır. Bu amaçla, enerji fonksiyonu olarak

$$F(p,q,z) = F_1(p,q) + F_2'(p,q) + \mu F_3(p,q,z) + \beta F_4(p,q)$$
(10)

ifadesi tanımlanmıştır. Burada terimleri  $F_1$ ,  $F_2$  ve  $F_3$  terimleri daha önce tanımlandığı gibi, sırasıyla aydınlatma sınırlaması, integralin alınabilmesi sınırlaması ve türev farkları sınırlamasıdır. Düzlük sınırlaması ise

$$F_{2}'(p,q) = \iint \lambda(x,y)(I(x,y) - R(p,q))^{2} dx dy$$
(11)

şeklinde değiştirilmiştir. Dikkat edilirse, burada  $\lambda(x,y)$ , uzamsal koordinatların bir fonksiyonudur ve ardışıl TŞB algoritmasında, bu fonksiyonun (*x*,*y*) noktasındaki değeri

$$\lambda_{new}(x,y) = \begin{cases} \Im(x,y,\lambda_{old}) & \text{if } c(x,y) > 0 \text{ and} \lambda_{old} > \lambda_{min} \\ \lambda_{old} & \text{aksi halde} \end{cases}$$
(12)

ile hesaplanır. Burada kullanılan  $\Im(x,y,\lambda_{old})$  fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır :

$$\Im(x, y, \lambda_{old}) = (1 - e^{-\frac{c(x,y)}{V_T}})\lambda_{min} + (e^{-\frac{c(x,y)}{V_T}})\lambda_{old}(x, y)$$
(13)

Bu fonksiyondaki c(x,y), kontrol işaretidir ve abs() mutlak değeri göstermek üzere, c(x,y)=abs(I(x,y)-R(p,q))'den hesaplanır. V<sub>T</sub>, üstel fonksiyonun düşme hızını kontrol eden bir zaman sabitidir.  $\lambda_{min}$  ise, önceden belirlenen ve  $\lambda$ 'nın yeni değerlerinin hesaplanması için kullanılan  $\Im(x,y,\lambda_{old})$  fonksiyonu, üstel olarak azalan bir fonksiyonudur ve

$$\lim_{c(x,y)\longrightarrow 0} \Im(x,y,\lambda_{old}) = \lambda_{old} \quad \text{ve} \quad \lim_{c(x,y)\longrightarrow \infty} \Im(x,y,\lambda_{old}) = \lambda_{\min}$$

özelliklerine sahiptir. (10)`daki enerji fonksiyonelini en aza indirme problemi çözülerek, uyarlanır TŞB yöntemi için ardışıl çözüm yöntemi elde edilmiş ve deneysel sonuçların bulunmasında kullanılmıştır.

Ayrıca uyarlanır düzleme yönteminin FSŞB problemine uyarlanması konusunda da çalışılmıştır. Bu amaçla

$$F(p,q,z) = F_1'(p,q) + F_2'(p,q) + \mu F_3(p,q,z) + \beta F_4(p,q)$$

enerji fonksiyoneli kullanılmıştır. Burada  $F_3$  ve  $F_4$  terimleri sırasıyla integralin alınabilmesi sınırlaması ve türev farkları sınırlamasıdır.  $F_2$ ' fonksiyonu (11)'de verildiği gibidir ve  $F_1$ ' ise

$$F_{1}'(p,q) = \iint \left\{ (I(x,y) - R(p,q))^{2} + (\hat{I}(x,y) - \hat{R}(p,q))^{2} \right\} dxdy$$
(16)

olarak tanımlanmıştır. Buradaki I(x,y) ve I(x,y), bakış doğrultuları aynı fakat aydınlanma doğrultuları farklı iki görüntüyü göstermekte, R(x,y) ve R(x,y), ise bu iki görüntüye karşı gelen yansıtma haritalarını ifade etmektedir. (15)`deki enerji fonksiyonelini en aza indirme problemi çözülerek, uyarlanır TŞB ve FSŞB yöntemlerinin birleşiminden oluşan ardışıl sayısal çözüm yöntemi geliştirilmiş ve bu yöntem kullanılarak deneysel sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil-20'de Mozart özgün yükseklik haritasından  $\eta$ =250,  $\tau$ =45° ve  $\sigma$ =45° için elde edilen giriş görüntüsü verilmiştir. Şekil-21 ve Şekil-22'de sırasıyla uyarlanır olmayan TŞB ve uyarlanır TŞB için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Şekil-23 ve Şekil-24'de ise sırasıyla uyarlanır olmayan TŞB ve uyarlanır TŞB için elde edilen sonuçların 3B çizimi verilmiştir.

#### 3.4 Kırkayak Modeline Dayalı Görüntü Kodlama

Görüntü boyutlarının gün geçtikçe artması onların sıkıştırılmasını daha çok gerekli kılmaktadır. Görüntü sıkıştırmada amaçlanan, bir görüntünün aynı düzeyde kalite ve anlaşılabirlik seviyesine sahip ancak daha az yer kaplayan bir yaklaşığını elde etmeye çalışmaktır. Bazı uygulamalarda (örneğin, tıbbi uygulamalar) sıkıştırılmış görüntü ile gerçek görüntünün birbirinin aynı olması istenir. Bu durumda sıkıştırma yönteminin *kayıpsız* sıkıştırma yöntemi olması gerekir. Bazı uygulamalarda ise sıkıştırılmış görüntüde belirli oranlarda bozulmalara izin verilebilir. Bu tür sıkıştırma yöntemleri ise kayıplı sıkıştırma yöntemi adını alır.

