

GÜRÜLTÜYE KARŞI DAYANIKLI BİR KENAR TESPİT ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

DEVELOPING A NOISE RESISTANT EDGE DETECTION ALGORITHM

YUNUS EMRE ÖNAL

DOÇ DR. Umut SEZEN

Danışman

Hacettepe Üniversitesi
Lisanüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
Yüksek Lisans Tezi
olarak hazırlanmıştır.

2018

Yunus Emre ÖNAL' ın hazırladığı “Gürültüye Karşı Dayanıklı Bir Kenar Tespit Algoritması Geliştirilmesi” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarsfindan ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ’ nde YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selçuk GEÇİM

Başkan



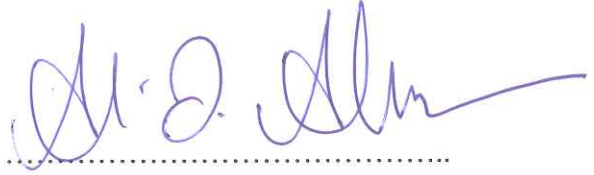
Doç. Dr. Umut SEZEN

Danışman



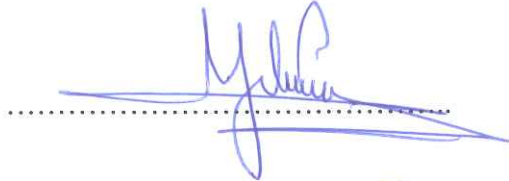
Prof. Dr. Ali Ziya ALKAR

Üye



Prof. Dr. Atila YILMAZ

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Seniha Esen YÜKSEL

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

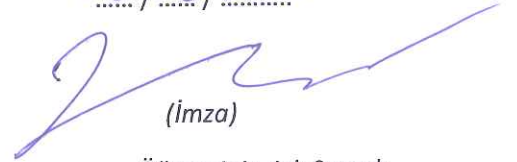
- ☒ Tezimin/Raporumun 25/06/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- ☐ Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

- ☐ Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

25/06/2018


(İmza)

Öğrencinin Adı Soyadı

YUNUS EMRE ÖNAL

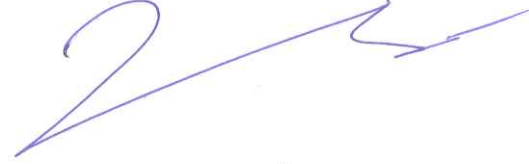
ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/06/2018



YUNUS EMRE ÖNAL

ÖZET

GÜRÜLTÜYE KARŞI DAYANIKLI BİR KENAR TESPİT ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ

Yunus Emre ÖNAL

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut SEZEN

Haziran 2018, 108

Sayısal görüntü işleme süreçlerinde en yaygın kullanılan araçlar arasında kenar tespit algoritmaları yer almaktadır. Bu algoritmaların başarımı, kullanıldıkları görüntü işlemeye dayalı uygulamaların performansını doğrudan etkilemektedir. Söz konusu performansı en çok etkileyen unsurların başında gelen rastgele gürültü koşulları altında, kenar tespit algoritmalarının isabet oranlarının düştüğü görülmektedir. Gürültü seviyesinin artmasıyla, gürültü ile görüntüde tespiti gereken nesneye ait çevrit şablonunun ayrıştırılma problemi ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, mevcut kenar tespit algoritmaları incelenerek gürültü koşullarına bağlı parametrik bir kenar tespit modeli geliştirilmiştir. Böylece gürültü seviyelerine göre uyarlama sağlayan değişken parametre tabanlı kenar tespit algoritması oluşturulmuştur.

ABSTRACT

DEVELOPING A NOISE RESISTANT EDGE DETECTION ALGORITHM

Yunus Emre ÖNAL

Master Of Science, Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Umut SEZEN

June 2018, 108

Edge detection algorithms are to be among the most common tools for digital image processing procedures. The success of these algorithms influences directly the performance of the applications based on image processing in which these algorithms are used. Under random noise conditions, which are the leading factors influencing aforementioned performance mostly, the accuracy ratios of the edge detection algorithms are decreasing. While the noise levels are increasing, the problem of sortation between noise and the edge pattern, which belongs to the object in the image that required to be detected, appears. Within this scope, a noise depended parametric edge detection model developed by analysing the existing edge detection algorithms. Thus, the variable parameter based edge detection algorithm which provides adaptation according to noise levels is introduced.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sürecinde yardımlarını esirgemeyen başta tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Umut SEZEN olmak üzere üzerimde emeği olan tüm öğretim üyesi değerli hocalarıma,

Her zaman desteklerini yanımda hissettiğim kardeşim Veysel Murat ÖNAL ile annem ve babama,

Teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
SÖZLÜKÇE	x
BÖLÜM 1 – GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 – GÖRÜNTÜLERDE KENAR TESPİT İŞLEMLERİ	3
2.1 Kenar Tespit Algoritma Bileşenleri	5
2.2 Gürültü Filtreleme.....	7
2.2.1 Ortanca Filtre	7
2.2.2 Ortalama Filtre	9
2.2.3 Gauss Filtre	9
2.3 Kenar Tespit İşleciyle Maskeleme.....	9
2.3.1 Canny Kenar Tespit Maskesi	10
2.3.2 Roberts Cross Kenar Tespit Maskesi.....	11
2.3.3 Prewitt İşleci Maskesi	12
2.3.4 Sobel İşleci Maskesi	12
2.4 Eşikleme.....	14
2.4.1 Otsu Metodu	15
2.5 İnceltme	16
BÖLÜM 3 – GÜRÜLTÜYE DAYANIKLI KENAR TESPİT MASKESİ GELİŞTİRİLMESİ	17
3.1 Düzgeleme	17
3.2 Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR)	18
3.3 Gürültü Ekleme	18
3.4 Ön Filtreleme Yönteminin Belirlenmesi.....	19
3.5 Kenar Tespit Maskesinin Belirlenmesi.....	21
3.5.1 Maske Boyutunun Seçimi	21
3.5.2 Kenar Tespit Maskesinde Ağırlıkların Seçimi.....	24
3.5.3 Kenar Tespit Maske Ağırlıklarının Parametrik Çözümü	25
3.5.3.1 Gürültü Etkisinin Belirlenmesi	28

3.5.3.2 Döndürme Etkisinin Belirlenmesi	32
3.5.3.3 Optimum Kenar Tespit Maskesinin Belirlenmesi	37
BÖLÜM 4 – GÖRÜNTÜLERDE GÜRÜLTÜ SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ	42
4.1 Gürültü Seviyesi Kestirimi	42
4.2 Sayısal Görüntüde Gürültü Seviyesinin Kestirim Adımları	43
BÖLÜM 5 – KARŞILAŞTIRMALAR	52
BÖLÜM 6 – SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR.....	70
EK: GÜRÜLTÜ SEVİYELERİNE GÖRE KENAR TESPİT METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	74
ÖZGEÇMİŞ.....	108



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1 r değişkenine ait değerlere karşılık gelen gürültü PSNR değerleri.....	19
Tablo 3.2 Gürültü SNR seviyesine göre filtre performans değerleri.....	21
Tablo 3.3 Gürültü seviyelerine göre maksimum PSNR değerlerini sağlayan parametre değerleri.....	30
Tablo 3.4 Döndürme açılarına göre maksimum PSNR değerlerini sağlayan parametre değerleri.....	36
Tablo 3.5 Gürültü SNR seviyesine göre optimum kenar tespit maskesi parametre değerleri	39



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 I görüntüsünün $I(x,y)$ pikseli ve birincil komşulukları	8
Şekil 2.2 Canny kenar tespit maskeleme gösterimi	11
Şekil 2.3 Roberts Cross kenar tespit maskeleri	11
Şekil 2.4 Prewitt işleci maskeleri	12
Şekil 2.5 Sobel işleci maskeleri	13
Şekil 2.6 Sobel işleci maskeleri (düzgelenmiş ağırlıklarla)	13
Şekil 3.1 Kenar tespit maskeleri (maske elemanlarının çarpım işlemine tabi tutulacağı piksel gösterimleri ile)	22
Şekil 3.2 Parametrik kenar tespit maske formu	26
Şekil 3.3 Test görüntüsü (yapay ve gürültüsüz)	27
Şekil 3.4 10,79 dB ve 30,79 dB gürültü SNR seviyeleri aralığı için gürültülü ve gürültüsüz görüntüler üzerinde kenar tespit işleminin kıyaslanması	29
Şekil 3.5 1,25 dB ve 9,21 dB gürültü SNR seviyeleri aralığı için gürültülü ve gürültüsüz görüntüler üzerinde kenar tespit işleminin kıyaslanması	31
Şekil 3.6 Döndürme açısına göre kenar tespit görüntü kıyaslaması ($\theta \in [10, 40]$)	34
Şekil 3.7 Döndürme açısına göre kenar tespit görüntü kıyaslaması ($\theta \in [50, 80]$)	34
Şekil 3.8 Tüm açılarda döndürülen görüntü çifti gösterimi	35
Şekil 3.9 Gürültü SNR seviyesine göre optimum kenar tespit maskesi parametre değerleri	38
Şekil 3.10: Ağırlandırılmış kenar tespit maske formu (13 dB altındaki gürültü SNR değerleri için)	41
Şekil 4.1 Test görüntüleri	45
Şekil 4.2 Gauss filtrede pencere genişliği etkisi	48
Şekil 4.3 Test görüntülerinde gerçek ve kestirilmiş PSNR ilişkisi ($p=9$)	49
Şekil 4.4 Test görüntülerinde gerçek ve kestirilmiş PSNR ilişkisi ($p=3$)	49
Şekil 4.5 Değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemi akış diyagramı	51
Şekil 5.1 15,23 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	53
Şekil 5.2 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 15,23 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	54
Şekil 5.3 10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	56
Şekil 5.4 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	57
Şekil 5.5 6,71 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	58
Şekil 5.6 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 6,71 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	59
Şekil 5.7 15,23 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması	61

Şekil 5.8 10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması.....	62
Şekil 5.9 9,21 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması.....	63



KISALTMALAR DİZİNİ

MSE	:	Hatalar Karesinin Ortalaması (Mean Square Error)
PSNR	:	Tepe Sinyal Gürültü Oranı (Peak Signal to Noise Ratio)
SNR	:	Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)



SÖZLÜKÇE

Alçak Geçirgenli	:	Low-Pass
Basamak Tespiti	:	Step Detection
Bilgisayarla Görü	:	Computer Vision
Çok Spektrumlu	:	Multispectral
Değişim Tespiti	:	Change Detection
Doğrusal Olmayan	:	Nonlinear
Dürtü Tepkisi	:	Impulse Response
Düzgeleme	:	Normalization
Eşikleme	:	Tresholding
Evrişim İşleci	:	Convolution Operator
Gauss Filtre	:	Gaussian Filter
Görüntü İşleme	:	Image Processing
Gradyan Operatörü	:	Gradient Operator
Hüristik Yöntemler	:	Heuristic Methods
İnceltme	:	Thinning
Kenar Tespit	:	
Algoritmaları	:	Edge Detection Algorithms
Nesne Tanıma	:	Object Recognition
Ortalama Filtre	:	Average Filter
Ortanca Filtre	:	Median Filter
Örüntü Tanıma	:	Pattern Recognition
Öznitelik Çıkarımı	:	Feature Extraction
Öznitelik Tespiti	:	Feature Detection
Parlaklık Adaptasyonu	:	Brightness Adaptation
Sayısal	:	Digital
Varyans	:	Variance
Yapay Görme	:	Machine Vision
Tekdüze Dağılım	:	Uniform Distribution
Tuz ve Biber Gürültüsü	:	Salt and Pepper Noise

BÖLÜM 1 – GİRİŞ

Gelişen bilgisayar teknolojilerinin yanı sıra küresel olarak yaygınlaşan nitelikli bilişim altyapısı, daha büyük ve karmaşık verilerin işlenmesi ve kullanımında artışa neden olmuş ve bu doğrultuda farklılaşan uygulama yaklaşımlarını doğurmuştur. Bu durum bilhassa sayısal görüntü verilerinin daha yaygın ve sıklıkla kullanılmasında kendini göstermektedir. Söz konusu görüntü verileri, otomobillerin otonom sürüş ve park fonksiyonlarından, görsel veriye dayalı istatistik çıkarımlarına ve yüz tanıma gibi güvenlik amaçlı yazılımlara kadar oldukça geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Söz konusu kullanımların büyük bir çoğunluğunda ise görüntü tanıma, nesne tanıma, öznitelik çıkarımı tekniklerinden faydalanılmaktadır.

Anılan tekniklerde kullanılan en önemli araçlar arasında kenar tespit algoritmaları olduğunu söylemek mümkündür. Bu çalışmada mevcut kenar tespit algoritmaları üzerinde durulacak olup söz konusu algoritmaların gürültü dirençleri analiz edilecek ve gürültüye dayanıklı bir algoritma geliştirilmesi hedefi gerçekleştirilecektir.

Kenar tespit algoritmalarının farklı bileşenleri bulunmaktadır. Genellikle kenar tespit algoritmalarının ilk aşamasını, görüntüdeki gürültüden kaynaklı olumsuz etkilerin azaltılması ve görüntünün bir sonraki aşamada işlenmesi için daha elverişli bir hale getirilmesi amacıyla yapılan ön filtreleme işlemi oluşturmaktadır. Bir sonraki adımda ise algoritmaya ismini veren işlev olan kenar tespiti için uygulanan maskeleye aşamasıyla; piksel değerleri üzerinden diferansiyel değerler elde edilerek her bir piksel için çıkan sonuçlara göre kenar değeri atamasının yapılmasıyla kenar tespit görüntüsünün oluşturulması gerçekleştirilmektedir. Üçüncü aşamada, elde edilen kenar tespit görüntüsündeki piksellere uygulanacak eşikleme işlemi ile 1 (kenar noktası için) ve 0 (kenar olmayan nokta için) değerlerinden oluşan ikilik sistem görüntülerinin oluşturulması işlemi yer alır. Bu sayede görüntü üzerindeki kenar noktaları ve bu noktalardan oluşan kenar şablonları ortaya çıkmış olduğundan kenar tespit algoritma çıktısı elde edilmiş olur. Fakat bazı uygulamalarda bahsi geçen üçüncü aşama sonrası inceltme adı verilen dördüncü bir aşama daha uygulanır. Bu aşamanın amacı ise şablon kalınlığı bir pikselin üzerinde olan kenarlar için şablon kalınlığını bir piksele kadar düşürmektir. Bu sayede önceden tanımlanan şablonlar ile eşleştirme sürecinin daha kolay gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu tezde “Giriş” bölümünü takip eden ikinci bölümde sayısal görüntü ile görüntü işlemeyle ilişkin temel bilgilerin verilmesinin akabinde kenar tespit yöntemleriyle ilgili ayrıntılı açıklamalara ve literatür araştırmasına yer verilecektir.

Üçüncü bölümde, gürültü seviyelerine göre parametrize edilebilen bir kenar tespit modeli ile gürültüye dayanıklı kenar tespit maskesinin geliştirilecek olmasının yanı sıra bu maskeleme öncesi uygulanacak gürültü giderici ön filtreleme metodu da belirlenecektir. Bahsi geçen ön filtreleme ve kenar tespit maskeleme aşamalarının optimize edilmesi amacıyla deneylere yer verilecektir. Kenar tespit maskesine ait matris elemanlarının farklı koşullar altında optimum katsayılarının araştırılması amacıyla Şekil 3.3’te yer alan test görüntüsü, farklı açılarda döndürme ve farklı seviyelerde rastgele gürültü ekleme işlemlerine tabi tutulacaktır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi için yapılan karşılaştırmalar için ise seçilen referans veriler kullanılarak söz konusu döndürme ve gürültü ekleme gibi manipülasyonlara uğramış görüntüye ait veriler üzerinden PSNR hesaplamaları yapılacaktır. Ayrıca, Bölüm 3.2’de açıklanan PSNR hesaplaması, optimum ön filtreleme metodunun belirlenmesi amacıyla da kullanılacaktır.

Dördüncü bölümde, gürültü seviyesine göre uyarlanabilir bir kenar tespit metodunun uygulanabilmesi için, gürültü seviyesinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalara yer verilecektir.

Beşinci bölümde, mevcut kenar tespit yöntemleri kullanılarak örnek test görüntüleri üzerinden yapılan karşılaştırmalarla, bu tez kapsamında geliştirilen değişken parametre tabanlı kenar tespit yönteminin üstün özellikleri açıklanacaktır.

Sonuçlar bölümünde de tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar özetlenip değerlendirilecektir.

BÖLÜM 2 – GÖRÜNTÜLERDE KENAR TESPİT İŞLEMLERİ

Bu bölümde görüntü işlemeye ilişkin temel bilgilere yer verildikten sonra, görüntülerde kenar tespit edilmesine yönelik algoritma bileşenleri üzerinde durulacaktır.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte elektronik veri işleme konusunda da son yıllarda çok hızlı bir gelişim görülmüştür. Bunun sonucunda verilerin işlenme hızı artmış ve pek çok alanda çeşitli uygulama süreçlerinde bu gelişim kendini göstermiştir.

Benzer şekilde bilişim alanında ani sıçrama eğilimini koruyan bir gelişim süregelmış olmakla birlikte verilerin yüksek hızlarda aktarımı da yaygınlaşmıştır.

Bu durum, görüntü verilerinin iletilmesi ve işlenmesinde kapasite artışını sağlamış ve görüntü işleme tabanlı uygulamaların çeşitliliği ve daha yaygın kullanımı üzerinde pozitif etkileri beraberinde getirmiştir. Böylece görüntü işleme tekniklerinin önemi bir kat daha artmış ve bu konu üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır. Sayısal görüntü işleme araçları arasında yer alan kenar tespit algoritmaları da bu konuda en fazla çalışmaların yapıldığı alanlardan biri olmuştur.

En önemli görüntü işleme araçlarından biri olan kenar tespit tekniklerine yönelik olan bu çalışmada, söz konusu tekniklere ilişkin ayrıntılara geçilmeden önce görüntü işleme ile ilgili bir takım temel bilgilere yer verilmesinin yerinde olacaktır.