Bu çalışmada, yeni bir ayrıt-tabanlı görüntü sıkıştırma yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem, bir kırkayak modeli yardımıyla ayrıtların yerlerini, kontrast bilgisini ve ayrıt ölçeği gibi bilgileri etkin bir biçimde kullanmakta ve bu gelişmiş model yardımıyla daha önceki ayrıt temelli yaklaşımlara kıyasla, özgün görüntüye daha yakın görüntü kurabilme olanağı sağlamaktadır. Bu yaklaşımda, önce görüntü ayrıtları, Canny ayrıt saptayıcıya kıyasla daha genel bir ayrıt saptayıcı olan ve değişik özelliklerde amaca uygun ayrıt üretebilen Genelleştirilmiş Ayrıt Saptayıcı (GAS) ile elde edilmiş ve daha sonra kırkayak modelini bu ayrıt parçaları üzerine yerleştirerek, görüntüdeki hızlı değişim bölgeleri kontrastları ve ölçekleri de göz önüne alınarak modellenmiştir. Bu model sayesinde, yalnız ayrıt yerleri ve yükseklikleri kullanıldığında ortaya çıkan bozulmaların yok edildiği gösterilmiştir. Calışmada, GAS ile elde edilen ayrıtlar, uzunluk, çevrit boyunca ortalama benek değeri, ortalama kontrast ve ortalama eğrilik gibi özellikler göz önüne alınarak sıralanmış ve bunlardan belirli bir yüzdesinin seçilerek sıkıştırma oranının kontrol edilmesi sağlanmıştır. Ayrıt çevritleri üzerindeki benek değerleri, kontrast ve genişliklere sabit blok boyu ve değişken dereceli polinomlar uydurularak polinom katsayıları saklanmıştır.

Bir görüntüde, nesne sınırlarına karşılık gelen ve görüntüdeki bölütleri birbirinden ayıran ayrıtlar, o görüntüyü tanımlayan en önemli özelliklerden biridir. Bu ayrıtların hem sayıca az olmaları hem de görüntünün içeriği hakkında önemli bilgileri sağlamaları ayrıt temelli sıkıştırma algoritmalarının hareket noktasını oluşturmaktadır. Görüntüdeki seyrek ayrıt noktalarında benek değerleri hızlı değişmesine karşın, ayrıt dışı noktalarında değişim yavaş olmakta ve böylece ayrıt bilgilerinden görüntünün tümünü oluşturabilmek olası olmaktadır. İkinci kuşak sıkıştırma yöntemlerinin temel özelliklerinden biri olan ayrıt temelli kodlamanın yararlarından biri, yüksek sıkıştırma oranlarında dahi görüntüye ilişkin önemli

36

özelliklerin kaybolmaması, görüntünün hızla bulanıklaşmamasıdır. Ne var ki, bu yaklaşımda yalnızca ayrıtların konumu (ayrıt haritası) ve ayrıt boyunca kontrast bilgisi kullanıldığında, kurulan görüntülerde yapaylıklar oluşmaktadır. Bu çalışmada bu bilgilere ek olarak, ayrıtların ölçeklerinin de kullanılmasına olanak sağlayan bir model geliştirilmiş ve daha başarılı sonuçların elde edildiği gösterilmiştir.

Geliştirilen yaklaşımda, önce ayrıtlar GAS ile elde edilmekte ve ayrıt parçaları, uzunlukları, ortalama benek değerleri, ortalama kontrast ve eğrilik değerleri göz önüne alınarak önem sırasına göre sıralanırlar. Daha sonra seçilen ayrıt parçaları çevresindeki değişimler, kırkayak modeli yardımıyla modellenmektedir. Bu modele ilişkin bilgilerin kodlanması farksal zincir kodu, Huffman kodlama ve polinomla eğri uydurma yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra modelden görüntülerin kurulması karma enerji fonksiyoneli yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Algoritmanın ilk aşamasında ayrıtlar GAS ile elde edilir. GAS, görüntüyü ölçek ve süreklilik özelliklerine bağlı olarak  $\lambda \tau$ -uzayında ifade etmeye olanak sağlayarak değişik amaçlar için istenen özellikte ayrıtlar üretir. Burada  $\lambda$  ölçek eksenini ve  $\tau$  ise süreklilik eksenine karşı düşmektedir.

Elde edilen ayrıtlardan, izleme algoritması ile bağlı çevrit bölütleri elde edilir. İzleme algoritması sonlanma noktalarından itibaren aynı yönde izlemeye devam etmeye zorlanır. Çevritlerin izlenmesi ile elde edilen farksal zincir kodu, Huffman yöntemi ile kodlandığından bu şekil bir izleme, ayrıtların etkin bir şekilde kodlanmasını sağlar. Bu yaklaşımda ayrıtlar ortalama 1.8 bit ile kodlanmaktadır. Ayrıt çevritlerinin başlangıç noktaları ise söz dizimsel biçimde sıralanan başlangıç noktaları aralarındaki fark biçiminde kodlanmaktadır. Başlangıç noktaları yaklaşık homojen bir biçimde dağıldıklarından bu şekil bir kodlama (x,y) koordinatları şeklindeki kodlamaya göre sıkıştırma kazancını arttırmaktadır.