Çevremizdeki en yaygın görüntü işleme, aslında insan görme sisteminde gerçekleşmektedir. Bu sistemde temel olarak ışık kaynaklarından gelen ve yansıma veya kırınımına uğrayabilen ışık ışınları göze ulaştığında, bu sinyaller foto reseptörler tarafından algılanıp beyin tarafından yorumlanmaya uygun olan elektriksel sinyallere dönüştürülür. Fakat sadece görünür ışık spektrumu üzerinde tanımlı olan ve yaklaşık 400 nm ile 700 nm değer aralığında dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar olan ışık ışınları söz konusu dönüşüme uğrayarak merkezi sinir sistemine iletilir ve beyin tarafından bu sinyaller yorumlanarak görme gerçekleşir.

Görme işlevi ile ilgili vurgulanması önem arz eden kavramlardan biri de kontrast farkı ve buna bağlı ortaya çıkan parlaklık adaptasyonu ile kontrast duyarlılığı olgularıdır. İki farklı parlaklık düzeyi arasında ayırım yapabilme yeteneğine, kontrast duyarlılığı adı verilir [1].

Yukarıda, insanların görme sistemlerinin temelini oluşturan bilgilere kısaca değinilmiştir. Söz konusu görme sistemleri, sayısal görüntü işleme sistemleri ile birçok

konuda benzerlik göstermektedir. Örnek vermek gerekirse; insan görme sisteminde analog temele dayanan görüntü işleme yapılmaktadır. Buradaki göz unsuru bir kamera işlevine sahiptir ve fotoğraf makinası olarak düşünülebilir. Ayrıca, bahsedilen görüntü işleme beynin çevrimiçi, paralel ve çok spektrumlu akıllı sistemi ile gerçekleşmektedir [2].

Konuyu bir başka şekilde ifade etmek gerekirse, elektromanyetik ışık sinyali; nasıl gözdeki sinirlerde iletmeye ve beyinde işlenmeye uygun olan elektriksel sinyale çevriliyorsa, analog/sayısal dönüştürücüler tarafından da bilgisayar kullanımına uygun sayısal sinyale evrilmektedir. Ayrıca, görüntüye ilişkin elektriksel sinyalin beyinde yorumlanması gibi bilgisayar vasıtasıyla da sayısal görüntü sinyali işlenmekte ve söz konusu sinyallerin anlamlı hale getirilmesi sağlanmaktadır [3], [4].

Bahsi geçen görüntü işleme uygulamalarında oldukça önemli bir yer tutan kenar tespit algoritmaları, üzerinde en çok araştırma yapılan çalışmalar arasındadır. 1986 yılında J. Canny tarafından ortaya konulan Canny kenar tespit yönteminin ortaya konulması ile ciddi bir ivme kazanan kenar tespit çalışmaları kapsamında pek çok yöntem geliştirilmiştir. Doğrudan veya çeşitli düzenlemelerle dolaylı olarak kullanılmaya devam edilmekte ve dünya genelinde kabul görmüş kenar tespit yöntemlerinin yanı sıra, son yıllarda özellikle gürültüye karşı dayanıklılık özelliğiyle ön plana çıkan algoritmalar geliştirilmektedir. Örneğin yerel tespit temelli gradyan hesaplamasına yönelik olarak yerel ikilik sistem örüntü yaklaşımı, gürültüye karşı dayanıklı kenar tespit çalışmaları arasında yer almaktadır [5]. Ayrıca, bu bağlamda, iki farklı piksel kümesi arasındaki farkın hesaplanması temeline dayanan ve göreceli olarak homojen içerik taşıyan komşu iki bölgenin sınırlarının kenar örüntüsü olarak kabul edildiği gürültüye karşı dayanıklı kenar tespit algoritması geliştirilmesi üzerine de çalışmalar yapılmaktadır [6]. Bunu yanı sıra uyarlamalı yöntemler de özellikle son birkaç yıl içerisinde sıklıkla gündemde olan bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Tuz ve biber gürültüsü olarak bilinen gürültüyü giderme bağlamında ortaya konulan Fuzzy anahtarlama ağırlıklandırma özelliği taşıyan ortalama filtre kullanılarak geliştirilen uyarlamalı gürültü giderme algoritması da oldukça verimli bir gürültü temizleme aracı olma niteliği taşımaktadır [7]. Bu çalışma ile aynı doğrultuda olarak yine tuz ve biber gürültüsü karşısında etkili bir kenar tespit işleci niteliği taşıyan ve uyarlamalı toplam değişim yaklaşımı ile kenar verisine ilişkin iyileştirme sürecinin işletildiği çalışma kapsamında, gerek gürültü giderme ve gerekse süreklilik gösteren bağlantılı kenar şablonlarının korunması ve kıvrımlı kenar şablonlarının lokalizasyonu konusunda olumlu sonuçların elde edildiği görülmektedir [8].

Söz konusu çalışmalar incelendiğinde, ya sadece %50-60'a kadar olan tuz ve biber gürültüsü karşısında başarı gösterebilen uyarlanabilir bir yöntemin ortaya konulmuş olduğu [8], ya da gürültü seviyesine bağlı olarak uyarlanabilir etkili bir yöntem özelliği göstermekten uzak bir çözüm sunulduğu görülmektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere bu çalışmaların pek çoğu, çeşitli gürültü koşulları için genel bir çözüm sunmak yerine, yalnızca tuz ve biber gürültüsü koşullarında başarı gösterebilme amacı taşımaktadır [7], [8]. Dolayısı ile rastgele gürültü koşulları altında, gürültü seviyesine göre uyarlanabilir, etkili ve verimli bir otomatik kenar tespit algoritması geliştirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir. Bundan dolayı, bu tez çalışması kapsamında, rastgele formdaki gürültü seviyeleri karşısında uyarlanabilme özelliği taşıyan, değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemi geliştirilecektir.

2.1 Kenar Tespit Algoritma Bileşenleri

Sayısal görüntüde kenar tespit, piksel değerlerindeki keskin değişimleri veya bir başka deyişle görüntüde sürekliliğin kaybolduğu yerleri belirleme amacıyla geliştirilen çeşitli matematiksel metotları içeren bir görüntü işleme çeşididir. Görüntüdeki bu keskin değişimler kenar olarak isimlendirilen tipik eğri ve doğru kümelerini oluşturur. İki boyutlu görüntülerde kenar tespiti, iki boyutlu bir sinyal işleme çeşididir. Aslında görüntüde kenar tespiti, tek boyutlu sinyallerde basamak tespiti olarak bilinen sürekliliği bozan noktaların bulunması veya zaman karşısında sinyalin süreksizlik gösterdiği noktaları bulma olarak tanımlanan değişim tespiti ile benzer bir meseledir. Kenar tespit; görüntü işleme, yapay görme, bilgisayarla görü ve özellikle de öznitelik tespiti ile öznitelik çıkarımı alanlarında temel bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır [9].

Görüntüdeki süreksizlik gösteren yerlerin bulunması, görüntü verisinin içerdiği önemli hususları ve görüntü uzayındaki özelliklerdeki değişimleri tespit etmeyi amaçlar. Görüntüdeki süreksizliğe neden olarak genel kabul bağlamında aşağıdaki sebeplerin sıralanması mümkündür:

- Derinlikteki süreksizlikler
- Yüzey yönelimindeki süreksizlikler
- Materyal özelliklerindeki değişimler
- Görüntüdeki aydınlanma farklılıkları [10], [11]

İdeal durumda, görüntüye kenar tespit işlemi uygulanması sonucunda nesnelerin kenarlarını veya yüzey yönelimindeki süreksizlikleri gösteren birbiriyle birleşik eğri

kümelerinin elde edilmesi beklenir. Bu sayede kenar tespit işlemi, görüntüde var olan ve amaca hizmet etmekten uzak olan gereksiz sayılabilecek ciddi miktardaki veriyi filtrelerken, görüntüde var olan önemli yapısal özellikleri koruyabilmektedir. Kenar tespit aşamasında istenilen çıktının alınması, ilerleyen veri işleme süreçlerinin de daha kolay devam ettirilmesine katkı sağlayacak bir basamaktır. Ancak gerçek hayatta, ortalama bir karmaşıklık içeren görüntülerde bile böylesi ideal kenarların tespit edilmesi her zaman mümkün olmamaktadır.

Bu nedenle önemli kullanım alanlarına sahip olan kenar tespit metotlarının üzerine eğililmesi ve mevcut tekniklerin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Yaygın olarak kullanılan ve en bilinen kenar tespit teknikleri arasında Canny, Prewitt, Sobel ve Roberts Cross kenar tespit metotları yer almaktadır. Her biri kullanım alanı ve işlemeye konu görüntü özelliklerine göre, diğer kenar tespit algoritma bileşenleri ile optimize edilerek öznetelik tespiti, öznetelik çıkarımı, bilgisayarla görü gibi alanlarda kullanılabilir. Bu çalışmada ele alınan algoritmaların bileşenlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- Gürültü giderici ön filtreleme
- Kenar tespit maskeleyesi (piksel komşulukları arasındaki süreksizlik durumunun tespiti)
- Eşikleme
- İnceltme

Gürültü giderici ön filtreleme sayısal görüntünün ileri işleme aşamaları öncesinde görüntünün üzerinde var olan gürültü sinyalini mümkün olduğunca kaldırma amacıyla uygulanır. Bu aşamada, görüntüdeki kenar şablonlarına ait veriler korunurken, gerek hatalı kenar tespiti ve gerekse de mevcut kenarın tespit edilememesine sebep olabilecek gürültü sinyallerinin görüntüden arındırılması hedeflenmektedir.

Piksel komşulukları üzerinden diferansiyel değer tespitine dayanan kenar tespit maskeleyesi aşamasında ise görüntüdeki keskin değişimler veya bir başka deyişle

süreksizlikler saptanmaya çalışılarak kenar koordinatlarına ait piksel değerleri görüntüdeki değişimin şiddetine göre ağırlıklandırılır.

Eşikleme safhasında, ağırlıklandırılmış olan piksel değerlerine göre belirlenen eşik değer veya eşik değerler kümesine göre belirli büyüklüğün altında değerlere sahip olan pikseller kenar koordinatı olmadığı kabul edilerek işlenmiş görüntü verisinden arındırılır ve ikilik değerlere sahip piksellerden oluşan kenar tespit görüntüsü elde edilir.

İnceltme aşamasının uygulama alanına göre kullanılması veya kullanılmaması tercih edilebilir. Ancak şablon eşleştirme işlemlerinin yapıldığı öznitelik tespiti veya çıkarımı gibi uygulama alanları için inceltme aşaması, işlem kolaylığı ve daha iyi isabet oranı sağladığından genellikle tercih edilir. Bu aşamada kenar olarak tespit edilen şablonun kalınlığının tek bir piksel kalınlığına kadar inceltilmesi işlemi yapılır.

Yukarıda bahsedilen aşamalarla ilgili ayrıntılara ayrı başlıklar altında aşağıda yer verilmektedir.

2.2 Gürültü Filtreleme

Kenar tespit işleminin isabet oranının artırılması amacıyla görüntüdeki gürültünün mümkün olduğunca görüntüden kaldırılması için bir ön işlem olarak gürültü filtreleme işlemi uygulanır. Gürültünün niteliği, filtre seçiminde önemli bir parametredir. Örneğin; görüntüdeki gürültü yüksek frekans özelliğinde ise alçak geçirgenli filtre ile arındırma işlemi yapılır [12].

Görüntülerde gürültü giderme amaçlı çeşitli filtreler kullanılmaktadır. Ortalama filtre ve ortanca filtre gürültü gidermede sıkça kullanılan filtrelerdendir [13]. Gauss filtreleme yöntemi ise özellikle tam olarak formu bilinmeyen, ancak normal dağılımda olduğu varsayılan gürültülerin temizlenmesinde kullanılan etkili filtreleme metotları arasındadır [14].

Yukarıda sayılan bu üç farklı filtre çeşidine ait bilgilere aşağıda yer verilmektedir:

2.2.1 Ortanca Filtre

Ortanca filtre görüntü veya sinyal üzerinde bulunan gürültünün ortadan kaldırılması amacıyla yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan bir sayısal filtreleme tekniğidir. Daha ileri işleme süreçleri öncesinde görüntü veya sinyaldeki gürültünün temizlenmesi amacıyla uygulanan bir ön işlem özelliği taşımaktadır. Belirli koşullar altında kenar verilerini korurken gürültüyü isabetli bir şekilde giderebilme niteliğine sahip olduğundan, özellikle

kenar tespit işlemi gibi görüntü işleme uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır.

Sayısal görüntüde ortanca filtrenin temel kullanım tekniği, her bir piksel için bu piksel ile kendisine eş uzaklıktaki komşu piksellerin değerlerinden oluşan bir alt küme oluşturulması ve bu kümedeki büyüklük sırasına göre tam ortada bulunan değerin tespit edilmesi şeklinde açıklanmaktadır [15], [16], [17]. Ortanca filtreleme ile yeni değerin tayin edilmesi işleminin izah edilmesi adına, bir $I(x,y)$ pikseli ile bu pikselin sekiz adet komşu pikseli aşağıda ele alınmıştır (Şekil 2.1).

	$I(x-1,y-1)=120$	$I(x,y-1)=230$	$I(x+1,y-1)=253$	
	$I(x-1,y)=233$	$I(x,y)=130$	$I(x+1,y)=135$	
	$I(x-1,y+1)=200$	$I(x,y+1)=238$	$I(x+1,y+1)=242$	

Şekil 2.1 I görüntüsünün $I(x,y)$ pikseli ve birincil komşulukları

Şekil 2.1’de I görüntüsü içerisinde yer alan $I(x,y)$ pikselinin ve birincil yakınlıktaki komşu piksellerinin gri seviye değerleri gösterilmektedir. Burada ortanca filtreleme işlemi için söz konusu piksel değerlerinin elemanı olarak kabul edildiği bir A altkümesi, $A=\{120, 130, 135, 200, 230, 233, 238, 242, 253\}$ şeklinde oluşturulmuştur.

Bu alt kümenin dokuz elemanı büyüklüklerine göre sıralandığında ortanca değer olan beşinci değer 230, $I(x,y)$ pikselinin filtreleme sonrası yeni değeri olarak atanmaktadır.

2.2.2 Ortalama Filtre

Ortalama filtre ise adından da anlaşılacağı üzere, işleme konu olan piksel değerlerinin aritmetik ortalamasının alındığı bir filtreleme çeşididir. Günümüzde pek çok uygulamada kolay ve aynı zamanda çoğu koşulda etkili bir gürültü yumuşatma aracı olduğu için tercih edilmektedir.

Kullanılan komşuluk yaklaşımı ortanca filtre ile benzerlik gösterir. Yukarıdaki örnek için ortalama filtre uygulanacak olursa A kümesinin elemanlarının aritmetik ortalaması alınacak ve sonuç olarak yaklaşık olarak 198 değeri filtreleme sonucu $I(x,y)$ pikselinin yeni değeri olarak elde edilecektir.

2.2.3 Gauss Filtre

Gauss filtre sayısal görüntülerdeki gürültü gidermek için kullanılan iki boyutlu bir evrişim işlecidir. Bu yönüyle ortalama filtreye benzemekle birlikte, çan eğrisi formunda olan Gauss dağılımı sayesinde uzak komşuluklara daha az ağırlık verilmesini sağlayarak en yaygın görülen gürültü çeşitlerinden olan normal dağılıma sahip gürültüde daha isabetli sonuçlar sağlayabilmesinin yanı sıra, diğer gürültü formlarında da olumlu sonuçlara ulaşılmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca, ortalama filtreye göre keskin gürültü formlarının olumsuz yanlarından daha az etkilenmektedir [18].

Sayısal görüntüde her bir piksele uygulanan ve söz konusu filtrenin dürtü tepkisi olan Gauss fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de x ve y kartezyen düzlem koordinatları olmakla beraber, σ ise standart sapmayı ifade etmektedir.

2.3 Kenar Tespit İşleciyle Maskeleye

Bu bölüm kenar tespit işlemlerinin en temel ve sürece adını veren kenar tespitinin doğrudan yapıldığı aşamaya ilişkindir. Çalışma kapsamında Canny, Prewitt, Sobel ve Roberts Cross kenar tespit metotları olarak bilinen yaygın kenar tespit teknikleri üzerinde durulacağından, bunlara ilişkin piksel komşulukları üzerinden hesaplanan diferansiyel değer tespiti yöntemlerinden bahsedilecektir.

Bu yöntemlerde temel yaklaşım, görüntü verisinin içerdiği önemli hususların ve görüntü uzayındaki özelliklerdeki değişimlerin tespit edilmesi amacıyla görüntüdeki süreksizliğin veya piksel değerlerindeki keskin değişimlerin analiz edilmesidir. Söz konusu

değişimleri belirleyebilmek için her bir piksel için ayrı ayrı olmak üzere komşu piksellere göre değer farklılıklarının bulunmasını öngören diferansiyel değer tespit yaklaşımı ile görüntü işlenir. Bunun için bahse konu yöntemlerde, komşu pikseller arasındaki değişimi tespit edebilmek için her biri için kendine has maskeler kullanılmaktadır. Bu maskeler görüntüdeki her bir piksele, pikselin komşuluğundaki diğer piksel değerleri de kullanılarak uygulanır. Böylece bu aşamada girdi olarak kullanılan görüntü ile aynı gri renk seviyesindeki değerlere sahip bir kenar tespit görüntüsü elde edilir.

Bununla birlikte, söz konusu kenar tespit yöntemlerinde, koordinat düzlemindeki x ve y eksenlerinin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere maske çifti bulunmaktadır. Görüntüde her iki eksen doğrultusunda diferansiyel değer saptanmasında kullanılan maske çiftinin ikisi beraber, kenar tespit yöntemine mahsus maske formunu oluşturmaktadır. Daha sonra iki eksen için ayrı ayrı hesaplanan diferansiyel değerlerden, ilgili piksel için tek bir diferansiyel değer saptanmaktadır. Bir başka ifadeyle, eksenlerle aynı doğrultudaki iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü hesaplanmaktadır.

Görüntü üzerindeki bir P_0 pikseli için x -ekseni ve y -ekseni doğrultularında uygulanan maskeleme sonrası elde edilen değerler sırasıyla D_x ve D_y olmak ve I görüntüsündeki $I(x,y)$ pikseli için hesaplanan gradyan değeri D (kenar tespit değeri) olmak üzere ilgili matematiksel gösterimlere aşağıda yer verilmektedir:

$$\nabla I(x, y) = \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$D = \|\nabla I(x, y)\| \quad (2.3)$$

$$D = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad (2.4)$$

Yukarıda, ∇ gradyan operatörünü, $\nabla I(x,y)$ ifadesi I görüntüsünün x ve y lokasyonundaki gradyanını ve $\|\cdot\|$ de Euclid normunu ifade etmektedir. Aşağıda ise, bahse konu tekniklere ait maske formları açıklanmaktadır:

2.3.1 Canny Kenar Tespit Maskesi

Canny kenar tespiti, 1986 yılında John F. Canny tarafından geliştirilmiş bir kenar tespit işlecidir [19]. Bu metotta kullanılan 2×2 'lik maskeleme, x ve y eksen bileşenleri formuyla Şekil 2.2'deki gibi belirtilebilir.

1	-1
0	-a

a) x-ekseni maskesi

1	0
-1	-a

b) y-ekseni maskesi

Şekil 2.2 Canny kenar tespit maskeleme gösterimi

Bir I görüntüsü üzerindeki $I(x,y)$ pikseli için yapılan Canny kenar tespit maskeleme işlemine ait gradyan değer çiftinin hesaplanması aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$D_x = I(x, y) - I(x + 1, y) - a I(x + 1, y + 1) \quad (2.5)$$

$$D_y = I(x, y) - I(x, y + 1) - a I(x + 1, y + 1) \quad (2.6)$$

Buradaki a değeri sıfır olabileceği gibi uygulama alanına göre bu sabitte değişiklikler yapılabilmektedir. Canny kenar tespit tekniğine yönelik pek çok modifikasyon çalışması olmakla birlikte genelde a için yaklaşık “0,707 ($1/\sqrt{2}$)” değeri tercih edilmektedir.

2.3.2 Roberts Cross Kenar Tespit Maskesi

Roberts Cross kenar tespiti, ilk kenar tespit yöntemlerinden olup ilk olarak Lawrence Roberts tarafından 1963 yılında ortaya konulmuştur. Bu yöntemin en cezbedici yönü basitliği, yani küçük boyutlu ve sadece tam sayı değeri alan maske yapısına sahip olmasıdır. Ancak bilgisayar hızlarındaki gelişmelerle birlikte bu avantaj önemini yitirip ihmal edilecek bir seviyeye gelmiştir ve bu yöntem gürültüden etkilenme konusunda oldukça hassas olma dezavantajına da sahiptir [20]. Buna rağmen, yine de bu yöntem bazı modifikasyonlarla kullanılabilir.

Roberts Cross kenar tespit yöntemine ait maske çiftine Şekil 2.3’te yer verilmektedir.

1	0
0	-1

a) x-ekseni maskesi

0	1
-1	0

b) y-ekseni maskesi

Şekil 2.3 Roberts Cross kenar tespit maskeleri

Bir I görüntüsü üzerindeki $I(x,y)$ pikseli için yapılan Roberts Cross kenar tespit yöntemine ait gradyan değer çiftinin hesaplanması aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$D_x = I(x, y) - I(x + 1, y + 1) \quad (2.7)$$

$$D_y = I(x + 1, y) - I(x, y + 1) \quad (2.8)$$

2.3.3 Prewitt İşleci Maskesi

Prewitt işleci oldukça geniş bir uygulama alanında sayısal görüntülerdeki kenar şablonlarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Roberts Cross kenar tespitinden farkı, kullanılan maskelerin boyutları ve formları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemde, maskenin geometrik olarak tam ortasında yer alan eleman ile kenar değeri hesaplanacak piksel değerinin çarpılmasının esas alındığı, 3x3 boyutunda maskeler kullanılmaktadır. Bu maske formları Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

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

a) x-ekseni maskesi

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

b) y-ekseni maskesi

Şekil 2.4 Prewitt işleci maskeleri

Bir I görüntüsü üzerindeki $I(x,y)$ pikseli için yapılan Prewitt kenar tespit yöntemine ait gradyan değer çiftinin hesaplanması aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$D_x = I(x + 1, y - 1) + I(x + 1, y) + I(x + 1, y + 1) - I(x - 1, y - 1) - I(x - 1, y) - I(x - 1, y + 1) \quad (2.9)$$

$$D_y = I(x - 1, y - 1) + I(x, y - 1) + I(x + 1, y - 1) - I(x - 1, y + 1) - I(x, y + 1) - I(x + 1, y + 1) \quad (2.10)$$

2.3.4 Sobel İşleci Maskesi

Sobel işleci bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olup günümüzde öznitelik tespiti ve öznitelik çıkarımı gibi pek çok görüntü işleme alanında tercih edilmektedir. Prewitt işlecinin biraz daha geliştirilmiş hali olarak yorumlanabilir. Bu işleç

Prewitt işlecinden maskelerdeki katsayı farklılıkları ile ayrılmaktadır. Bu değişiklikteki amaç kenar değeri hesaplanacak piksel ile aynı doğrultuda bulunan komşu çiftlerine daha fazla ağırlık verilmesidir. Yani x -ekseni maskesinde x -ekseni doğrultusundaki komşuluklar ve y -ekseni maskesinde y -ekseni doğrultusundaki komşulukların daha fazla ağırlıklandırılması amaçlanmıştır. Sobel işlecine ait maske formlarına aşağıda Şekil 2.5'te yer verilmektedir.

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

a) x -ekseni maskesi

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

b) y -ekseni maskesi

Şekil 2.5 Sobel işleci maskeleri

Dilenirse Şekil 2.5'teki Sobel algoritmasına ilişkin maske formu, ağırlıklar skaler ölçeklendirme ile yeniden düzenlenerek (tüm ağırlıklar $\frac{1}{2}$ ile çarpılarak) Şekil 2.6'daki gibi de gösterilebilir.

-0,5	0	0,5
-1	0	1
-0,5	0	0,5

a) x -ekseni maskesi

0,5	1	0,5
0	0	0
-0,5	-1	-0,5

b) y -ekseni maskesi

Şekil 2.6 Sobel işleci maskeleri (düzgelenmiş ağırlıklarla)

Bir I görüntüsü üzerindeki $I(x,y)$ pikseli için yapılan Sobel kenar tespit maskeleme yöntemine (düzgelenmiş ağırlıklarla) ait gradyan değeri çiftinin hesaplanması aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$D_x = 0,5I(x + 1, y - 1) + I(x + 1, y) + 0,5I(x + 1, y + 1) - 0,5I(x - 1, y - 1) - I(x - 1, y) - 0,5I(x - 1, y + 1) \quad (2.11)$$

$$D_y = 0,5I(x - 1, y - 1) + I(x, y - 1) + 0,5I(x + 1, y - 1) - 0,5I(x - 1, y + 1) - I(x, y + 1) - 0,5I(x + 1, y + 1) \quad (2.12)$$

2.4 Eşikleme

Eşikleme, daha önceki başlıklarda incelenen kenar tespit aşamalarının ardından elde edilen işlenmiş görüntüdeki piksellerden belirlenen eşik değerin üstünde değer alanların kenar verisi taşıdığına ve kalanların temizlenmesi gereken gürültü veya kenar olmayan gereksiz ayrıntı olduğuna karar verilmesi aşamasıdır. Bu aşama sonrası gri seviye değere sahip işlenmiş görüntü piksellerine eşik değerin altında olup olmamasına göre “0” ve “1” değerleri atanarak ikili değer görüntü oluşturulmuş olur. Genelde eşik değerin altında değere sahip piksellere “0” diğerlerine ise “1” değeri atanır.

Eşik değerin, uygulama türüne göre sabit bir sayı olarak belirlenebileceği gibi görüntü alma şartlarına veya görüntü içeriklerindeki farklılıklara göre otomatik olarak elde edildiği yöntemlerin de kullanılması mevzu bahistir. Sabit eşik değerlerin belirlenebilmesi için uygulama kısıtlarının oldukça katı olması gereklidir. Aksi takdirde otomatik eşikleme yöntemi, kenar tespit işleminin başarımı açısından daha fazla tercih edilmektedir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere görüntü üzerindeki şablonların belirlenmesinde kullanılan kenar tespit algoritmalarındaki en önemli aşamalardan birisi de gürültü etkilerinin azaltılıp kenar şablonlarının güçlendirilmesi sonrası uygun bir eşik değeri kullanılarak görüntüdeki piksel koordinatlarını kenar ve kenar olmayan şeklinde iki gruba ayırmaktır. Bu amaçla kenar tespit algoritmalarının en önemli tamamlayıcı öğelerinden birisi uygun bir eşik değerin tespit edilmesidir. Ancak optimum tek bir eşik değerin belirlenmesi her zaman mümkün olamamaktadır. Çünkü uygulanması gereken ideal eşik değeri farklı içerik ve gürültü seviyelerine sahip görüntüler için farklılık göstermektedir. Tam olarak bu noktada uyarlamalı veya bir başka deyişle otomatik eşikleme olgusu ortaya çıkmaktadır.

Bu nedenle kenar tespit algoritmalarında kullanılmak amacıyla otomatik eşikleme algoritmalarının geliştirilmesi için bilim insanları tarafından oldukça ciddi çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda hem etkili hem de basit ve verimli bir teknik geliştirilmeye çalışılmıştır.

Otomatik eşikleme yöntemleri arasında en yaygın bilineni Otsu metodudur [21]. 1979 yılında Nobuyuki Otsu tarafından ortaya konulan yönteme ilişkin detaylı bilgilere aşağıda yer verilecektir.

Kolay hesaplama özelliği nedeniyle, Otsu metodu, tüm bölütleme yöntemleri arasında görüntülerde eşik değeri saptama konusunda en başarılı metotlardan biridir [22]. Global bir eşik değeri seçme metodu olan Otsu metodu, hem basit hem de etkili olma özelliklerini bir arada barındırması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. Otsu metodu aynı zamanda, görüntülerin gri-seviye histogramı kullanılarak uygulanan en kullanışlı eşik değeri tespit tekniklerinden biri olarak kabul edilmektedir [24]. Bu özellikleri ile Otsu metodunun bu çalışma kapsamında geliştirilen kenar tespit algoritmasının eşik değeri tayin edilme safhasında kullanılması tercih edilmiştir.

2.4.1 Otsu Metodu

1979 yılında ortaya konulan Otsu metodunun [21] en iyi otomatik eşik değeri seçim yöntemlerinden biri olduğu kabul edilmektedir [25], [26]. Bu metodun temel prensibi görüntü piksellerini iki sınıfa ayırmak ve bu iki sınıf arasındaki varyans değerini maksimize eden en iyi eşik değeri belirlemektir [27], [28], [29].

$F(x,y)$ gri seviye görüntünün değeri aralığı $G=[0, L-1]$; P_i her gri seviyenin olasılığı; t , görüntüsü $C_0=[0,t]$ ile $C_1=[t+1,L-1]$ sınıflarına ayıran eşik değeri olarak kabul edilirse, iki sınıfın olasılıkları sırasıyla,

$$a_0 = \sum_{i=0}^t P_i \quad (2.13)$$

ve

$$a_1 = 1 - a_0 \quad (2.14)$$

olmaktadır.

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \quad (2.15)$$

ve

$$\mu_t = \sum_{i=0}^t iP_i \quad (2.16)$$

olmak üzere, her iki sınıfın ortalama piksel değeri ise sırasıyla,

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t \frac{iP_i}{a_0} = \frac{\mu_t}{a_0} \quad (2.17)$$

ve

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{iP_i}{a_1} = \frac{\mu - \mu_t}{1 - a_0} \quad (2.18)$$

olarak bulunmaktadır.

Bu durumda sınıf arasındaki varyans farkı olarak tanımlanan kriter fonksiyonu aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\delta^2(t) = a_0(\mu_0 - \mu)^2 + a_1(\mu_1 - \mu)^2 = a_0 a_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \quad (2.19)$$

Sonuç olarak Otsu metoduna göre, yukarıdaki denklemin hesaplanması (nümerik yöntemlerle çözülmesi) ile bulunacak olan maksimum t değeri, optimum eşik değeri olarak saptanmış olur.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen kenar tespit algoritmasında eşik değeri tespit kısmı için, yukarıdaki denklemin çözüm kümesindeki en büyük değerin eşik değeri olarak kabul edildiği Otsu metodu kullanılmaktadır.

2.5 İnceltme

Bu aşama, kullanılacak uygulama alanına göre eşikleme aşaması sonrasında elde edilen ikili değer görüntüsündeki kenar şablonlarının tek bir piksel kalınlığına kadar inceltilmesi aşamasıdır. Özellikle şablon eşleştirme süreçlerini içeren öznitelik tespiti ve nesne tanıma uygulamalarında inceltme işleminin rolü oldukça önemlidir. Çünkü inceltirilerek tek bir piksel kalınlığına indirgenmiş kenar eğri veya doğrularının matematiksel model benzeşimlerinin tespiti, kalın kenar şablonlarına göre çok daha kolay ve maliyet etkili olarak gerçekleştirilebilmektedir [30]. Bununla birlikte, inceltme algoritmalarını yinelemeli ve yinelemesiz olmak üzere iki grupta değerlendirmek mümkündür [31], [32]. Algoritmasında ara değer çıktıları girdi olarak işleme tabi tutan döngü kodu bileşenine sahip yinelemeli olan inceltme algoritmalarının özellikle farklı yön ve kalınlıklardaki kenar verileri içeren görüntülerde daha güçlü ve etkili olduğu kabul edilmektedir [33].

BÖLÜM 3 – GÜRÜLTÜYE DAYANIKLI KENAR TESPİT MASKESİ GELİŞTİRİLMESİ

Bu bölümde, gürültüye dayanıklı kenar tespit maskesinin geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar yapılacak ve bu maskeleme işlemi öncesi uygulanan gürültü giderici ön filtreleme metodu belirlenecektir. Böylece, önceki bölümlerde bahsedilen ve yaygın olarak bilinen kenar tespit yöntemlerine ait algoritmaların görüntüdeki kenar şablonlarını tespit etmekte ve gürültü içeriğini temizlemekte etkisini kaybetmeye başladığı rastgele dağılıma sahip yüksek gürültü durumlarında, daha başarılı sonuçlar ortaya koyacak bir yöntem geliştirilmiş olacaktır.

Söz konusu maskeleme işlemi için, nedenleri ilerleyen kısımlarda açıklanacağı üzere 3x3 boyutlarındaki parametrik bir matris modeli esas alınacaktır. Bahsi geçen matrisin parametrik elemanları, yaygın olarak bilinen Sobel ve Prewitt gibi 3x3'lük maskelerde ortak olan katsayılar haricinde kalan, yani farklılığın olduğu köşe noktalarındaki elemanlar için belirlenecektir. Parametrik yaklaşımın en önemli nedenleri, farklı kenar tespit işlemlerine ait maske elemanlarının katsayılarındaki farklılıkların olumlu ve olumsuz etkilerini bulmak ve hangi koşullarda hangi maskelerin daha olumlu sonuçlar doğuracağını anlamakla beraber, bu kapsamda daha isabetli neticeler verecek yeni maske katsayılarını tespit etmek olacaktır. Böylece farklı gürültü seviyesi koşulları için farklı kenar tespit maskelerinin belirlenmesi konusu araştırılacak ve kenar tespit işlemine tabi tutulacak görüntünün gürültü seviyesine göre optimum kenar tespit maskesinin otomatik olarak atanmasını sağlayan bir yöntem geliştirilmiş olacaktır.

Ayrıca, bu doğrultudaki çalışmalarda kullanılan temel tanımlamalara hemen aşağıda yer verilecektir.

3.1 Düzgeleme

Bu tez kapsamında incelenen tüm gri-seviye görüntülere ait piksel değerleri [0 1] aralığına düzgelenmiştir. Bu işlem bir I görüntüsünün her bir piksel değeri için aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$\tilde{I}$ düzgelenmiş görüntü, $Min(\cdot)$ verilen görüntüdeki minimum piksel değerini veren operatör ve $Max(\cdot)$ verilen görüntüdeki maksimum piksel değerini veren operatör olmak üzere,

$$\tilde{I}(x, y) = \frac{I(x, y) - Min(I)}{Max(I) - Min(I)} \quad (3.1)$$

olmaktadır.

3.2 Tepe Sinyal Gürültü Oranı (PSNR)

Bu tez kapsamında kullanılan ve bahsi geçen herhangi bir işleme tabi tutulmamış orijinal test görüntüleri I_1 , koordinat düzleminde (x,y) noktasındaki I_1 'e ait piksel değeri ise $I_1(x,y)$; test amacıyla döndürme, gürültü ekleme ve filtreleme gibi işlemlere tabi olmuş görüntüler I_2 ve koordinat düzleminde (x,y) noktasındaki I_2 'ye ait piksel değeri ise $I_2(x,y)$; I_1 ve I_2 görüntülerinin $M \times N$ boyutunda olduğu kabul edilmek üzere, I_1 ve I_2 arasında tepe sinyal gürültü oranı (PSNR) hesaplaması aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

$$MSE(I_1, I_2) = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I_1(x, y) - I_2(x, y))^2 \quad (3.2)$$

$$PSNR(I_1, I_2) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{MSE(I_1, I_2)} \right) \quad (3.3)$$

3.3 Gürültü Ekleme

Bu çalışma kapsamında görüntülere test amaçlı gürültü eklenmesinde kullanılmak amacıyla; r bir ondalık sayı olmak üzere, $[-r, +r]$ aralığında tanımlı tekdüze dağılım fonksiyonu $u(-r, r)$ kullanılarak test görüntüsü ile aynı boyutta gürültü görüntüsü elde edilmektedir. N gürültü görüntüsü olmak üzere N 'nin piksel değerlerinin oluşturulmasına ilişkin matematiksel gösterim aşağıdaki gibidir:

$$N_r(x, y) = u(-r, r) \quad (3.4)$$

Gürültü eklenmiş görüntüyü aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\tilde{I}_r = I + N_r \quad (3.5)$$

Aşağıda Tablo 3.1'de, gürültü katsayısı olan r değerleri ile buna karşılık gelen ortalama PSNR değerleri arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Tablo 3.1 r değişkenine ait değerlere karşılık gelen gürültü PSNR değerleri

r Değeri	Gürültü PSNR Değeri (dB)
0,05	30,79
0,10	24,77
0,15	21,25
0,20	18,75
0,25	16,81
0,30	15,23
0,35	13,89
0,40	12,73
0,45	11,71
0,50	10,79
0,60	9,21
0,70	7,87
0,80	6,71
0,90	5,69
1,00	4,77
1,10	3,94
1,20	3,19
1,30	2,49
1,40	1,85
1,50	1,25

Bu tezde gürültülü görüntü ve orijinal görüntü arasındaki tepe sinyal gürültü oranı (PSNR) aşağıdaki gibi gürültü SNR seviyesi olarak tanımlanıp kullanılacaktır.

$$SNR_r = PSNR(I, \tilde{I}_r) \quad (3.6)$$

3.4 Ön Filtreleme Yönteminin Belirlenmesi

Bu çalışmada kenar tespit algoritması geliştirilirken özellikle lokalizasyon konusunda daha isabetli bir sonuç elde edilmesi hususu göz önünde bulundurulmaktadır. Bölüm 3.5.1'de ayrıntılı olarak açıklandığı üzere kenar tespit maskesi uygulanan piksel verisi işlenirken simetrik komşu çiftleri eşit değerde ağırlıklandırılarak kenar tespit değerinin hiçbir piksel kayması olmadan doğrudan kenar piksel koordinatlarında elde edilmesine çalışılmaktadır.