Şekil-27'de bir ayrıt kesiti verilmiştir. Ayrıtın genişliği ( $W_R, W_L$ ), ayrıtın o noktadaki normali doğrultusundaki kesiti için benek değerlerindeki değişimin küçük olmaya başladığı noktalara olan uzaklık olarak tanımlanmaktadır. Kontrast değeri ( $C_R, C_L$ ) ise ayrıt üzerindeki benek değeri ( $I_L$ ) ile ayrıtın genişliğinin belirlendiği noktadaki benek değeri arasındaki farktır. Kırkayak modeli ile her ayrıt noktası için ( $I_L, W_R, W_L, C_R, C_L$ ) bilgileri belirlenir ve kodlanır. Her ayrıt noktasında, model parametrelerinin, ( $W_R, W_L, C_R, C_L$ ), saklanması yerine bir blok pencere içindeki değerlerine değişken derecede polinomlar uydurulmuştur. Bu polinomların katsayıları eşiklendirilerek kodlanır. Uzunluk, çevrit boyunca benek değerlerinin standart sapması, ortalama kontrast, ortalama eğrilik gibi özelliklerine göre sıralamaya sokulan ayrıtların eşiklenmesi ile önemli nitelikler korunarak sıkıştırma oranı arttırılabilir. Bu özelliklere verilen ağırlıklara göre sıralanan ayrıtların %50-85'inin kullanılması durumunda dahi yüksek kalitede görüntüler ve 10:1-80:1'lik sıkıştırma oranları elde edilmiştir (Şekil-28).

Seyrek ayrıt modeli parametrelerinden gerçek görüntünün bir yaklaşığı karma enerji fonksiyonelinin en aza indirgenmesi ile elde edilmiştir. Karma enerji fonksiyoneli üç bileşenden oluşmaktadır :

$$\mathbf{E} = \mathbf{D} + \mathbf{Z} + \mathbf{L}$$

$$\mathbf{D} = \sum_{i,j\in\mathbb{R}} \sum \beta_{i,j} (f_{i,j} - d_{i,j})^2$$

$$\mathbf{Z} = \sum_{i,j\in\mathbb{R}} \sum \lambda (1 - \tau) \cdot [(f_{i,j} - f_{i-1,j})^2 + (f_{i,j} - f_{i,j-1})^2]$$

$$\mathbf{L} = \sum_{i,j\in\mathbb{R}} \sum \lambda \tau \cdot [(f_{i+1,j} + f_{i-1,j} - 2 \cdot f_{i,j})^2 + (f_{i,j+1} + f_{i,j-1} - 2 \cdot f_{i,j})^2]$$
(17)

Burada **D** kurulan yüzey ile seyrek veri arasındaki farkın enerjisini, **Z** seyrek veri üzerinden geçirilen zarın enerjisini, **L** levhanın enerjisini, *f* kurulmak istenen yüzeyi, *d* seyrek veriyi göstermektedir. Bu fonksiyonel SOR (Successive Over-Relaxation) algoritması kullanılarak en aza indirilmiştir :

$$f_{ij}^{(n+1)} = f_{ij}^{(n)} - \frac{w}{T} \frac{\partial E(f)}{\partial f_{ij}}$$
(18)

$$\frac{\partial E(f)}{\partial f_{ij}} = (\beta_{ij} + 4\lambda(1+4\tau))f_{ij}^{(n)} - \lambda(1+7\tau)[f_{i-1,j}^{(n+1)} + f_{ij-1}^{(n+1)} + f_{i+1,j}^{(n)} + f_{i,j+1}^{(n)}] 
+ 2\lambda\tau[f_{i-1,j-1}^{(n+1)} + f_{i-1,j+1}^{(n+1)} + f_{i+1,j-1}^{(n)} + f_{i+1,j+1}^{(n)}] 
+ \lambda\tau[f_{i-2,j}^{(n+1)} + f_{i,j-2}^{(n+1)} + f_{i+2,j}^{(n)} + f_{i,j+2}^{(n)}] 
- \beta_{ij}d_{ij}$$
(19)



(a)



(b)

Şekil-27 (a) Ayrıt Kesiti,(b) Ev görüntüsü üzerine bindirilmiş model.

Bu iterasyonlar sırasında model parametreleri ile oluşturulan seyrek veri güncellenmemektedir. İterasyonların sonlanma koşulu birbirini izleyen iki iterasyon çözümü arasındaki farkın önceden belirlenen bir değerden küçük olmasıdır.

Bu yöntem yapay ve gerçek görüntüler üzerinde denenmiştir (Şekil-29 ve Şekil-30). Tablo-3'de yapay ve gerçek görüntüler için elde edilen sıkıştırma oranları ve kodlama değerleri verilmektedir.

Bu çalışmada, önceki çalışmaların aksine, yukarıda verilen iki temel işlemi tek bir model altında birleştiren ayrıt-tabanlı bir görüntü gösterilimi elde edilmiştir. Bu amaçla Kırkayak modelinden yararlanılmıştır. Kırkayak modelinde, her bağlı ayrıt parçası ve parça boyunca benek değerlerindeki değişim Kırkayak Modeli adı verilen bir modelle tanımlanır :

$$W_{L}(s) = |V(s) - V_{L}(s)|$$

$$W_{R}(s) = |V(s) - V_{R}(s)|$$

$$C_{L}(s) = I(V_{L}(s)) - I(V(s))$$

$$C_{R}(s) = I(V_{R}(s)) - I(V(s))$$
(20)

Burada V(s) = (x(s), y(s)) kırkayağın yerleşkesini, I(s) ayrıt üzerindeki benek değerini ve  $(W_L(s), W_R(s))$  kırkayağın sol ve sağ ayaklarının uzunluklarını göstermektedir (Şekil-27). Ayak uzunlukları,  $W_L(s), W_R(s)$ , ayrıtın ölçeğine karşı düşmektedir. (20) gösteriliminin en önemli özelliklerinden biri simetrik olmayan ayrıt kesitlerini modelleyebilmesidir. Burada kısaca, (20) ile verilen gösterilimdeki,  $(W_L(s), W_R(s))$  parametrelerinin optimal hesabı için geliştirilen yöntem tanıtılacaktır.