Görüntü üzerindeki gürültünün kenar tespit sürecine olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla uygulanan ön filtrelemede de benzer şekilde simetrik bir filtreleme yöntemi tercih edilmektedir. Bir başka deyişle, uygulanan filtreleme işlemiyle; bir taraftan

gürültüden kaynaklı kenar tespit oranını düşürebilecek etkilerin en aza indirilmesi sağlanırken, diğer taraftan kenar piksellerinin doğru koordinatlarda tespit edilmesinin sağlanacağı bir formun temin edilmesi göz önüne alınmaktadır.

Bu nedenle hem hakkında ön bilgiye sahip olunmayan gürültülerin etkilerini optimum olarak görüntüden arındıracak filtreleme yöntemlerinden biri olan Gauss filtre kullanılırken, simetriyi ve dolayısıyla isabetli kenar koordinatlarının tespitini sağlayacak olan simetrik ve dairesel bir filtreleme formu tercih edilmektedir.

Bu seçim yapılmadan önce kenar tespit algoritmalarında yaygın olarak kullanılan ve yukarıdaki kriterleri sağlama hususunda Gauss filtreye en yakın olanlardan ortalama filtre ve ortanca filtre ile Gauss filtre arasında bir karşılaştırma yapılmaktadır.

Bunun için farklı filtreler uygulanan aynı gürültü seviyesindeki görüntüler filtre aşaması haricinde, tamamen aynı kenar tespit algoritması ile işleme konulacak ve elde edilen çıktılar kıyaslanacaktır. Bahse konu çıktıların değerlendirilmesinde kenar koordinatlarının doğru tespit edilmesi kadar gürültü sinyallerinin de nihai kenar tespit görüntüsünden temizlenmesi önem arz ettiğinden bu hususa uygun bir yöntem seçilmiş olacaktır. Bu amaçla seçilen bir gürültüsüz görüntüye uygulanan ve gürültü giderme amaçlı filtre işlemi uygulanmayan kenar tespit algoritma çıktısı referans sinyal olarak kabul edilecektir. Bunun için Şekil 3.3'te yer alan test görüntüsü kullanılacaktır. Diğer gürültülü görüntülere farklı filtre tipleriyle beraber uygulanan kenar tespit algoritma çıktıları ile söz konusu referans sinyal kullanılarak PSNR değerleri bulunacaktır.

Bu yöntemle özellikle yüksek gürültü seviyelerinde, yüksek PSNR değerlerini sağlayan filtreleme metodunun belirlenerek bu çalışma kapsamında geliştirilecek algoritmada kullanılması hedeflenmektedir.

Bahse konu analizde kenar tespit uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan Sobel kenar tespit algoritması seçilmiş olup gürültüsüz görüntünün yanı sıra on farklı gürültülü test görüntüsü kullanılmıştır. Söz konusu test sonuçları Tablo 3.1'de yer almaktadır.

$$n_f = \text{PSNR}(\tilde{I}_r, f(\tilde{I}_r)) \quad (3.7)$$

Burada $f(\cdot)$ pencere büyüklüğü 9 olan “Gauss ($\sigma = 2$)”, “Ortalama” ve “Ortanca” filtre fonksiyonlarını ve $\tilde{I}_r$ de r seviyesinde gürültü eklenmiş görüntüyü ifade etmektedir. n_f ise, f filtresi için ilgili PSNR değerini ifade etmektedir.

Tablo 3.2 Gürültü SNR seviyesine göre filtre performans değerleri

Gürültü SNR Değeri (dB)	24,77	18,75	15,23	12,73	10,79	9,20	7,87	6,71	5,69	4,77	Ortalama	Ortalama (10 dB altındaki değerler için)
$n_{Ortanca}$ (dB)	22,15	20,94	19,25	17,75	16,23	14,91	14,71	14,14	14,14	13,96	16,82	14,37
$n_{Ortalama}$ (dB)	15,05	15,05	15,03	14,99	14,91	14,88	14,92	14,84	14,75	14,62	14,90	14,80
n_{Gauss} (dB)	16,71	16,68	16,66	16,52	16,49	16,41	16,27	16,04	15,90	15,75	16,34	16,07

Tablo 3.2 incelendiğinde tüm gürültü seviyeleri ortalaması bazında Gauss filtre için 16,34 dB, ortalama filtre için 14,90 dB ve ortanca filtre için 16,82 dB değerlerine karşılık gelen sonuçlar elde edilmektedir. Ancak 10 dB altındaki değerlere karşılık gelen yüksek gürültülü görüntülerde Gauss filtre ile elde edilen PSNR değeri 16 dB'nin üzerinde olurken bu durum ortalama filtre için 14,80 dB ve ortanca filtre için 14,37 dB olmaktadır.

Dolayısıyla, kenar tespit algoritmalarında yaygın olarak kullanılan ortalama filtre ve ortanca filtre ile Gauss filtre arasında yapılan karşılaştırma sonucunda; yüksek gürültü seviyelerinde Gauss filtrenin çok daha elverişli olduğu sonucu elde edilmektedir. Bazı düşük gürültü seviyelerinde diğer filtrelerinin daha iyi çıktı vermesi ile birlikte, özellikle 10 dB'nin altında SNR değerine sahip yüksek gürültü seviyelerinde Gauss filtrenin bariz bir üstünlüğünün olduğu görülmektedir.

Bu nedenle çalışmamızda gürültü etkilerini azaltma amaçlı yapılan ön filtreleme işleminde Gauss filtrenin tercih edilmesi yoluna gidilmektedir.

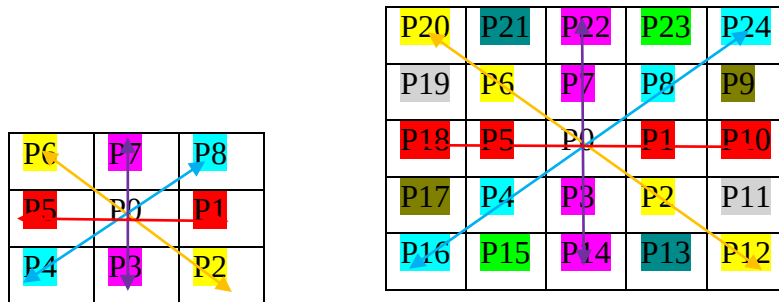
3.5 Kenar Tespit Maskesinin Belirlenmesi

3.5.1 Maske Boyutunun Seçimi

Görüntüdeki piksel değerleri arasındaki niceliksel fark verisinin tespit edilmesi amacıyla ilgili piksellerin her biri için uygulanan maskeler kenar tespit algoritmalarının en önemli ve temel aşamalarından birini teşkil eder. Algoritma için yapılacak tercihe bağlı olarak; görüntünün en dış sınırını oluşturan pikseller maske boyutu da göz önüne alınarak işleme alınmaz veya işlem yapılmak üzere ekstrapolasyon ile ikincil bir dış piksel bloğu üretilir. Bununla birlikte, kullanılan yöntemle göre maske boyutu çeşitlilik gösterebilmektedir. Canny kenar tespit algoritmasında 2x2'lik maske bloğu kullanılırken, Prewitt ve Sobel kenar tespit algoritmalarında 3x3'lük maskeler ve geliştirilen diğer bazı algoritmalarda 5x5, 5x7 gibi farklı boyutlarda maskeler kullanılabilir.

Kenar tespit algoritmalarında kullanılan kenar tespit maskelerine ilişkin boyut seçiminde dikkat edilmesi gerekenler arasında en başta gelen üç hususu aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

- **Lokalizasyon:** Bir görüntü üzerinde kenar tespiti yapılırken en önemli hususlardan birisi de kenar varlığının tespitinin yanı sıra kenarın bulunduğu koordinatların da doğru olarak saptanmasıdır. Burada devreye kenar tespitinde kullanılan maske boyutu ve formu girmektedir. Yani kenar özelliği olup olmadığı yönünden kendisi ve komşuluğundaki pikseller arasındaki ilişki baz alınarak, işlem yapılmakta olan pikselin kendisinin merkezinde olduğu bir maske boyutu seçilmelidir. Burada asıl dikkat edilmesi gereken husus ise bu merkez noktaya diğer maske elemanlarının simetrik olarak dizilmiş olmasıdır. Bu durum ise ancak eni ve boyu aynı olan kare formunda bir maske kullanımını gerektirmektedir. Ayrıca, geometrik olarak maskenin merkezinde yer alan elemanın, kenar olup olmadığı tespit edilmekte olan piksele ait değer ile çarpma işlemine girme gerekliliği de göz önüne alınarak boyutları tek sayı olan bir maske boyutunun tercih edilmesi ideal çözüm olarak değerlendirilmektedir. Aşağıdaki gösterim konunun daha iyi açıklanmasında faydalı olacaktır.



a) 3x3'lük Maske

b) 5x5'lik Maske

Şekil 3.1 Kenar tespit maskeleri (maske elemanlarının çarpım işlemine tabi tutulacağı piksel gösterimleri ile)

Şekil 3.1’de, gösterimi yapılan her bir piksele karşılık bir katsayı değeri taşıyan kenar tespit maske formu açıklanmaya çalışılmıştır. Yukarıda da görüldüğü üzere P0 pikseline uygulanan Şekil 3.1’deki (şekillerde aynı renkle vurgulanan piksel koordinatları P0 pikseline göre her bir doğrultudaki simetrik piksel gruplarını göstermektedir.) sırasıyla 3x3 ve 5x5 boyutlarında olan her iki maskede de işleme konu komşu pikseller tamamen P0 pikseline simetrik bir dağılım göstermekte, bu durum da komşu pikseller ile merkezdeki P0 pikseline ait değerler arasında alınacak fark değerlerinden (uygun ağırlıklandırma yapılmak koşulu ile) elde edilecek kenar değerinin tam olarak P0 pikseline ait koordinatlarda anlamlı olmasını temin etmiş olacaktır.

Bununla birlikte Şekil 3.1’den farklı olarak, görüntüdeki her bir piksele uygulanmak üzere x ve y eksenlerinin her biri için ayrı ayrı doğrultulara yönelik maske çiftlerinin kullanılması da yaygın bir kullanım çeşididir. Bu durumda aynı piksel için, x-ekseni maskesi ile elde edilen sonuç ile y-ekseni maskesi ile elde edilen sonuç birlikte değerlendirilerek her bir piksel için kenar değeri hesaplanabilmektedir.

Sonuç olarak kenar tespitinde lokalizasyon açısından optimum maske formunun, n tek sayı olmak üzere, nxn boyutlarında olması; ayrıca kenar tespit maskesine ait ağırlık değerleri M matrisi elemanları ile gösterilmek üzere, kenar tespit işlemine tabi piksele ait P0 değerinin işleme konulacağı M matris elemanının “ $M(n/2 + 1/2, n/2 + 1/2)$ ” olarak seçilmesi gerektiği görülmektedir.

- **İçeriksel tespit hassasiyeti:** Tespit edilecek kenarın görüntü üzerinde boyutsal olarak ne kadar detay bir içerik barındırması ile ilgili olan içeriksel tespit hassasiyeti, kenar tespit maskesinin boyutundaki artış ile azalmaktadır. Çünkü maske boyutu büyüdükçe, maske boyutuna göre daha küçük piksel kalınlığı ile bir kenar formu oluşturan ayrıntıların da tespit edilebilirliği azalmaktadır. Dolayısıyla, görüntü içeriğinde bulunan ve göreceli olarak küçük olarak nitelendirilebilecek ayrıntıların da tespit edilebilmesi amacı bulunuyorsa, kenar tespit maske boyutunun mümkün olduğunca küçük seçilmesinin yerinde olacağı düşünülmektedir.
- **İşlem süresi:** Kenar tespit algoritmalarının geliştirilmesinde, diğer tüm algoritmalarda olduğu gibi işlem süresi önemli bir parametredir. Burada maske boyutu bağlamında yapılacak değerlendirmede, maskedeki her bir eleman için

homojen sayılabilecek bir işlem süresi mevcuttur. Maskenin boyutunun artması, maskeye ait ağırlıkların matematiksel gösterimi olarak niteleyeceğimiz matris elemanlarının gireceği matematiksel işlem sayısını ve dolayısıyla toplam işlem süresini artırıcı bir etkiye neden olmaktadır. Bu nedenle kenar tespit algoritmasında, beklentileri karşılayan kenar tespit maskelerinden en küçük boyuta sahip olanının seçilmesi, işlem süresinin kısaltılmasında olumlu bir katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, içeriksel tespit hassasiyeti ve işlem süresi bağlamında en küçük kenar tespit maske boyutu olan Canny kenar tespit algoritmasında olduğu gibi “2x2”lik bir formun seçilmesi yerinde görülse de, bu yöntemde kenar pikselini çevreleyen komşuluklardan sadece kısıtlı dar bir yönünün taranması nedeni ile gerçek kenar ile gürültü piksellerinin ayırt edilmesi güçleşmekte ve dolayısı ile gürültü seviyesi yüksek görüntü içeriklerinde başarısız sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca bu yöntemde çift sayı değerine sahip maske boyutu seçildiği için yukarıda da açıklandığı üzere lokalizasyon sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenlerle “2x2” boyutundaki maskenin bahsedilen olumsuzluklarını taşımayan özelliklerde ve lokalizasyon, içeriksel tespit hassasiyeti, işlem süresi olarak isimlendirilen parametrelerin hepsine olumlu cevap veren en küçük boyut olan “3x3”lük formun optimum maske boyutu olduğu kanaatine varılmaktadır. Günümüzdeki pek çok uygulamada da yaygın olarak kullanılan Sobel ve Prewitt kenar tespit algoritmaları da “3x3”lük maske boyutları ile bu duruma örnek olarak verilebilir.

3.5.2 Kenar Tespit Maskesinde Ağırlıkların Seçimi

Bu kısımda Bölüm 3.5.1’de yer verilen 3x3’lük boyuttaki maskelerin ağırlıkları üzerinde durulacaktır. Ağırlıklara geçmeden önce kenar tespit algoritmalarını incelediğimiz bu çalışmadaki görüntülerin x-ekseni ve y-ekseni olmak üzere her iki boyutu için iki ayrı maske kullanıldığını vurgulamakta yarar olduğu düşünülmektedir. Yani bir P0 pikselinin kenar noktası olma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan kenar tespit maskesi x-eksenindeki değişimi ölçmeye yarayacak ağırlıklarla ve y-eksenindeki değişimi ölçmeye yarayacak ağırlıklarla ayrı ayrı belirlenir. Bahse konu bu iki eksen özelinde belirlenmiş olan bu maskelerin her biri ile işleme konulan P0 pikseli ve ilgili komşu pikselleri ile x-ekseni için ve y-ekseni için ayrı vektörel kenar tespit büyüklüğü elde edilir. Bu her iki vektörün kullanılması ile P0 pikseline ait nihai kenar değeri elde edilir. Sonuç olarak bu değer belirlenen eşik değerinin altında değilse P0 pikseli bir kenar noktası olarak saptanmış olur.

Bölüm 3.5.1'de kenar noktalarına ait lokasyonun doğru tespitinde, kenar noktası olup olmadığının tespiti amacıyla işleme tabi olan bir P0 pikseline göre işleme konulan diğer komşu pikseller arasında bir simetri olması ve ilgili maske elemanlarına ait ağırlıkların da bunu destekler niteliğe sahip olması konusu vurgulanmıştır. Gerek Sobel ve gerekse de Prewitt algoritmalarında bu husus dikkate alınarak x ve y eksenlerindeki maskeler oluşturulmuştur. Bu durum Şekil 2.4 ve Şekil 2.6'da da gösterilmektedir.

Bu maske formlarına dikkat edilirse, her iki metotta da, satır ve sütun numarası 2 olan maskenin orta noktasındaki elemanına göre; x -ekseni maskesinde x doğrultusunda ve y -ekseni maskesinde y doğrultusunda maske elemanlarının sahip olduğu değerlerin büyüklüğü bakımından ağırlık olarak bir simetri bulunmaktadır. Bu sayede bu maskenin matematiksel gösterimi olan 3×3 boyutlarında olan M matrisinin $M(2,2)$ elemanına göre hem x hem de y doğrultusunda eşit bir ağırlıklandırma yapılmakta ve maskeleme işleminin sonucunda ağırlık merkezi, her iki maske bileşeni birlikte düşünüldüğünde, teorik olarak $M(2,2)$ noktası ile işleme giren P0 pikselinin üzerinde olmaktadır. Bu sayede maskeleme işlemi sonrası bulunan değer doğrudan doğruya P0 pikseline ait koordinatlar üzerinde bir kenar noktası bulunma durumu ile birebir ilişkili olmaktadır.

3.5.3 Kenar Tespit Maske Ağırlıklarının Parametrik Çözümü

3×3 boyutlarında maske örneklerinden, gerek Prewitt ve gerekse de ağırlıkları $\frac{1}{2}$ ile çarpılmış Sobel algoritmalarına ait maskelere (Şekil 2.4, Şekil 2.6) dikkat edilirse; bu maskeler matematiksel olarak genel bir formda yazılarak x -ekseni matrisi için $M_x(x,y)$ ve y eksen matrisi için $M_y(x,y)$ denilmek; y ekseninin pozitif yönü düzlemde yukarı ve x ekseninin pozitif yönü düzlemde sağ taraf olmak üzere;

“ $M_x(1,2) = -1$ ”, “ $M_x(3,2) = 1$ ” ve “ $M_y(2,1) = -1$ ”, “ $M_y(2,3) = 1$ ” ve köşelerdeki matris elemanlarının mutlak değerlerinin $(0,1]$ aralığında parametrik bir değere sahip olarak; diğer elemanların ise 0'a eşit olacağı şekilde modellenilebileceği görülmektedir. Matris elemanlarının parametrik değerlerinin a , a' 'nın da $(0,1]$ aralığında pozitif bir değere sahip olduğu kabul edilirse ilgili matris elemanları aşağıdaki genel formda gösterilebilir:

$-a$	0	a
-1	0	1
$-a$	0	a

b) x-ekseni maskesi

a	1	a
0	0	0
$-a$	-1	$-a$

c) y-ekseni maskesi

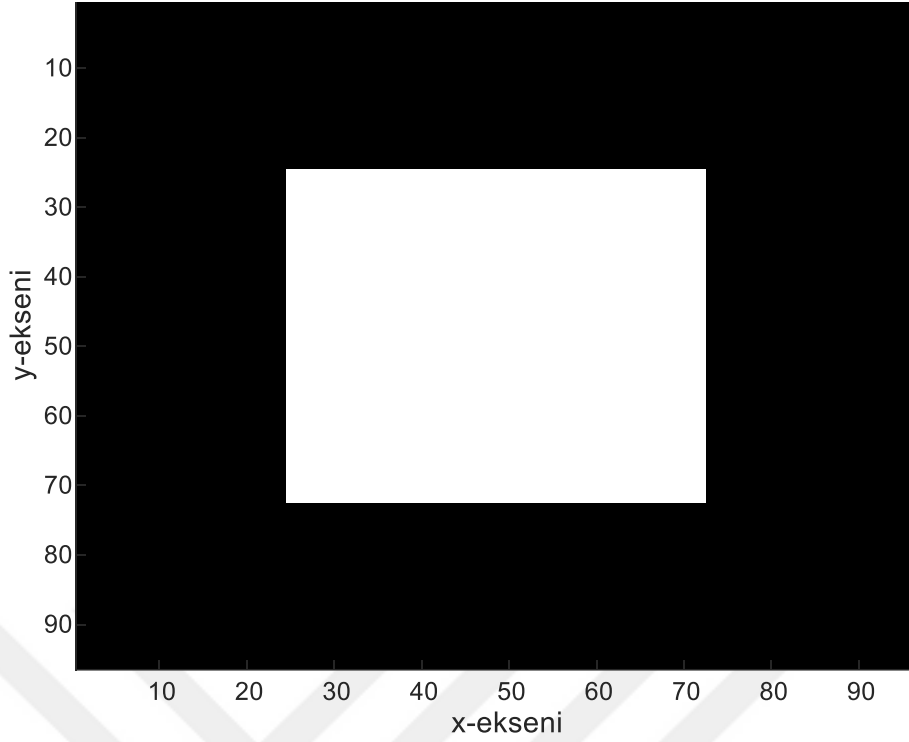
Şekil 3.2 Parametrik kenar tespit maske formu

Şekil 3.2’deki maske formu incelenirse maske elemanlarının parametrik gösteriminin mümkün olduğu ve bu durumda söz konusu maskeleme işleminin bir optimizasyon sürecine tabi olabileceği sonucu çıkmaktadır.

Bu çalışmada ortaya konulan yukarıdaki parametrik kenar tespit maske formunun geliştirilmiş olmasıyla birlikte, bu a parametresinin gürültülü görüntülerde nasıl bir etkiye sahip olduğu araştırılarak her gürültü SNR seviyesi için optimum bir a değeri saptanması sağlanmaktadır.

$D_a(\cdot)$ gösterimi maske parametreleri a değerine göre değişen kenar tespit operatörünü ifade etmektedir.

Bu bölümde, Şekil 3.2’de gösterilen “3x3” boyutlarındaki kenar tespit maskesine ait a değişkeninin farklı gürültü seviyelerine göre optimum değeri, test görüntüsü olan 96x96 boyutlarındaki ve ortasında içi dolu bir kare nesnenin olduğu gri skaladaki görüntü kullanılarak saptanmaya çalışılmaktadır. Test görüntüsünün ortasındaki kare nesneye ait pikseller 1 sayısal değerine sahipken geriye kalan arka plan pikselleri 0 sayısal değerine sahiptir. Söz konusu test görüntüsü Şekil 3.3’te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Test görüntüsü (yapay ve gürültüsüz)

Bu amaçla Bölüm 3.5.3.1'de, test görüntüsüne eklenen farklı düzeydeki gürültü seviyeleri üzerinden $(0,1]$ aralığındaki a değerlerinin etkileri incelenmektedir.

Benzer şekilde Bölüm 3.5.3.2'de test görüntüsündeki kare nesnenin farklı açılarda döndürülmesi ile elde edilen görüntüler özelinde, a parametresinin $(0,1]$ aralığındaki değerlere göre ortaya çıkan sonuçları üzerinde durulmuştur.

Bölüm 3.5.3.3'te ise hem döndürme hem de gürültü ekleme etkilerinin ikisi birden kombine olarak incelenmekle birlikte, belirlenen her bir gürültü SNR seviyesi için farklı açılardaki nesne senaryoları da göz önüne alınarak optimum a değeri tespit edilmiştir. Bunun için orijinal test görüntüsü ile gürültü ve döndürme etkileri eklenmiş görüntülere uygulanan kenar tespit maskeleymesi sonucu ortaya çıkan kenar tespit görüntüleri arasında hesaplanan PSNR değerleri kullanılmıştır.

3.5.3.1 Gürültü Etkisinin Belirlenmesi

Bu bölümde 96x96 boyutlarında seçilmiş ve tam ortasında 48x48 boyutlarında içi dolu bir kare nesne bulunan yapay test görüntüsü (Şekil 3.3), Bölüm 3.3'te açıklandığı şekilde çeşitli seviyelerde rastgele dağılıma sahip gürültüler eklenerek kullanılmaktadır.

Gürültüsüz görüntüye uygulanan kenar tespit maskesi sonrası elde edilen kenar tespit görüntüsü referans sinyal kabul edilerek, gürültülü görüntüye uygulanan kenar tespit maskesi sonrası elde edilen kenar tespit görüntüsüne ait PSNR değerleri saptanmaktadır. Bu değerler kenar tespit maskesinde belirlenen a parametresinin 0 ile 1 arasında eşit aralıklarla sıralanan 301 adet değeri için tekrar edilmekte ve PSNR değerinin a parametresine göre değişimi incelenmektedir.

Sonuçların incelenmesinden önce belirtilmesinde fayda görülen başka hususlar da bulunmaktadır. Öncelikle bu çalışma iki boyutlu görüntüler üzerine olduğundan dolayı x ve y eksenleri boyunca uzanan bir uzayda ilgili analizler gerçekleştirilmektedir. Bu başlık altında ise rastgele gürültü eklenmesi söz konusu olmakla birlikte kenar tespiti konu nesnenin kenar sınırları şeklen de x ve y koordinatları doğrultusunda bulunmaktadır (x ve y eksenleri ile farklı açılarla konumlandırılmış geometriye sahip nesne incelemesine bir sonraki bölümde yer verilecektir.). Bu yöntemle güdülenen amaç, salt gürültü analizi karakteristiğini ortaya koymaktır. Seçilen görüntüdeki nesnenin x ve y doğrultusu ile aynı doğrultuda bir geometrik yapıya sahip olması ise kenar tespit algoritmasında seçilen kenar tespit maskesinin x ve y doğrultularının referans alınarak oluşturulmuş olmasından ileri gelmektedir.

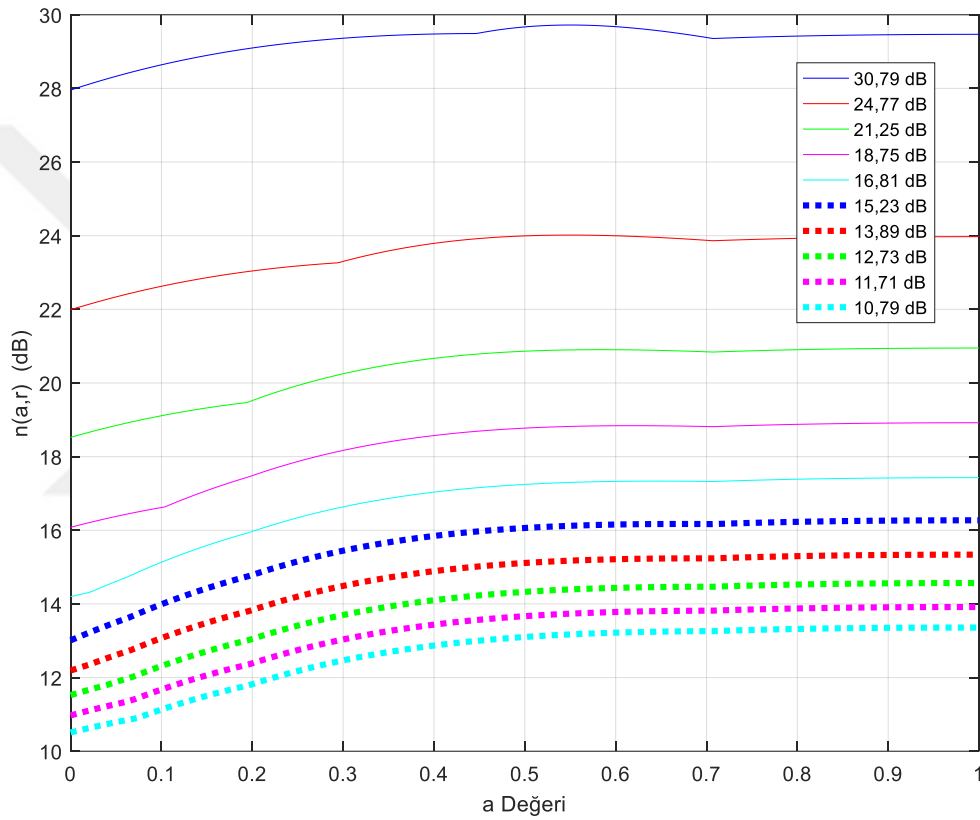
Gürültü SNR seviyesinin her örnekleme seçilen bir seviyede sınırlarının belirlenmiş olması ile birlikte bu belirli sınırlarda rastgele değerler alması sonucu x eksenini boyunca ayrı ve y eksenini boyunca ayrı bir karakteristikte PSNR değerinin değişim göstereceği öngörülmekte; bu analizde her iki etkinin birlikte değerlendirilmesi söz konusu olduğundan PSNR değerinin maksimizasyonu bağlamında iki lokal maksimum değerinin bileşkesi bir sonucun çıkacağı beklenmektedir.

Bahsi geçen farklı seviyelerde gürültü eklenmiş görüntülere ait olan ve a parametresine karşı çizdirilen PSNR grafiklerine yer verilecektir. Söz konusu a parametresi ve daha önce tanımlanmış olan gürültü parametresi r 'ye göre değişen PSNR kıyas fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$n(a, r) = \text{PSNR}(D_a(I), D_a(\tilde{I}_r)) \quad (3.8)$$

Burada $D_a(I)$, gürültüsüz test görüntüsünün a parametresine göre değişen kenar tespit görüntüsünü; $D_a(\tilde{I}_r)$ ise, r parametresine göre gürültü eklenmiş görüntünün a değerine karşılık gelen kenar tespit görüntüsünü ifade etmektedir.

Şekil 3.4'te 10,79 dB ve 30,79 dB aralığındaki gürültü SNR seviyeleri için elde edilen gürültüsüz görüntü kenar tespit işlemi sonucu ile gürültü eklenmiş görüntü kenar tespit işlemi sonucunun a değerine göre PSNR olarak karşılaştırması grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.4 10,79 dB ve 30,79 dB gürültü SNR seviyeleri aralığı için gürültülü ve gürültüsüz görüntüler üzerinde kenar tespit işleminin kıyaslanması

Genel itibari ile a 'nın optimum değeri, aynı zamanda a 'nın alabileceği en büyük değer olan 1 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu aslında beklenen bir sonuçtur. Çünkü seçilen görüntüdeki nesneye ait kenarların x ve y doğrultusu ile aynı doğrultuda bir geometrik yapıya sahip olması, x ve y doğrultuları boyunca piksel değerleri arasındaki farkın büyüklükleri arttıkça kenar tespit değerinin artması temelinde çalışan kenar tespit maskelerine ait maske

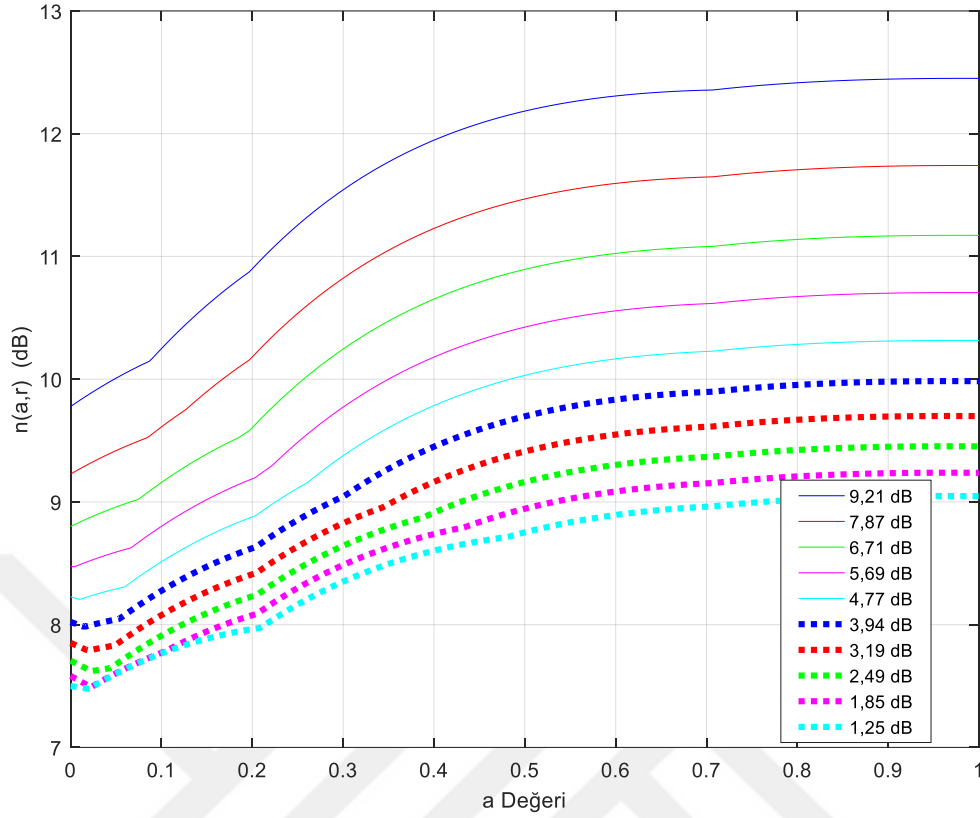
katsayılarının maksimum olduğu noktaların optimum katsayı olarak belirlenmesini sağlamaktadır.

30,79 dB ile 10,79 dB arasında SNR değerlerine sahip farklı gürültü seviyelerinin her biri için $n(a, r)$ 'yi maksimize eden optimum a değerleri Tablo 3.3'te yer almaktadır.

Tablo 3.3 Gürültü seviyelerine göre maksimum PSNR değerlerini sağlayan parametre değerleri

SNR (dB)	30,79	24,77	21,25	18,75	16,81	15,23	13,89	12,73	11,71	10,79
a Değeri	0,55	0,55	0,55	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
Maksimum $n(a, r)$ (dB)	29,72	24,02	20,95	18,92	17,43	16,27	15,34	14,57	13,92	13,36

Şekil 3.5'te 1,25 dB ve 9,21 dB aralığındaki gürültü SNR seviyeleri için, gürültü eklenmiş görüntünün kenar tespit işlemi sonucu ile gürültüsüz görüntünün kenar tespit işlemi sonucunun a değerine göre PSNR hesaplaması temelinde karşılaştırması grafik olarak gösterilmektedir. Şekil 3.5'te de açıkça görüldüğü gibi 10 dB altında SNR değerine sahip tüm gürültü seviyelerinde optimum a değeri yaklaşık 1 olmaktadır.



Şekil 3.5 1,25 dB ve 9,21 dB gürültü SNR seviyeleri aralığı için gürültülü ve gürültüsüz görüntüler üzerinde kenar tespit işleminin kıyaslanması

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’te de görüldüğü üzere, her bir gürültü SNR seviyesi için, “ $a=1$ ” ve yakın komşuluğunda sağlanan maksimum PSNR değerleri ile “ $a=0,6$ ” civarındaki noktalarda sağlanan PSNR değerleri arasında oldukça küçük farklar olduğu görülmektedir. Bu durumda a değerinin seçilmesi konusunda bu çalışma kapsamında yapılacak ve ileride bahsedilecek testlerin daha ağırlıklı bir rolü olabileceği olarak yorumlanmaktadır.

Ayrıca, gürültü SNR seviyesinin 30,79 dB, 24,77 dB ve 21,25 dB olduğu durumlar için bulunan “ $a=0,55$ ” değerinin, Sobel işlecindeki 0,5 parametre değerine; daha yüksek gürültü seviyeleri için ise a ’nın 1 civarında değer alması ise, Prewitt işlecindeki 1 parametre değerine yaklaşık olarak karşılık gelmektedir. Böylece; görüntüdeki kenarların farklı geometrik dizilimlerle alabileceği pek çok çeşitliliğin (ilerleyen bölümlerde incelenmek üzere) dikkate alınmadığı durumlarda bile sadece gürültü değişkeni karşısında, kenar tespit maskelerinin optimum parametre değerlerinin değişebileceği ve gürültü SNR seviyesine göre farklı kenar tespit işlemlerinin seçilebileceği sonucu elde edilmektedir.