Basitlik açısından,  $(V_L(s), V_R(s))$ çiftini  $x_1$  ve  $x_2$  ile ve ayrıt noktasını  $x_0$  ile gösterelim. Ayrıca bu noktalardaki benek değerlerini  $y_1$ ,  $y_2$  ve  $y_0$  ile temsil edelim.  $(y_i)$ , i = 0,1,2 verildiğinde ayrıt kesiti

$$E(f) = \sum_{i=0}^{2} (f(x_i) - y_i)^2 + \lambda \int_{\Re} \sum_{k=1}^{m} \tau_i (D^k f)(x)^2 dx$$
(21)

fonksiyonelinin çözümü olarak elde edilmeye çalışılır. (21) fonksiyonelinin çözümü

φ

$$f(x) = \sum_{i=0}^{n} c_i g(x - x_i) + \phi(x)$$
(22)

$$(x) \in \pi_m \tag{23}$$

formunda yazılabilir . Burada  $\pi_m$ , m. dereceden polinom fonksiyonlarının oluşturduğu fonksiyon uzayını ve  $\phi(x) = \sum_{i=0}^{m} d_i x^i$ , (21) fonksiyonelinin sıfır uzayını göstermektedir. Burada c ve d katsayıları ise

$$(\lambda I + G)c + \Gamma d = y$$
  

$$\Gamma^{T} c = 0$$
  

$$G = (G_{ij}), \quad G_{ij} = g(x_{i} - x_{j})$$
  

$$\Gamma = (\Gamma_{i}), \qquad \Gamma_{i} = \phi(x_{i})$$
(24)

matris denklemlerinden çözülürek elde edilir. Bu çalışmada ikinci dereceden (m=2) bir fonksiyonel kullanılmıştır :

$$E(f) = \sum_{i=0}^{2} (f(x_i) - y_i)^2 + \lambda \int_{\Re} ((1 - \tau)(\frac{df}{dx})^2 + \tau(\frac{d^2f}{dx^2})^2) dx$$
(25)

Bu durumda g(x) fonksiyonu

$$g(x) = \begin{cases} |x| & ; \tau = 0\\ \frac{1}{1-\tau} |x| + \frac{1}{\sqrt{\tau (1-\tau)}} \exp(-\sqrt{\frac{1-\tau}{\tau}} |x|) & ; 0 < \tau < 1\\ |x|^2 & ; \tau = 1 \end{cases}$$
(26)

olarak elde edilir. Şekil.31'de  $\tau$ 'nun aldığı değerlere karşılık gelen üç farklı çekirdek fonksiyonu, g(x), verilmiştir.  $(x_i, y_i)|_{i=0,1,2}$  verildiğinde, ayrıt kesiti

$$f(x) = c_0 g(|x - x_0|) + c_1 g(|x - x_1|) + c_2 g(|x - x_2|) + c_3$$
(27)

şeklindedir. Buradaki  $\{c_i\}_{i=0}^3$  katsayıları (24) matris denklemlerinden çözülürek bulunur. (27) ifadesindeki  $x_1$  ve  $x_2$  değişkenleri, özgün ayrıt kesiti ile kurulan kesit arasındaki ortalama karesel hatayı

$$OKH(f,g) = \frac{1}{L+1} \sum_{i=0}^{L} (f(x_i) - y_i)^2$$
(28)

enaza indirgeyecek şekilde belirlenir :

$$(x_1^*, x_2^*) = \arg\min_{x_1, x_2} (OKH(f(x_1, x_2), y))$$
(29)

Şekil.32'de farklı iki ayrıt kesiti için elde edilen optimal  $(x_1^*, x_2^*)$  çifti verilmektedir.

Tablo-3 Yapay ve Gerçek Görüntüler için elde edilen Sıkıştırma Oranları

Görüntü	Boyut	SO	SO	SO	NMSE	SNR
	(bytes)	Farksal	Polinom			( <b>dB</b> )
		Zincir Kodu	Katsayıları			
CHECKER B.	16465	210:1	230:1	157:1	14.56	63.26
BARS	16465	160:1	606:1	127:1	10.28	65.73
MOUSE	250149	186:1	251:1	107:1	16.25	36.33
HOUSE	65106	86:1	107:1	48:1	38.56	19.05
CAMERAMAN	262225	70:1	140:1	43:1	36.29	20.26
LENA	86561	48:1	123:1	35:1	35.95	20.45
BRAIN	30706	23:1	30:1	13:1	46.27	15.41



(b) SNR = 63.47 dB



(d) SNR = 57.89 dB



(f) SNR = 56.88 dB



(h) SNR = 35.40 dB







**Şekil-29** Soldan-sağa doğru : Özgün Görüntü, GAS ile saptanan ayrıtlar, Verilen Sıkıştırma Oranları için Kurulan Görüntüler



SO : 37



SO : 48



SO : 74



SO : 22



SO : 29



SO : 35

## Şekil-30 Verilen Sıkıştırma Oranları için Kurulan Görüntüler











#### 3.5 Parmakizi Tanıma ve Sıkıştırma

Bu konuda öncelikle üzerinde çalışılacak bir parmakizi veritabanı oluşturulmuştur. Sıkıştırma amacıyla parmakizinin düzenli yapısından yararlanılmıştır. Parmakizleri tepe ve vadi noktalarındaki benek değişiminden karma model ile modellenmiştir. Tepe ve vadi noktaları, uyarlanır eşikleme kullanılarak ve ardından inceltme işlemi ile çıkarılmıştır. Çeşitli parametre değerleri için yapılan gözlemler sonucunda, uyarlanır eşiklemede kullanılan pencerenin boyutlarının 15x15 olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni ise, çalışılan parmakizi görüntülerindeki ortalama sırt ve vadi genişliklerinin 7-8 benek olmasıdır. Bu sayede, pencere içine hem vadilere, hem de sırtlara ait bölgeler girmekte ve elde edilen eşik değeri bu iki bölgeyi birbirinden ayırmaktadır. Parmakizi özniteliklerinin saptanması için saadece sırt iskeleti yeterlidir. Fakat parmakizi görüntüsünün yenien kurulabilmesi için vadi iskeleti de gereklidir.