3.5.3.2 Döndürme Etkisinin Belirlenmesi

Bu bölümde de bir önceki bölümde olduğu gibi Şekil 3.3'teki 96x96 boyutlarında ve tam ortasında 48x48 boyutlarında içi dolu bir kare nesne bulunan yapay test görüntüsünün kullanılmakta olması ile birlikte, bir önceki bölümden farklı olarak bu kısımda gürültü yerine nensenin farklı açılarda bulunması durumu incelenecektir. Çünkü kenar tespit maske elemanları x ve y eksen doğrultuları referans alınarak ağırlıklandırılmış olup x ve y eksenleri ile farklı açılarda kesişen doğrultulara sahip kenar geometrileri içeren nesneler için gürültüden bağımsız bir analizin gerekli olduğu değerlendirilmektedir. Yani, gürültü analizinin yapıldığı bir önceki bölümde, görüntü üzerinde kenar pozisyonlarının hep sabit olduğu koşullarda gürültü analizi yapıldığı gibi; bu bölümde de gürültüsüz görüntüde bahsi geçen açısal farklılıklar kullanılarak kenar pozisyonlarının değiştirilmesiyle elde edilen koşullar incelenmeye ve bu bağlamda kenar tespit matrisine ait karakteristik analiz edilmeye çalışılmaktadır.

Test görüntüsü, x ve y eksen doğrultusunda kenarlardan eşit uzaklıkta olan tam orta noktasından, belirlenen açıda döndürüldükten sonra, kenar tespit maskesi ile işleme girmekte ve ortaya çıkan kenar tespit görüntüsü bir önceki açı ile aynı büyüklükte fakat ters yönde döndürülmektedir. Ortaya çıkan nihai kenar tespit görüntüsü için orijinal döndürülmemiş test görüntüsünün kenar tespit görüntüsü referans sinyal alınarak PSNR değerleri hesaplanmaktadır. Bu yöntem, kenar tespit maskesinde belirlenen a parametresinin 0 ile 1 arasındaki eşit aralıklı 301 adet değeri için tekrar edilmekte ve PSNR değerinin a parametresine göre değişimi incelenmektedir. Görüntünün döndürüldüğü açılar ise 10 dereceden başlayıp 10'ar derecelik artışlarla 90 dereceye kadar (90 derece dâhil değil) olan değerler olarak belirlenmektedir.

Söz konusu PSNR hesaplamasına ait matematiksel gösterimler aşağıdaki gibi olmaktadır:

$R_\theta(\cdot)$, verilen bir I görüntüsünü, saat yönünün tersi yönde θ kadar döndüren operatör ve $R_\theta^{-1}(\cdot)$ da bu işlemin tersini yapan operatör olmak üzere olmak üzere,

$$I_\theta = R_\theta(I) \quad (3.9)$$

öyle ki,

$$I = R_\theta^{-1}(I_\theta) \quad (3.10)$$

ve $D_a(\cdot)$, kenar tespit maskesi a değerini alan kenar tespit operatörü (bu tezde önerilen operatör) kabul edilerek, saat yönünün tersi yönde θ kadar döndürülmüş görüntünün $D_a(\cdot)$ ile işleme konulması sonrası $D_a(I)$ ile karşılaştırılabilir forma getirilmiş hali aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

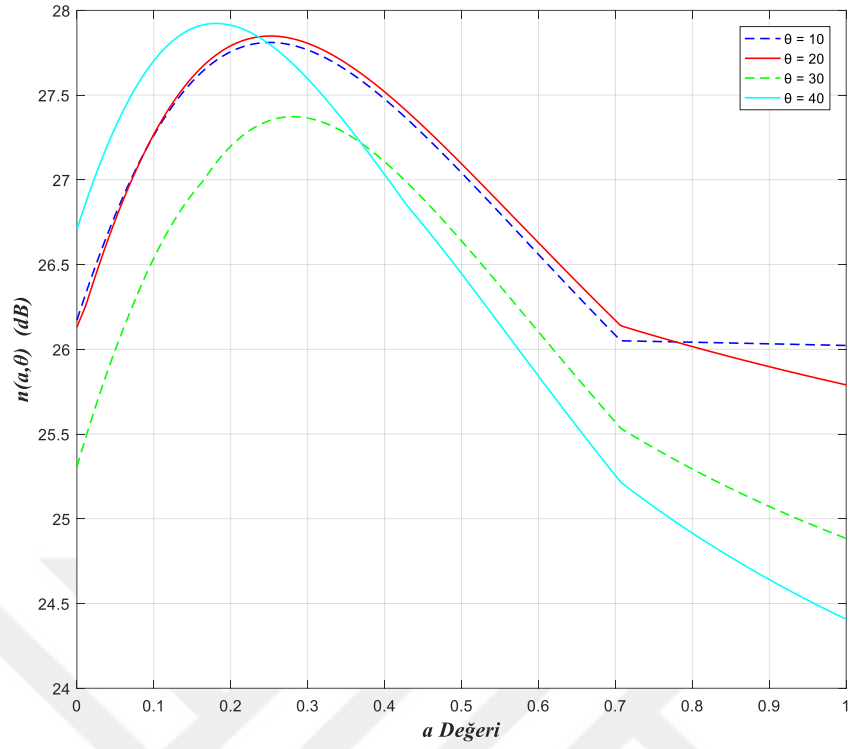
$$\hat{D}_{a,\theta} = R_{\theta}^{-1}(D_a(I_{\theta})) \quad (3.11)$$

Bu durumda, saat yönünün tersi yönde θ kadar döndürülmüş ve $D_a(\cdot)$ ile işleme tabi tutulmuş görüntü için hesaplanan PSNR değeri şekilde bulunmaktadır:

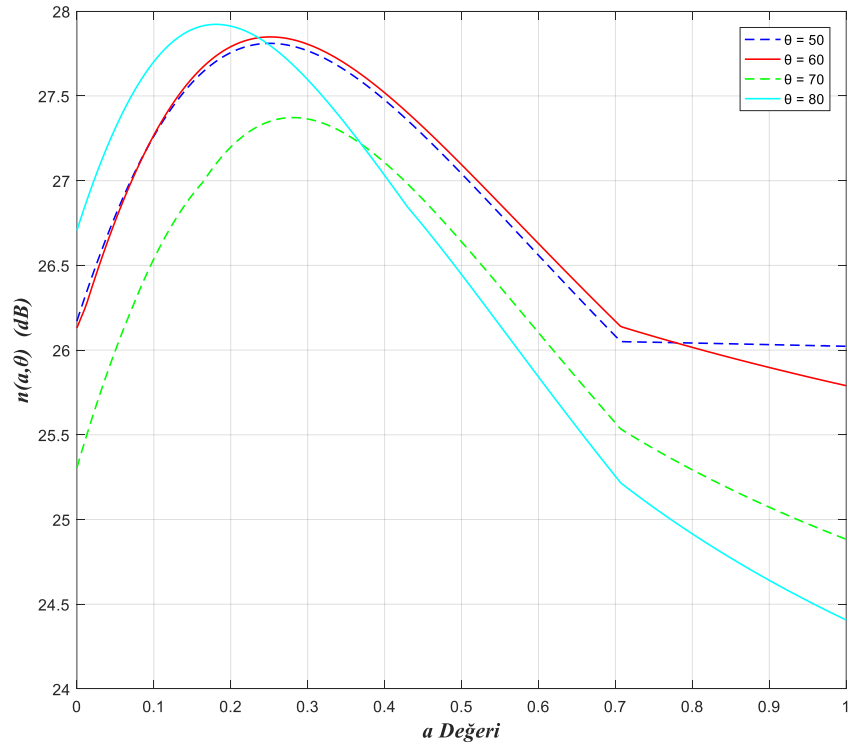
$$n(a, \theta) = \text{PSNR}(D_a(I), \hat{D}_{a,\theta}) \quad (3.12)$$

Aşağıda, Şekil 3.6'da 10, 20, 30 ve 40 derece değerlerinde; Şekil 3.7'de ise 50, 60, 70 ve 80 derece değerlerinde döndürme işlemi sonrası a 'ya göre değişen PSNR ($n(a, \theta)$) değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir.

Burada, 0 ve 90 dereceler yer almamaktadır. Çünkü 0 derece döndürmek döndürmemek ile aynı anlama geldiği gibi, ortasında kare bir nesnenin bulunduğu kare şeklindeki test görüntüsünün 90 derece döndürülmesi ile orijinal test görüntüsü ile birebir aynı görüntü elde edilmekte ve dolayısı ile sonuç olarak PSNR a 'nın tüm değerleri için sonsuz değerini almaktadır.

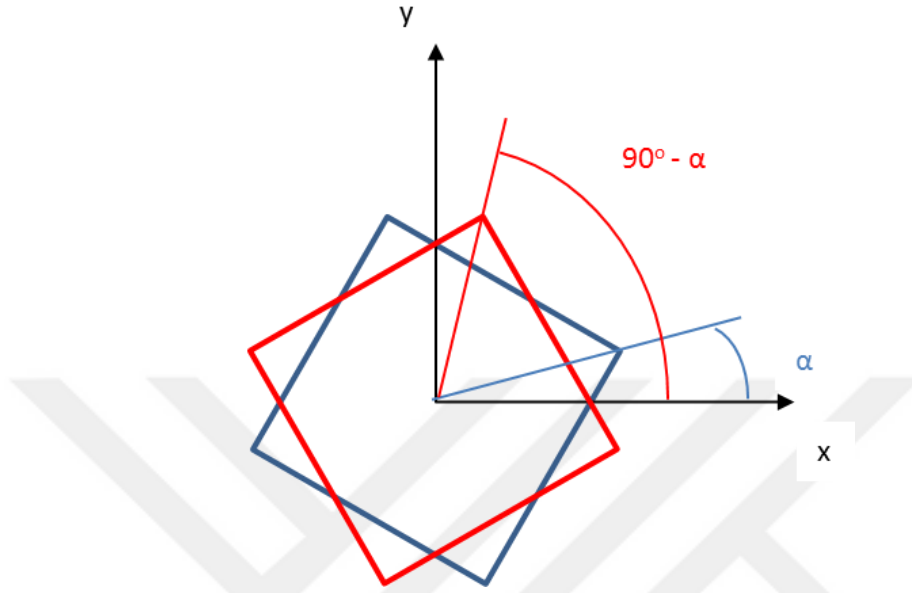


Şekil 3.6 Döndürme açısına göre kenar tespit görüntü kıyaslaması ($\theta \in [10, 40]$)



Şekil 3.7 Döndürme açısına göre kenar tespit görüntü kıyaslaması ($\theta \in [50, 80]$)

Bahse konu test görüntüsünün birbirini 90 dereceye tamamlayan açılarda döndürülmesiyle elde edilen iki görüntünün içerdiği her bir kare nesnenin dört kenarı düşünüldüğünde, x ve y eksenlerine göre simetrik kenar çiftleri elde edilmektedir. Bu durum Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Tümler açılarda döndürülen görüntü çifti gösterimi

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü üzere tümler açılarda (toplamları 90 derece olan açılarda) yapılan döndürme işleminde her bir döndürülen görüntüde hem x hem y eksenlerine göre ayrı ayrı simetrik kenar çiftleri elde edilmektedir. Bu nedenle Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’den de anlaşılaacağı üzere 10 ile 80, 20 ile 70, 30 ile 60 ve 40 ile 50 derecelerde döndürme işlemlerinin her biri için aynı kenar tespit sonuç çifti elde edilmektedir. Bu durum, Şekil 3.3’teki test görüntüsü için 45 dereceye kadar döndürme işlemi ile bir periyodun tamamlandığını ve sonraki 90 dereceye tamamlayan 45 derecelik döndürmede ise aynı sonuçların tekrar ettiğini göstermektedir. Böylece, belirlenen hassasiyet düzeyinde, 45 dereceye kadar olan döndürme işlemiyle yapılan deneylerde olası tüm açısal pozisyonların kapsandığı sonucu çıkmaktadır.

Aşağıda Şekil 3.6 ve 3.7’deki grafikler birlikte yorumlanarak, sonuçlara ilişkin değerlendirmelere yer verilmektedir.

Saat yönünün tersi yönde 10 veya 80 derecelik bir açı ile döndürme işlemine tabi tutulan görüntü için hesaplanan kenar tespit PSNR değerlerinin 26 ile 28 arasında olduğu görülmektedir. Maksimum PSNR değeri olan 27,81 dB ise, a ’nın 0,25 olduğu noktada elde edilmektedir.

20 ve 70 derecelik döndürme durumları incelendiğinde, optimum a değerinin bir önceki durumda olduğu gibi 0,25 olduğu ve bu noktanın global ve aynı zamanda tek maksimum kenar tespit PSNR değeri olan 27,85 dB'ye tekabül ettiği gözlemlenmektedir.

30 ve 60 derecelik döndürme işlemine ait PSNR değişiminin gösterildiği grafikler incelendiğinde ise, a 'nın 0,28 değerini aldığı noktada, en yüksek kenar tespit PSNR değeri olan 27,37 dB elde edilmektedir.

Yine saat yönünün tersi yönde 40 veya 50 derecelik döndürme durumları incelendiğinde, en yüksek kenar tespit PSNR değeri olan 27,92 dB'in a 'nın 0,18'e eşit olduğu noktada olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıdaki sonuçlar tablo 3.4'te özetlenmektedir.

Tablo 3.4 Döndürme açılara göre maksimum PSNR değerlerini sağlayan parametre değerleri

Açı (Derece)	10	20	30	40	50	60	70	80
a Değeri	0,25	0,25	0,28	0,18	0,18	0,28	0,25	0,25
$n(a, \theta)$ (dB)	27,81	27,85	27,37	27,92	27,92	27,37	27,85	27,81

Tablo 3.4 incelendiğinde optimum a değerlerinin 0,18 ile 0,28 arasında olduğu ve ortalama olarak 0,24 değerini aldığı görülmektedir. Ayrıca, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 göz önüne alınarak birlikte bir değerlendirme yapıldığında, bu optimum değerlerden uzaklaştıkça yaklaşık 2 ile 3 dB kadar düşüşler görülebilmektedir. Ayrıca, her gürültü SNR seviyesi için optimum a değerlerinin ortalaması olan 0,24 değerindeki PSNR değerlerinin maksimum PSNR değerleri ile yakın olduğu da görülmektedir.

Bir önceki başlıkta 20 farklı gürültü SNR seviyesine göre belirlenen optimum a değeri yaklaşık olarak 1 civarında yer almaktaydı. Sadece çok küçük gürültü seviyeleri için 0,55 olarak belirlenmekteydi. Döndürme durumunda ise optimum a değeri için belirlenen 0,24 değeri bu sonuçlardan oldukça uzak bir noktada konumlanmaktadır.

Bu durum, hem farklı gürültü seviyelerinde, hem de farklı açısal pozisyonlar veya geometrik şekiller içeren görüntüler için yukarıda bahsedilen optimum a değerlerinin arasında farklı noktalarda optimum sonuçların elde edilebileceğini göstermektedir. Bölüm

3.5.3.3'te bu durumlar analiz edilerek, her bir incelenen gürültü SNR seviyesi için nihai optimum a değerleri saptanmaya çalışılacaktır.

3.5.3.3 Optimum Kenar Tespit Maskesinin Belirlenmesi

Bu başlık altında, bundan önceki iki başlık altında ayrı ayrı incelenen; farklı geometrik açılardaki konumlandırmanın (test görüntüsünün farklı açılarda döndürülmesi) etkisi ile test görüntüsüne farklı gürültü seviyeleri uygulanmasıyla gürültü etkisinin bileşkesi incelenerek, içerik olarak her türlü görüntü için gürültüye dayanıklı genel bir kenar tespit maskeleme metodu elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bir başka ifade ile hem kenar tespit maskelemesinin uygulanacağı farklı şekilsel durumlar (ki bu test görüntüsünün içerisindeki test nesnesinin döndürülmesi ile maske ve tespit edilecek kenar arasındaki olası açısal farklılık kombinasyonları simüle edilmektedir.) hem de farklı gürültü seviyeleri birlikte düşünülerek çalışılmaktadır. Yani, farklı gürültü seviyeleri için çeşitli geometrik pozisyonların göz önüne alındığı kapsamlı bir analiz yapılmaktadır. Bu durum kenar tespit maskesindeki a parametresinin $[0,1]$ aralığındaki değerleri için tekrarlanmış ve her bir gürültü SNR seviyesi için en iyi sonucu sağlayan a değeri tespit edilmektedir. Dolayısı ile daha önceki iki başlık altındaki tek değişkene bağlı yaklaşım yerine, gerçek şartlarda gürültülü bir görüntünün kenarlarının etkili bir şekilde tespit edilmesini sağlayacak en iyi kenar tespit maskesi, a parametresinin tayini üzerinden bulunmaya çalışılmaktadır.

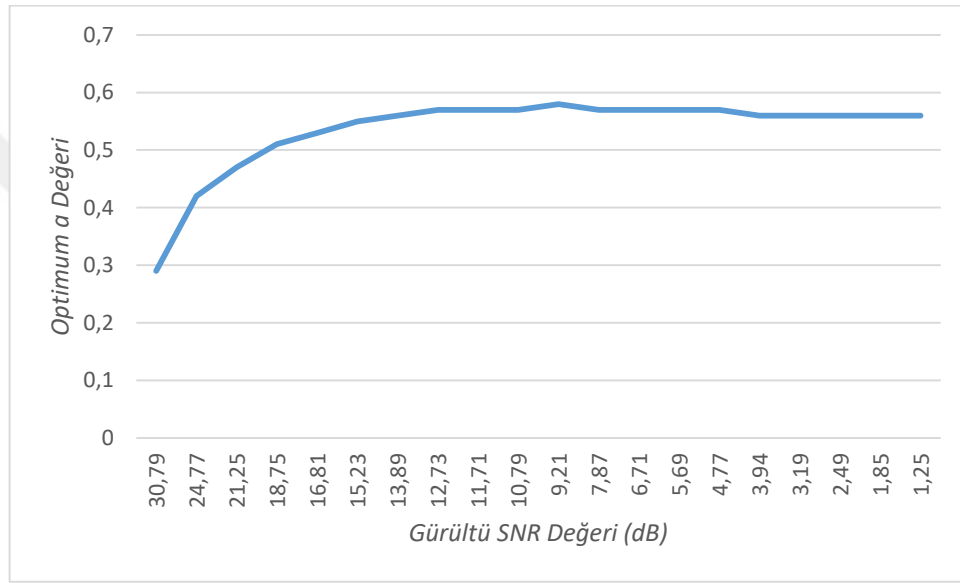
Bunun için orijinal test görüntüsü ile ilgili kenar tespit maskesi işleme konulmakta ve bu işlem sonucu ortaya çıkan kenar görüntüsü referans sinyal görüntüsü olarak kaydedilmektedir. Daha sonra sırasıyla ilgili döndürme ve gürültü etkileri eklenip görüntülere aynı kenar tespit maskesi uygulanmaktadır. Akabinde bu işlem sonucu üretilen kenar tespit görüntüleri ve gürültüsüz sinyal olarak kabul edilen referans sinyal görüntüsü arasında PSNR değerleri hesaplanmaktadır.

Daha önce olduğu gibi yukarıda bahsedilen işlem de, 0'dan 1'e kadar olmak üzere, a parametresinin 1/300 adım aralığında artan değerlerinin her biri için tekrarlanmaktadır.

Bu kapsamda, daha önce tanımlanmış olan gürültü örnekleri kullanılmaktadır. Yani 20 farklı gürültü SNR seviyesi için deneyler tekrarlanmaktadır. Her bir gürültü SNR seviyesi için ise 10, 20, 30 ve 40 derecede test görüntüsünün 4 farklı açısal pozisyonu için PSNR hesaplaması yapıp aritmetik ortalaması alınarak her bir gürültü SNR seviyesi için a parametresine karşılık ilgili PSNR değerleri tespit edilmektedir. Bölüm 3.5.3.2'de

açıklandığı üzere, tümler açılarda döndürme işleminin test görüntüsü üzerindeki etkileri aynı olduğu için 50, 60, 70 ve 80 derecede döndürme işlemleri yapılmamıştır. Böylece belirlenen hassasiyet düzeyinde tüm geometrik pozisyonların göz önüne alınması sağlanmış olmaktadır.

Söz konusu işlemler sonrası her bir gürültü SNR seviyesi için hesaplanan en yüksek PSNR değerine karşılık gelen α değeri optimum kenar tespit maske katsayısı olarak kabul edilmektedir. Yukarıda bahsi geçen farklı gürültü seviyeleri için tespit edilen optimum katsayı değerleri Şekil 3.9’da gösterilmektedir.



Şekil 3.9 Gürültü SNR seviyesine göre optimum kenar tespit maskesi parametre değerleri

Bir başka gösterimle gürültü seviyelerine karşılık gelen optimum kenar tespit maske katsayı değerleri Tablo 3.5’te de aşağıdaki gibi belirtilmektedir.

Tablo 3.5 Gürültü SNR seviyesine göre optimum kenar tespit maskesi parametre değerleri

<i>Gürültü SNR Değeri (dB)</i>	<i>Optimum a Değeri</i>
30,79	0,29
24,77	0,42
21,25	0,47
18,75	0,51
16,81	0,53
15,23	0,55
13,89	0,56
12,73	0,57
11,71	0,57
10,79	0,57
9,21	0,58
7,87	0,57
6,71	0,57
5,69	0,57
4,77	0,57
3,94	0,56
3,19	0,56
2,49	0,56
1,85	0,56
1,25	0,56

Yukarıdaki sonuçlar incelendiğinde, 18,75 dB gürültü durumunda optimum a değeri olarak karşımıza çıkan 0,51 değerinin Sobel işlecine ait maskedeki 0,5 değeri ile benzerlik gösterdiği fark edilmektedir.

Benzer şekilde, optimum a değerinin 30,79 dB’lik gürültü SNR seviyesindeki 0,29 değerinin ise, Scharr filtresi [34] adıyla anılan metodun kenar tespit maske formuna karşılık gelen parametreye ait 0,3 değerine yakın olduğu görülmektedir.

Bu durum, farklı gürültü seviyelerinde, farklı kenar tespit işleçlerinin kullanılması ile kenar tespit işleminin daha etkili gerçekleştirilebileceğini göstermekle birlikte, bu çalışmada öne sürülen gürültü seviyelerine göre kenar tespit maskesinin optimize edilmesi tezini de desteklemektedir.

Tablo 3.5’ten yola çıkılarak kenar tespit maske katsayısı olan a değerinin seçimi ile ilgili olarak aşağıdaki nihai sonuca varılmaktadır:

Yaklaşık olarak 13 dB ile 5 dB gürültü SNR değerine sahip görüntülerde a değerinin 0,57; 4 dB ve altında gürültü SNR değerine sahip yüksek gürültü seviyeleri için a değerinin 0,56 olarak seçilmesinin uygun olacağı kanaatine varılmaktadır. 20 dB civarında gürültü SNR seviyesinde gürültü içeren görüntülerde ise optimum a değeri 0,5 civarına kadar düşmektedir. İdeal a değeri, 30,79 dB gürültü SNR değeri gibi düşük bir gürültü içeren görüntüler için 0,29'a kadar düşmektedir.

Bu noktada, özellikle 18 dB SNR üzerinde gürültü değerini sağlayan düşük gürültü içerikli görüntülerde kenar tespit edilirken, en iyi a değerini seçmek için görüntüdeki gürültü seviyesinin tespit edilme hassasiyeti devreye girmektedir. Görüntüdeki gürültü seviyesinin tespit edilme hassasiyeti ise, düşük gürültü seviyelerinde daha da zor düşebilmektedir. Bu olumsuz bir durum olarak görülse de, bu tür görüntüler için optimum a değerinden bir miktar uzaklaşmış bile olsa, yine de görüntüdeki kenarın isabetli olarak tespit edilmesi (düşük gürültü içeriği sayesinde) mümkün olabilmektedir.

Ayrıca 4 dB'e kadar olan gürültü SNR değerlerini sağlayan yüksek gürültü seviyelerinde ise 0,57 değerinin seçilmesi için gürültü seviyesinin tahmini için çok yüksek bir tespit hassasiyeti gerekmemektedir. Bu değer de üzerindeki gürültü seviyeleri için 0,56 değeri yerine tespit hassasiyetindeki olası hata nedeniyle 0,57 olarak belirlenmesi ise hem düşük bir ihtimal olarak karşımıza çıkmakta, hem de yapılması muhtemel hata a değerinde yalnızca 0,01'lik bir sapmaya sebep olacağından olumsuz etkisi minimum düzeyde olacağı yorumlanmaktadır.

Bu durum özellikle SNR değeri 6 dB ile 9 dB arasındaki yüksek gürültüler için düşünülebilir. Ancak SNR değeri yaklaşık 12 dB olursa, optimum a için 0,5 civarındaki bir değerin seçilebileceği görülmektedir. Bu değer aynı zamanda Sobel operatöründe tercih edilen değerdir. Ancak görüntüler gözle incelendiğinde 4 SNR dolaylarındaki rastgele gürültülerin var olduğu durumlarda bile orijinal görüntüdeki şablonun algılanabilir olduğu görülmektedir. Bu çalışmamızda da gürültüye dayanıklı bir algoritma üretileceği iddiası olduğundan hareketle bahse konu yüksek gürültü seviyeleri için 0,58 değerinin daha uygun olduğu veya gürültü SNR seviyesine göre uyarlanabilir kenar tespit maske katsayısı yaklaşımının kullanılmasının yerinde olacağı sonucuna ulaşıldığı söylenebilir. Çünkü 10 dB'lik gürültü SNR seviyesinin üzerinde gürültüye sahip görüntü örnekleri için a 'nın optimum değerlerinin ortalaması yaklaşık 0,58 olmaktadır.

Bu nedenle, gürültü SNR değeri yaklaşık 13 dB'nin altında olan yüksek gürültü içeren görüntüler için sabit bir a değeri belirlenmesi gerekecek olursa, aşağıda Şekil 3.10'da gösterilen kenar tespit maske modelinin en etkili ve verimli seçim olacağı yorumlanmaktadır.

-0,57	0	0,57
-1	0	1
-0,57	0	0,57

a) x-ekseni maskesi

0,57	1	0,57
0	0	0
-0,57	-1	-0,57

b) y-ekseni maskesi

Şekil 3.10: Ağırlandırılmış kenar tespit maske formu (13 dB altındaki gürültü SNR değerleri için)

Bununla birlikte kenar tespit algoritmasının çalıştırılması öncesinde bir gürültü SNR seviyesinin tahmin edilmesi durumunda, her gürültü SNR seviyesi için farklı bir a değeri atanarak uyarlanabilir bir kenar tespit maskesinin kullanılması ile isabet oranı daha yüksek bir algoritma kullanılmasının mümkün olacağı görülmektedir.

BÖLÜM 4 – GÖRÜNTÜLERDE GÜRÜLTÜ SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Gürültü Seviyesi Kestirimi

Birçok görüntü işleme algoritmasında, görüntüdeki gürültü miktarının tahmin edilme aşaması, görüntü işleme sürecinin optimum şekilde gerçekleşmesi için bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Görüntü Onarma, görüntüde kenar tespit ve bölütlemeye ilişkin algoritmik süreçler bunlara örnek olarak verilebilir [35].

Ortalama filtre ve ortanca filtre, görüntüde gürültü giderme amacıyla oldukça sık kullanılan iki filtredir [35]. Bununla birlikte Gauss filtre de bu konuda en bilinen tercihler arasındadır [36].

Gürültülü görüntüye uygulanan filtreleme işlemi sonrası elde edilen görüntüye ait piksel değerleri ile gürültülü görüntüye ait piksel değerlerinin farkı alınarak her bir piksel için gürültüye ilişkin bir ölçü elde edilmiş olur [35].

Bununla birlikte, gürültülü görüntünün alçak geçirgen filtreden geçirilmesiyle oluşturulan görüntü kullanılarak hesaplanan fark verisi sadece gürültüyü değil, aynı zamanda görüntüde korunması gereken yapısal unsurları da içermesi ayrı bir problem olarak ortaya çıkabilmektedir [37].

Söz konusu hesap sonuçlarına göre, belirlenen eşik değerin altında kalan kısımlar gürültü; görüntüdeki bir kenar veya korunması gereken bir başka özelliğe karşılık gelecek derecede büyüklüğe sahip olarak eşik değeri aşan kısımlar ise, görüntüde tespit edilmeye çalışılan içerik olarak belirlenebilmektedir.

Ancak, aynı veri seti içerisinde, hem gürültü hem de görüntüye ait korunması gereken öznitelikleri içeren piksel değer farkları olmasının olumsuz etkilerini azaltmak için farklı bir yol izlenmesi de mümkündür. Burada, aslında gürültü tahmin metotlarının genellikle kenar tespit algoritmalarının verimlilik ve hassasiyet artırımı için kullanılması kabulünden farklı olarak, gürültü tahmin metodunun performansının artırılması amacıyla kenar tespit aracıyla desteklenmesi söz konusu olmaktadır [37].

Buradaki kenar tespit aracıyla hedeflenen işlem, en basit haliyle; gürültülü görüntünün birinci dereceden bir diferansiyel filtreden geçirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu filtre işlemi sonrası, kenar veya görüntünün bir başka temel yapısal elemanına ait olan, belirlenecek herhangi bir eşik seviyesinin oldukça bariz bir şekilde üzerinde değerlere sahip

diferansiyel değer taşıyan piksellerin belirlenmesi ve üzerinde ayıklama işlemi yapılacak olası gürültü noktalarından hariç tutulmasıdır.

Böylece, baskın gürültü içeriği taşımadığı kesin olan noktaların hariç tutulmasıyla, analiz karışıklığı ve gereksiz işlem yükünün bertaraf edildiği, daha isabetli gürültü tahmin araçlarının geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

Sonuç olarak, görüntü işleme süreçlerinin daha etkili ve verimli şekilde işletilmesinde kullanılan gürültü seviyesi tahmin araçları, kenar tespit algoritmaları için de oldukça önemli bir yere sahip olmaktadır.

4.2 Sayısal Görüntüde Gürültü Seviyesinin Kestirim Adımları

Bu tez kapsamında, kenar tespit algoritma parametrelerinin gürültü seviyesine göre optimize edilerek en iyi kenar çıkarım metodu geliştirilmesi çalışmaları yapılmakla birlikte, bu başlık altında, kenar tespit algoritmasına ait optimum parametre seçiminin sağlanabilmesi için görüntüdeki gürültü seviyesine ilişkin ön bilgi olmaksızın gürültü seviyesinin tahmin edilebilmesi üzerinde durulacaktır.

Söz konusu gürültü tahmin analizinin yapılması amacıyla, gürültü seviyesi düşük test görüntüleri belirlenmiş olup her bir deney için bu görüntülere Bölüm 3.3'te tanımlanan şekilde gürültü ekleme işlemi gerçekleştirilecektir.

Test görüntülerinin her biri için orijinal görüntü ile gürültülü görüntü kullanılarak yapılan PSNR hesaplamasında; beklenildiği üzere, eklenen gürültü seviyesi ile PSNR değeri arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Fakat gürültüye ilişkin ön bilgi anlamına gelen orijinal gürültüsüz görüntü verisinden yoksun olunacak durumlarda böylesi bir ilişkiyi tespit edebilmek doğrudan uygulanabilir olmamakla birlikte, söz konusu gürültüsüz görüntünün bir benzerinin elde edilmesi yoluyla bu problemin aşılması mümkün olmaktadır. Bunun için gürültülü test görüntüsüne gürültü giderici bir filtreleme uygulanması tercih edilmektedir. Böylece, söz konusu filtreleme sonrası elde edilen filtrelenmiş görüntü ile gürültülü görüntü üzerinden hesaplanan PSNR değerleri aracılığıyla, gürültü seviyesinin belirlenmesi sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada analiz edilen gürültünün rastgele formda olması nedeniyle kestirim amaçlı kullanılacak filtre için de Gauss filtre tercih edilmektedir. Süregelen deneyler ise bahsi geçen filtrenin pencere genişliğinin (boyutlarının) belirlenmesi ve elde edilen filtrelenmiş görüntülerle hesaplanan PSNR değerleri kullanılarak gürültü tahminin yapılması doğrultusunda gerçekleştirilmektedir.

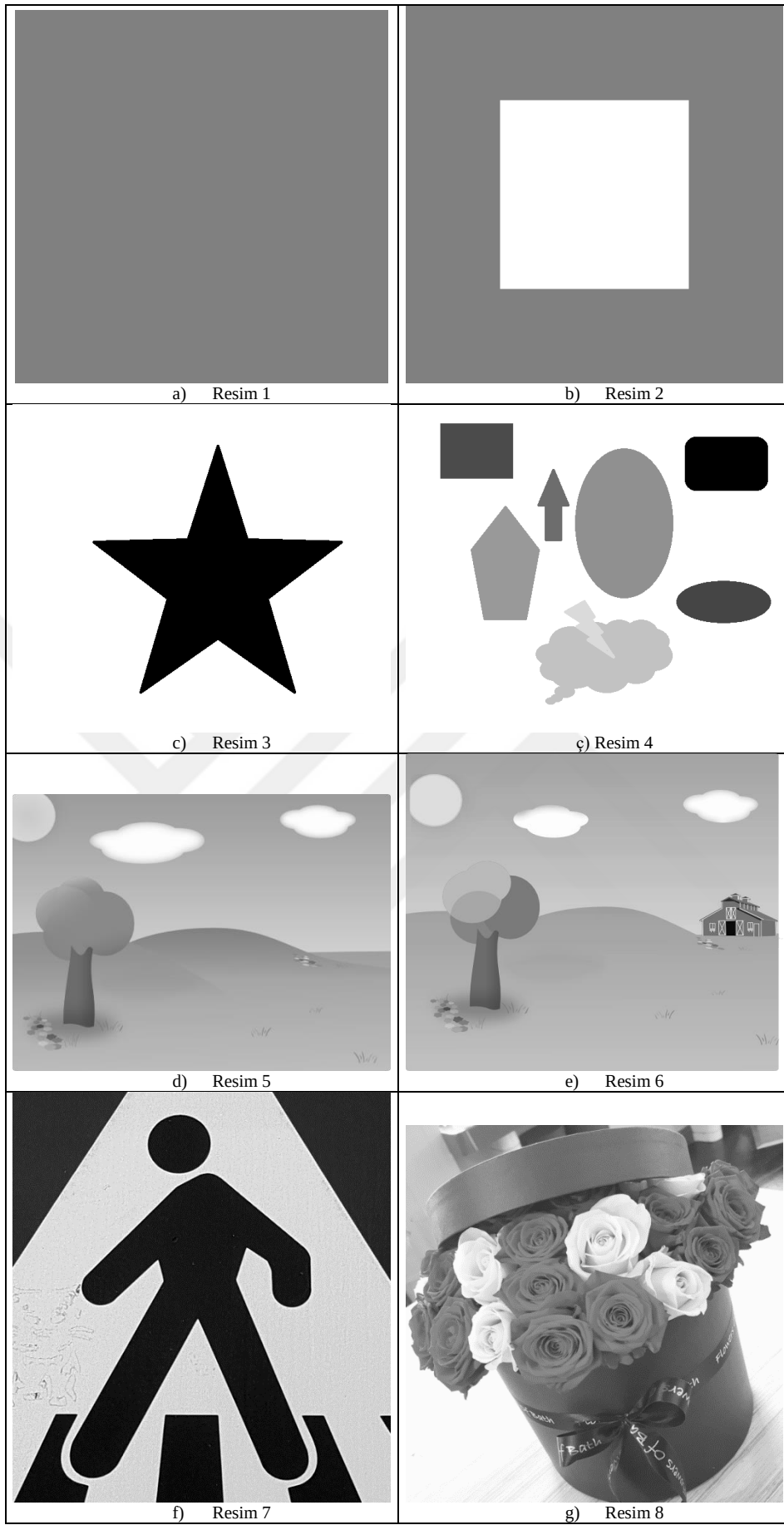
Şekil 4.1’de bu bölümde kullanılan orijinal test görüntülerine yer verilmektedir. 1 ile 8 arasında rakamlarla numaralandırılmış test görüntülerinin ilk altısı yapay görüntüler olup son ikisi ise sayısallaştırılmış optik görüntülerdir.