Sıkıştırma işlemi tepe ve vadilerin geometrisinin farksal zincir kodu ile kodlanması ve vadi ve tepelerdeki benek değerlerindeki değişim ise ayrık kosinüs dönüşüm katsayıları olarak kodlanarak sağlanmaktadır. Bu vadi ve tepelerdeki seyrek veriden yoğun verinin elde edilmesinde Bölüm 3.1'de açıklanan karma modelden yararlanılmıştır.

Bu şekil bir kodlamanın, dönüşüm tabanlı diğer kodlama tekniklerine göre en büyük avantajı, yüksek sıkıştırma oranlarında bile, kurulan görüntüden tanıma amacı ile kullanılan dallanma noktası, sonlanma noktası gibi özelliklerin korunmasıdır. Diğer bir avantajı ise parmakizinin tanıma amaçlı olarak kullanılması durumunda görüntünün tekrar oluşturulmasına gerek kalmaksızın doğrudan sıkıştırılmış veri üzerinde çalışılabilmesidir.

Algoritma çeşitli parmakizi görüntülerine uygulanmıştır. Şekil-33(a)'da özgün parmakizi görüntüsü ve Şekil-33(b),(c)'de model-tabanlı sıkıştırma yöntemiyle eşiklenen ve inceltilen tepe ve vadi haritası verilmiştir. Elde edilen sıkıştırma oranları Tablo-4'de verilmiştir. Şekil-34'de özgün parmakizi görüntüsü ve model-tabanlı sıkıştırma yöntemiyle kurulan görüntü çiftleri verilmiştir. Bu görüntülere ilişkin sıkıştırma oranları ve kodlama parametreleri ise Tablo-4'de verilmiştir. Şekil-35(a),(b),(c)'de vadi ve tepe noktları üzerindeki benek değerlerinin Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD) ile eldde edilen dönüşüm katsayılarının sırasıyla 70/70, 35/70 ve 10/70 AKD Paket oranı kodlandığında elde edilen sonuçlar verilmektedir. tepe ve vadilerdeki benek değerlerinin ortalaması kullanıldığında karma model ile kurulan görüntü verilmektedir. Şekil-10(d)'de ise tepe ve vadi noktalarının tümü üzerinde

47

sabit bir gri seviyesi (100) alınarak kurulan parmakizi verilmiştir. Şekil-36(a),(b),(c)'de ise Şekil-35(a),(b),(c)'de verilen kurulu yüzeylerin 3B çizimleri verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

## Şekil-33 Model-tabanlı Parmakizi Sıkıştırma

- (a) Özgün Parmakizi Görüntüsü
- (b) Uyarlanır Eşikleme ile Elde Edilen Tepe ve Vadi Haritası
- (c) İnceltilmiş Tepe ve Vadi Haritası







(b)







# Şekil-34 Özgün Parmakizi görüntüsü ve Model-tabanlı sıkıştırma yöntemiyle kurulan görüntü çiftleri

- (a) F01.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 269181, Sıkıştırma Oranı : 43.71.
- (b) F02.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 202181, Sıkıştırma Oranı : 42.55.
- (c) F21.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 375081, Sıkıştırma Oranı : 44.38.
- (d) F34.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 259556, Sıkıştırma Oranı : 40.09.
- (e) F35.HIPS : Dosya Büyüklüğü : 182781, Sıkıştırma Oranı : 44.58.





- (a) 70/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (b) 35/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (c) 10/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (d) 2 düzeyli kurulan yüzey.











(c)





(e)

## Şekil-36

- (a) 70/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (b) 40/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (c) 20/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (d) 10/70 AKD Paket oranı ile kurulan yüzey,
- (e) (a) ile (c) arasındaki hata yüzeyi

Parmakizi	Boyut	Zincir Sayısı	Benek	Kodlanmış	SO
Görüntüsü	(bytes)		Sayısı	Veri Uzunluğu	
F01.HIPS	269181	401	22349	6158	43.71
F02.HIPS	202181	312	15654	4751	42.55
F03.HIPS	329031	468	21745	6684	49.22
F21.HIPS	375081	490	38585	8451	44.38
F34.HIPS	259556	520	29359	6473	40.09
F35.HIPS	182781	301	13165	4100	44.58
F36.HIPS	222106	480	18106	5805	38.26
F37.HIPS	319881	707	22210	7427	43.07
F38.HIPS	354331	595	24498	7705	45.98
F39.HIPS	302341	578	20864	6752	44.78
F310.HIPS	227231	343	14558	4559	49.84
ORTALAMA					44.22

# Tablo-4Veritabanında Yeralan Bazı Parmakizi Görüntüleri için elde edilen Sıkıştırma<br/>Oranları (SO : Sıkıştırma Oranı)

Üçüncü bölümde sıralanan tüm bu çalışmalar İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği bünyesinde kurulan Bilgisayarla Görü ve Görüntü İşleme Laboratuvarında (BİGİL) gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda gerçekleştirilen çalışmaların başta Türkiye olmak üzere bu konuda çalışan diğer araştırmacılara aktarılabilmesi amacıyla www.cs.itu.edu.tr/cvip internet adresinde bir sayfa düzenlenmiştir. Buna ek olarak gurubumuzca bu proje süresince oluşturulan yayınlar ve yazılımlar internet ortamında *ftp.cs.itu.edu.tr/pub/Research/Vision* adresinden erişilebilir hale getirilmiştir.

#### 4.0 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada görüntü işleme ve bilgisayarla görüde karşılaşılan ayrıt saptama, tondan şekil bulma ve model tabanlı görüntü ve parmakizi sıkıştırma gibir temel problemlere düzenlileştirme kuramı çerçevesinde çözümler aranmıştır. Bu amaçla zar ve levha modellerinin lineer bir kombinasyonu olan ve karma model adı verilen özgün ve genel bir görüntü gösterilimi ve buna bağlı olarak genelleştirilmiş ayrıt saptama yöntemi geliştirilmiştir. Bu gösterilim, görüntünün  $\lambda$ `nın görüntünün ölçeğini ve  $\tau$ `nun görüntünün sürekliliğini kontrol ettiği  $\lambda \tau$ -gösterilimi olarak adlandırılır.  $\lambda \tau$ -gösterilimi, ölçek uzayı gösterilimi ile karşılaştırıldığında, görüntüyü/yüzeyi her birinin görüntünün/yüzeyin farklı özelliklerine karşı düşen farklı tanımlayıcılara ayrıştırabildiği gözlenmiştir.

Deneysel olarak, karma model, iki uç modelle (zar ve levha modelleri) karşılaştırıldığında ek bilgiler sağlamaktadır. Elde edilen bu yeni gösterilim bir çok uygulama alanı bulacağına inanıoruz. Bu proje kapsamında, elde edilen gösterilim, model-tabanlı görüntü ve parmakizi sıkıştırmada kullanılmıştır. Sadece bu uygulamalarda bile sadece zar yada sadece levha kullanılmasına göre, karma modelin çok daha başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Bu gösterilimden yararlanılarak genel amaçlı ve mevcut ayrıt saptayıcaları da tek bir çatı altında birleştirebilen bir ayrıt saptayıcı geliştirilmiştir. Elde edilen genel amaçlı ayrıt saptayıcının amaca uygun ayrıtlar üretebilecek yetenekte olduğu deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Böylelikle, başarılı bir bilgisayar görü sisteminin tasarımında ihtiyaç duyulan güçlü bir ayrıt saptayıcının geliştirildiğini düşünüyoruz.

Bu proje kapsamında, elde edilen gösterilim, model-tabanlı görüntü ve parmakizi sıkıştırımada kullanılmıştır. Parmakizi görüntülerinin model-tabanlı sıkıştırılmasında parmakizi görüntülerinin düzenli yapısından yararlanılmıştır. Bu sayede yüksek sıkıştırma oranları için öznitelikler kaybedilmemiştir. Tanıma işleminin doğasına uygun bir yöntem benimsenmiştir. Tanıma işlemi, yoğun parmakizi görüntüsünü elde etmek gerekmeksizin doğrudan sıkıştırılmış veri üzerine uygulanabilir. Çünkü tanıma işleminde doğrudan kullanılabilecek anlamlı veriler saklanmıştır. Böylelikle önerilen sıkıştırma yöntemi, parmakizi tanıma sistemine doğrudan gömülebilir.

Yöntemin başarımını arttırmak için uyarlanabilir eşikleme kullanılarak parmakizi görüntüsünden iskelet yapı elde edilmeden önce iyileştirme işlemi yapılmalıdır. Bu daha

56

güvenilir iskelet haritasının saptanmasını sağlayacaktır. Kurulan yüzeyin kalitesinin arttırılabilmesi için iskelet haritasının geometrisinden yararlanılabilir. Bu amaçla yönsel düzenlileştirme kullanılabilir. Böylelikle parmakizi görüntüsünün bazı bölümlerinde oluşabilecek bulanıklaşma ve parmakizinin doğal yapısında oluşabilecek geometrik bozulmalar da önlenebilir.

Elde edilen gösterilimin bu proje kapsamında diğer bir uygulama alanı model-tabanlı görüntü kodlamadır. Bir görüntüde, nesne sınırlarına karşılık gelen ve görüntüdeki bölütleri birbirinden ayıran ayrıtlar, o görüntüyü tanımlayan en önemli özelliklerden biridir. Ayrıtlar bu güçlü gösterilim özelliği yanında seyrek bir veri oluşturmaları, ikinci kuşak sıkıştırma algoritmalarının hareket noktasını oluşturmaktadır. Görüntüdeki seyrek ayrıt noktalarındaki benek değerleri hızlı değişmesine karşın, ayrıt dışı noktalarda değişim yavaş olmaktadır. Böylelikle seyrek ayrıt noktalarından ve bu noktalrdaki benek değerlerindeki değişimden tekrar görüntünün kurulabilmesi mümkün olmaktadır. Yalnızca ayrıtların konumu ve ayrıt boyunca kontrast bilgisi kullanıldığında kurulan görüntülerde yapaylıklar oluşmaktadır. Bu çalışmada bu bilgilere ek olarak, ayrıtların ölçeklerinin de kullanılmasına olanak sağlayan bir model geliştirilmiş (Kırkayak Modeli) ve daha başarılı sonuçların elde edildiği gösterilmiştir.

Geliştirilen yaklaşımda, önce ayrıtlar GAS ile elde edilmekte ve ayrıt parçaları, uzunlukları, ortalama benek değerleri gözönüne alınarak önem sırasına göre sıralanırlar. Daha sonra seçilen ayrıt parçaları çevresindeki değişimler, kırkayak modeli yardımı ile modellenmektedir. Ayrıt bilgisinin oluşturduğu ikili görüntü farksal zincir kodunu izleyen Huffman kodlama yöntemi ile sıkıştırılmaktaddır. Model parametrelerine ise polinom uydurulmakta ve polinum katsayıları nicemlenerek kodlanmaktadır. Daha sonra modelden görüntülerin kurulması karma enerji onksiyoneli yardımı ile gerçekleştirilmektedir.

Kırkayak modeli yaklaşımı ile görüntü sıkıştırmada, yüksek sıkıştırma oranlarına dönüşüm tabanlı kodlamanın aksine görüntüyü aşırı şekilde bulanıklaştırmaksızın ve blok etkisi oluşturmaksızın erişilebilmektedir.

Kodlama performansını etkileyen önemli bir parametre çevrit sayısıdır. Kurulan görüntünün kalitesi için nicel bir Ayrıt saptayıcı ile elde edilen çevritlerin elenmesi işleminde İnsan Görü Sisteminin özelliklerinden yararlanılmalıdır.

Bu projede düzenlileştirme kuramı çerçevesinde çözüm aranan diğer bir problem Tondan Şekil Bulma (TŞB) problemidir. Bu çalışmada çeşitli TŞB kısıtları tekbir enerki fonksiyonelinde birleştirilmiş ve bu fonksiyoneli en aza indirgeyen genel amaçlı bir TŞB

57

algoritması geliştirilmiştir. Bu genel amaçlı TŞB algoritması kullanılarak her bir kısıtın çözüm üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlardan, sınırlamaların çözüm üzerindeki etkileri konusunda elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir :

Düzgünlük sınırlaması, TŞB probleminin tek çözümlü olmasını sağlamak amacıyla kullanılmasına rağmen, sayısal çözüm yönteminin yakınsaması açısından kritik öneme sahiptir. Bu terimin çarpanı olan  $\lambda$  parametresinin çok küçük değerleri için algoritmanın ıraksaması olasıdır. Diğer taraftan,  $\lambda$ 'nın büyük değerleri, elde edilen yüzeylerin aşırı düzlenmesine neden olmaktadır. Bu düzleme etkisi, TŞB'den bulunan yüzeylerin aydınlatılması ile elde edilen resimlerin bulanık olmasına neden olmaktadır ve bu bulanıklığın miktarı  $\lambda$ 'nın sayısal değerine bağlı olarak değişmektedir.

İntegralin alınabilmesi sınırlaması, düzgünlük sınırlaması gibi, TŞB probleminde çözümün bulunmasında önemli etkilere sahiptir. Bu sınırlamanın enerji fonksiyoneli içindeki ağırlığını belirleyen parametre µ`dür ve µ`nün çok küçük değerleri, sayısal TŞB yöntemiyle bulunacak çözümlerin hatalı olmasına neden olabilir. Diğer yandan, µ`nün büyük değerleri için aşırı düzlenmiş çözümler elde edilmektedir. Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi, doğru çözümlere ulaşılabilmesi için µ parametresinin değerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Türev farkları sınırlamasının etkisi, giriş resminin türevleri  $(I_x, I_y)$  ile TŞB yöntemiyle elde edilen aydınlatılmış resmin türevlerinin  $(R_x, R_y)$  karşılaştırılması sonucu belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sınırlamanın katsayısı olan  $\beta$ `nın sıfır olduğu durumda bulunan kısmi türevler,  $R_x$  ve  $R_y$ , sırasıyla  $I_x$  ve  $I_y$  ile karşılaştırıldığında, bunların birbirlerine benzemedikleri görülmemektedir. Oysa,  $\beta$ `nın sıfırdan farklı olduğu durumda bulunan  $R_x$  ve  $R_y$ `nin giriş resminin türevlerine oldukça benzediği deneysel sonuçlardan kolaylıkla görülmektedir. Diğer taraftan ardışıl çözüm yönteminde,  $\beta$ `nın büyük değerleri için bulunan çözümlerdeki, p ve qhatası ve z hatası, başlangıçta düşük olmasına rağmen, iterasyonların devam etmesi durumunda artmaktadır.

Bu sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, TŞB probleminde kullanılan sınırlamaların çözüm üzerinde kritik etkileri vardır. Bu sınırlamaların ağırlıklarını belirleyen algoritma parametreleri  $\lambda$ ,  $\mu$  ve  $\beta$ `nın ancak uygun değerleri için TŞB yönteminden başarılı sonuçlar alınması olasıdır.

Geliştirilen *Uyarlanır Düzleme* yöntemi ile TŞB algoritmasındaki düzleştirme parametresi görüntü oyunca iteratif çevrim boyunca oluşan hatadan belirlenebilmesi

saağlaanmıştır. Bu şekilde deneysel olarak eldde edilen sonuçlardan düzleştirme etkisinin giderildiği gösterilmiştir. Bu iteratif sürecin hızlandırılması için çoklu ızgara yöntemi kullanılmıştır.

Yöntemin başarımının arttırılması için daha gelişmiş aydınlatma modelleri ve daha gerçekçi kamera modelleri kullanılabilir. Özellikle ışık kaynağının sonsuzda olduğu geleneksel varsayımı terkedilerek, sonlu ışık kaynağı yada ışık kaynak kümesi varsayımları kullanıldığında daha hassas sonuçlar elde edilebileceğini düşünüyoruz.

TŞB probleminde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri görüntüdeki gölgelerdir. Çünkü bu bölgelerde benek değerleri problemin çözümü için gerekli herhangi bir bilgi taşımazlar. Bu durumda Gölgeden Şekil Bulma algoritması kullanılarak elde edilecek şekil bilgisi, TŞB probleminin çözümünde başlangıç bilgisi yada sınır değer olarak kullanılabilir.

Uyarlanır TŞB algoritması aydınlatma modelinde yapılacak bir değişiklik ile SAR görüntülerine de uygulanabilir.

### **BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU**

1- Proje No : EEEAG-154

2- Rapor Tarihi : 27/03/1998

3 – Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri : 1/9/1995 – 1/9/1997

4 – Projenin Adı : BİLGİSAYARLA GÖRÜDE AYRIT SAPTAMA, TONDAN ŞEKİL BULMA, GÖRÜNTÜ SIKIŞTIRMA, PARMAK İZİ TANIMA VE SIKIŞTIRMA PROBLEMLERİNİN DÜZENLİLEŞTİRME KURAMI ÇERÇEVESİNCE ÇÖZÜLMESİ

5 – Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırıcılar :

**Doç. Dr. Muhittin GÖKMEN** (Yürütücü)

Binnur KURT, Tahsin DEMİRAL, İlker ERSOY

6 - Projenin Yürütüldüğü Kuruluş Adı ve Adresi :

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,

Elektrik-Elektronik Fakültesi, İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Maslak, 80626, İSTANBUL

7 - Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi :

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, Maslak, 80626, İSTANBUL

 $8 - \ddot{O}z$  (Abstract) :

Görüntü İşleme ve Bilgisayarla Görü konulu bu projede, Genelleştirilmiş Ayrıt Saptayıcı (GAS) ve  $\lambda \tau$ -uzayında görüntü gösterilimi, yırtılabilir zar modeli kullanılarak görüntü sıkıştırma, tondan şekil bulma ve parmakizi tanıma ve sıkıştırma konuları ele alınmıştır. Bu problemlerin birlikte ele alınmalarının nedenlerinden biri, bunlara düzenlileştirme kuramının birleştirici çatısı altında çözüm bulmaya çalışılmasıdır.

Ayrıt saptama konusunda yapılacak çalışmada, var olan ayrıt saptama algoritmalarını bir çatı altında toplayan ve yeni ayrı saptayıcıların türetilmesine olanak sağlayan genel bir çerçevenin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu konuda, NFS ile ortak bir proje de yürütülmüş ve 1997 yılında tamamlanmıştır.

Yırtılabilir zar modeli kullanılarak görüntü sıkıştırma konusunda ise, nesne sınırlarının sağladığı az sayıda ayrıt kullanılarak görüntü sıkıştırılmaya çalışılmış ve bu konuda özgün bir yöntem geliştirilmiştir.

Tondan şekil bulma probleminde iki boyutlu görüntüdeki ton değişimlerinden yararlanılarak 3-boyutlu nesne şekillerinin elde edilmesi için özgün bir yöntem geliştirilmiştir. Parmakizi tanıma ve sıkıştırma konusunda ise gurubumuzda belirli bir aşamaya gelmiş olan parmakizlerinin iyileştirilmesi, tekil noktalarının bulunması ve sınıflandırılması konularında çalışmalar toparlanmış ve düzenlileştirme kuramına dayalı modelleme ile sıkıştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Düzenlileştirme Kuramı, Bilgisayarla Görü, Görüntü İşleme, Çok Ölçekli Ayrıt Saptama, Tondan Şekil Bulma, Görüntü Sıkıştırma,

9 - Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler

1) M.Gökmen, A.K. Jain, λτ-Space Representation of Images and Generalized Edge Detection, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.19, No. 6, June 1997, pp. 545-563.

2) M.Gökmen, A.K. Jain, "\$\lambda\tau\$-Space Representation of Images and Generalized Edge Detection," Proceedings of IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR96, San Francisco, USA, 1996, pp. 764-769.

3) Binnur KURT, M.Gökmen, A.K.Jain, Image Compression Based On Centipede Model, Proceedings of International Conference on Image Analysis and Processing, ICIAP'97, Vol. I, pp. 303-310, Florence, İtalya, Eylül 1997.

4) Binnur KURT, M. Gökmen, Kırkyak Modeline Dayalı Görüntü Sıkıştırma, Proceedings of 5<sup>th</sup> Conference on Signal Processing and Its Applications, SIU'97, Vol. I, pp. 303-308, Kuşadası, Türkiye, Mayıs 1997.

5) M.Gökmen, I. Ersoy and A.K.Jain, Compression of Fingerprint Images Using Hybrid Image Model, Proceedings Of IEEE Internationl Conference on Image Processing ICIP'96, Lausanne, İsviçre, Eylül 16-19, 1996.

6) A. Gültekin and M. Gökmen," Adaptive Shape from Shading," Proceedings of the Eleventh International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS XI), pp.83-92, Antalya, Türkiye, Ekim 6-8, 1996.

7) A. Gültekin and M. Gökmen," Adaptive Shape from Shading," ELEKTRİK dergisine basım için kabul edildi.

10 – Bilim Dalı :		
Doçentlik B. Dalı Kodu :	ISIC Kodu :	
Uzmanlık Alanı Kodu :		
11 – Dağıtım :	🗖 Sınırlı	Sinirsiz
12 – Raporun Gizlilik Durumu :	🗖 Gizli	🗹 Gizli Değil