Bu görüntülerin her birine yaklaşık 9 dB ile 25 dB arasında 7 farklı seviyede gürültü eklenerek deneyler tekrarlanmaktadır. Bu gürültülerin SNR seviyeleri yaklaşık olarak sırasıyla:

9,2dB, 10,8 dB, 12,7 dB, 15,2 dB, 18,7 dB, 21,2 dB ve 24,8 dB olarak belirlenmektedir. Bu tercihte kenar tespit algoritma parametresi olarak bu çalışmada tanımlanmış olan a parametresinin seçimine yönelik yapılacak manipülasyonlar da dikkate alınmaktadır. Ayrıca ilerleyen kısımdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere, görüntülerde gürültü seviyesinin belirlenmesine ilişkin olarak genelleme yapmaya elverişli bir gürültü bandının seçildiği görülmektedir.

Öncelikle, gürültülü görüntünün filtrelenmesi için kullanılacak Gauss filtrenin pencere genişliğinin tespit edilmesi amacıyla aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanmaktadır:

- Test görüntülerinin her biri için belirlenen 7 farklı seviyedeki gürültü, her bir test görüntüsüne ayrı ayrı eklenmektedir.
- Her bir gürültülü görüntü için gürültüsüz orijinal test görüntüsünün referans sinyal olarak alınmasına dayanan PSNR değeri hesaplanmaktadır.
- Optimum pencere genişliğinin belirlenebilmesini teminen, [5, 25] aralığındaki tek sayı değerlerindeki büyüklüklerde pencere genişliğine sahip Gauss filtreler kullanılarak, her bir test görüntüsü için 11 adet filtrelenmiş görüntü elde edilmektedir (Bu filtrelenmiş görüntüler gürültüsüz orijinal görüntünün benzerini elde etme amacıyla üretilen görüntülerdir).
- Her bir filtreleme işlemine tabi tutulmuş filtrelenmiş görüntü referans sinyal olarak kabul edilerek, karşılık gelen gürültülü görüntü ile PSNR hesaplamasına tabi tutulmaktadır.
- Her bir orijinal gürültüsüz görüntüye göre elde edilen PSNR değeri ile buna karşılık gelen filtreleme işlemine tabi tutulmuş görüntünün referans alındığı PSNR değerinin farkı alınmaktadır.



Şekil 4.1 Test görüntüleri

- Söz konusu fark değerinin mutlak değerinin en aza inmesini sağlayan pencere genişliği, her bir gürültü seviyesi için ayrı ayrı tespit edilmektedir.
- Bahsi geçen PSNR farklarının mutlak değer olarak büyüklüklerini en aza indiren, yani gürültüsüz görüntüyle elde edile PSNR değerinin en iyi kestirimini sağlayan filtreye ait pencere genişliği, optimum pencere genişliği olarak tespit edilmektedir.

Bir başka ifadeyle, I orijinal test görüntüsü, $\tilde{I}$ gürültü eklenmiş test görüntüsü ve $G_p(\cdot)$, p pencere genişliğine sahip Gauss Filtre işleci olmak üzere, optimum pencere genişliği aşağıdaki matematiksel ifadenin en küçük değerini almasını sağlayan p değeri olmaktadır.

$$PSNR_{fark} = |\text{PSNR}(I, \tilde{I}) - \text{PSNR}(G_p(\tilde{I}), \tilde{I})| \quad (4.1)$$

Şekil 4.2’de, her bir test görüntüsü için elde edilen sonuçların gösterildiği “mutlak PSNR farkı”na karşı “pencere genişliği” grafikleri, karşılaştırma amacıyla yer almaktadır.

Söz konusu grafiklere dikkat edilirse, hiçbir kenar görüntüsü içermeyen Resim 1’e ait sonuçta, beklenildiği gibi pencere genişliği arttıkça kestirimin iyileştiği görülmektedir. Fakat diğer tüm görüntülerde her bir gürültü seviyesi için optimum bir noktadan sonra kestirimin kötüleştiği anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte 20-25 dB gibi düşük gürültü seviyelerinde düşük pencere boyutlarının seçilmesinin yerinde olacağı, ancak gürültü seviyesi arttıkça pencere genişliğinin daha büyük değerlerde seçilebileceği yorumlanmaktadır. Ancak, genel itibari ile bakıldığında, optimum pencere genişliğinin 9 olarak belirlenmesinin uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca 12 dB veya altındaki gürültülerde dahi çoğunlukla pencere genişliğinin 13’ten büyük olduğu noktalarda kestirimin kötüleştiği görülmektedir.

Bunlara ek olarak 24 dB’nin üzerindeki gürültü SNR seviyelerinde 9 yerine 5 veya 7 büyüklüğündeki pencere seçiminin mümkün olduğu, çünkü bu kadar düşük gürültü seviyesindeki görüntülerde, filtrenin pencere genişliğindeki artışın görüntüdeki gürültünün neden olduğundan daha fazla bozulmaya neden olabileceği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, seçilen 7 farklı gürültü seviyesinin tamamı için ortalama olarak, kullanılan test görüntüsüne göre 0,27 ile 0,55 arasında mutlak PSNR fark değerini sağlayan 9 değeri, optimum pencere genişliği olarak belirlenmektedir. Ayrıca bu fark değeri yaklaşık

25 dB SNR civarında gürültü barındıran test verileri hariç tutulursa çok daha aşağı inmektedir.

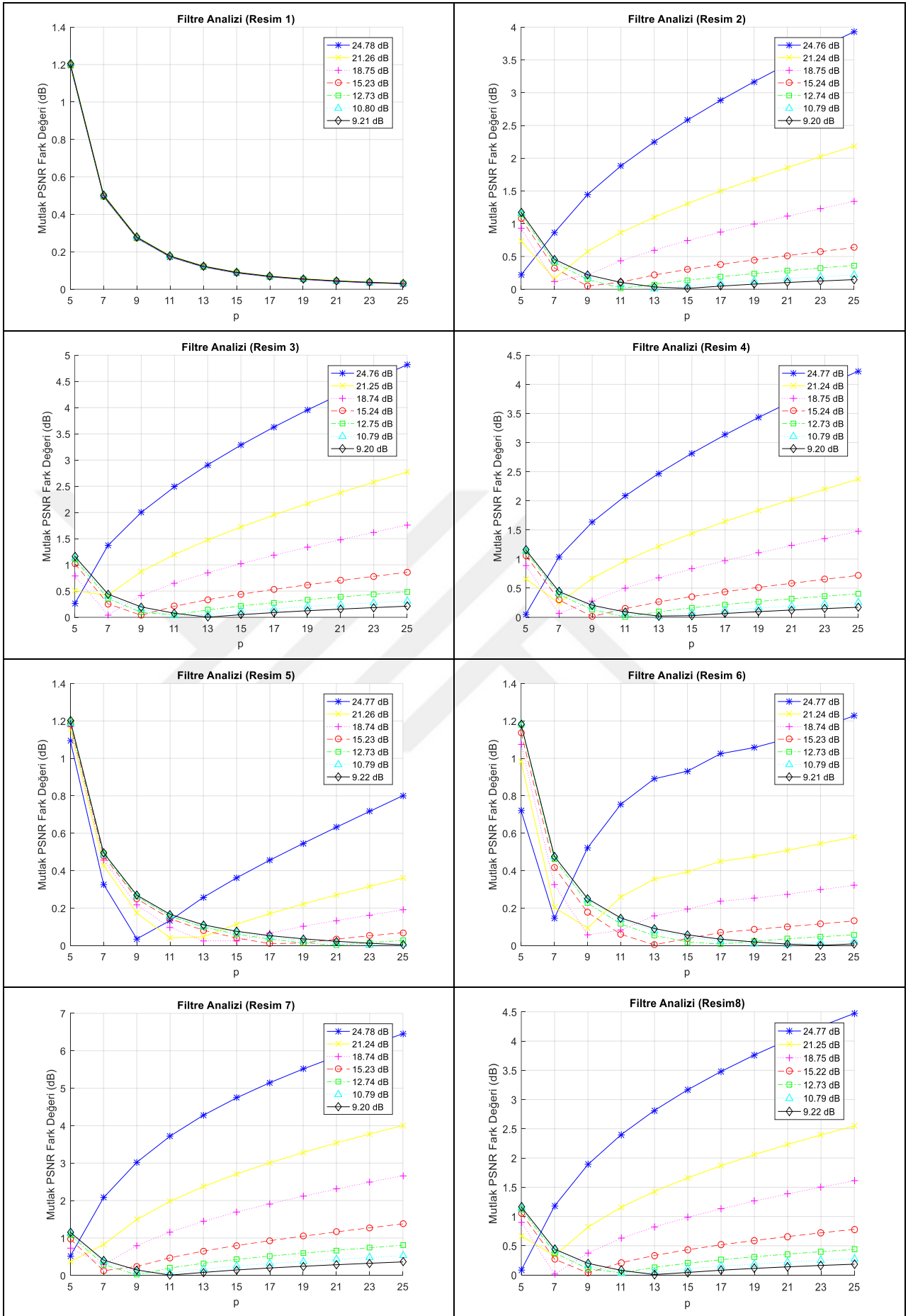
Yapılacak ilk gürültü tahmini aşamasının ardından bu tür düşük gürültülü görüntüler için daha küçük pencere genişliğinin seçileceği ikincil bir filtreleme işleminin yapılması da tercih edilebilir.

Gürültüsüz görüntünün referans sinyal olarak alındığı hesaplama sonucu elde edilen PSNR kestirimi için kullanılan Gauss filtreye ait pencere genişliğinin (9) belirlenmesinin ardından, Şekil 4.3'te bu filtre kullanılarak elde edilen filtrelenmiş görüntünün referans alındığı PSNR değerleri ile orijinal gürültüsüz görüntünün referans alındığı PSNR değerleri arasındaki ilişki her bir test görüntüsü için tespit edilmeye çalışılmaktadır.

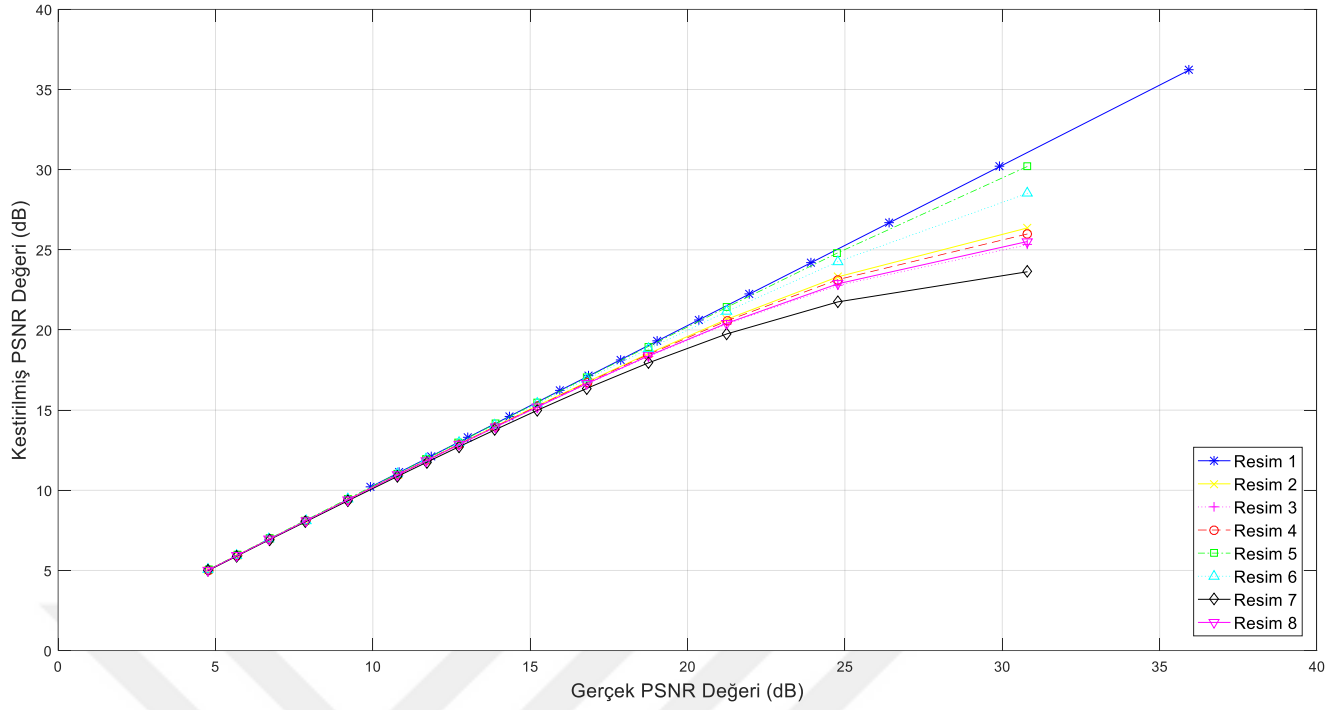
Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere sekiz farklı görüntü için 15 farklı seviyede gürültü durumunda orijinal görüntünün referans alındığı PSNR değerleri ile filtrelenmiş görüntünün referans sinyal olarak işleme tabi tutulduğu hesaplamalar sonucu elde edilen PSNR değerleri arasındaki ilişki grafik üzerinde gösterilmiştir.

Söz konusu grafik dikkatli incelendiğinde her iki PSNR değeri arasında, özellikle 15 dB'nin altındaki gürültü SNR seviyelerinde, hangi test görüntüsü olduğundan bağımsız olarak, " $y=x$ " doğrusuna yakınsayan doğrusal bir ilişki görülmektedir. Gürültü seviyesi arttıkça bu doğrusallık çok daha net göze çarpmaktadır. Ayrıca herhangi bir kenar şablonu içermemesi nedeniyle, bu doğrusallık beklenildiği üzere en net Resim 1'e ait durumda görünmektedir. Resim 7 ve Resim 8'e gelindiğinde ise düşük gürültüde sapma artmaktadır.

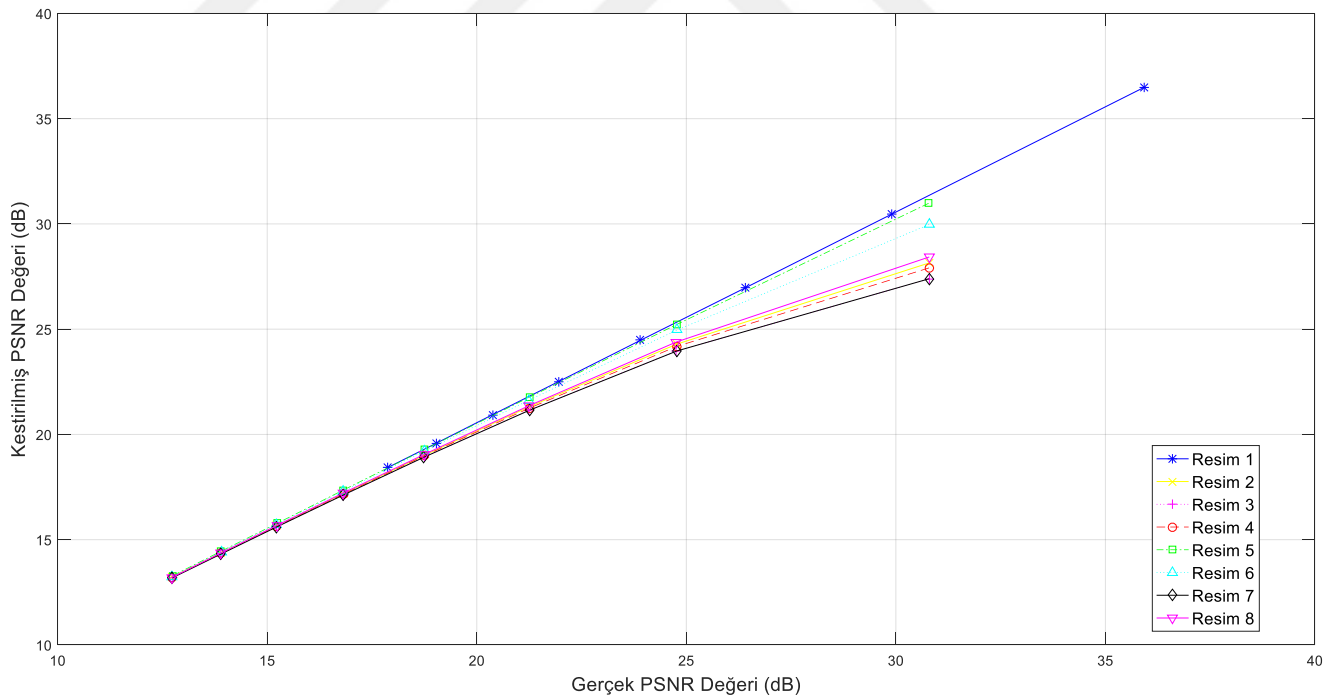
Görüntüdeki gürültü seviyesi çok düşük değerlerde olduğunda, diğer gürültü koşullarında görülen net doğrusal ilişkinin kurulması mümkün olmamakta, fakat filtrelenmiş görüntü ile gürültülü görüntü arasında hesaplanan PSNR değerinin 15 dB'den yukarıda olduğu her durumda, gerçek gürültü SNR seviyesinin de 15 dB'nin üzerinde bir değere karşılık geleceği, düşük bir hassasiyetle de olsa, anlaşılabilmektedir. Daha hassas bir gürültü seviyesi tespiti için farklı bir gürültü seviyesi tespit yönteminin seçilmesi gerekmele birlikte, bu çalışmada hedeflenen gürültüye dayanıklı kenar tespit algoritması için önemli olan yüksek gürültü seviyelerinin tespiti bağlamında, bu yöntemin de kabul edilebilir bir hassasiyetle çalıştığı söylenebilir.



Şekil 4.2 Gauss filtrede pencere genişliği etkisi



Şekil 4.3 Test görüntülerinde gerçek ve kestirilmiş PSNR ilişkisi (p=9)



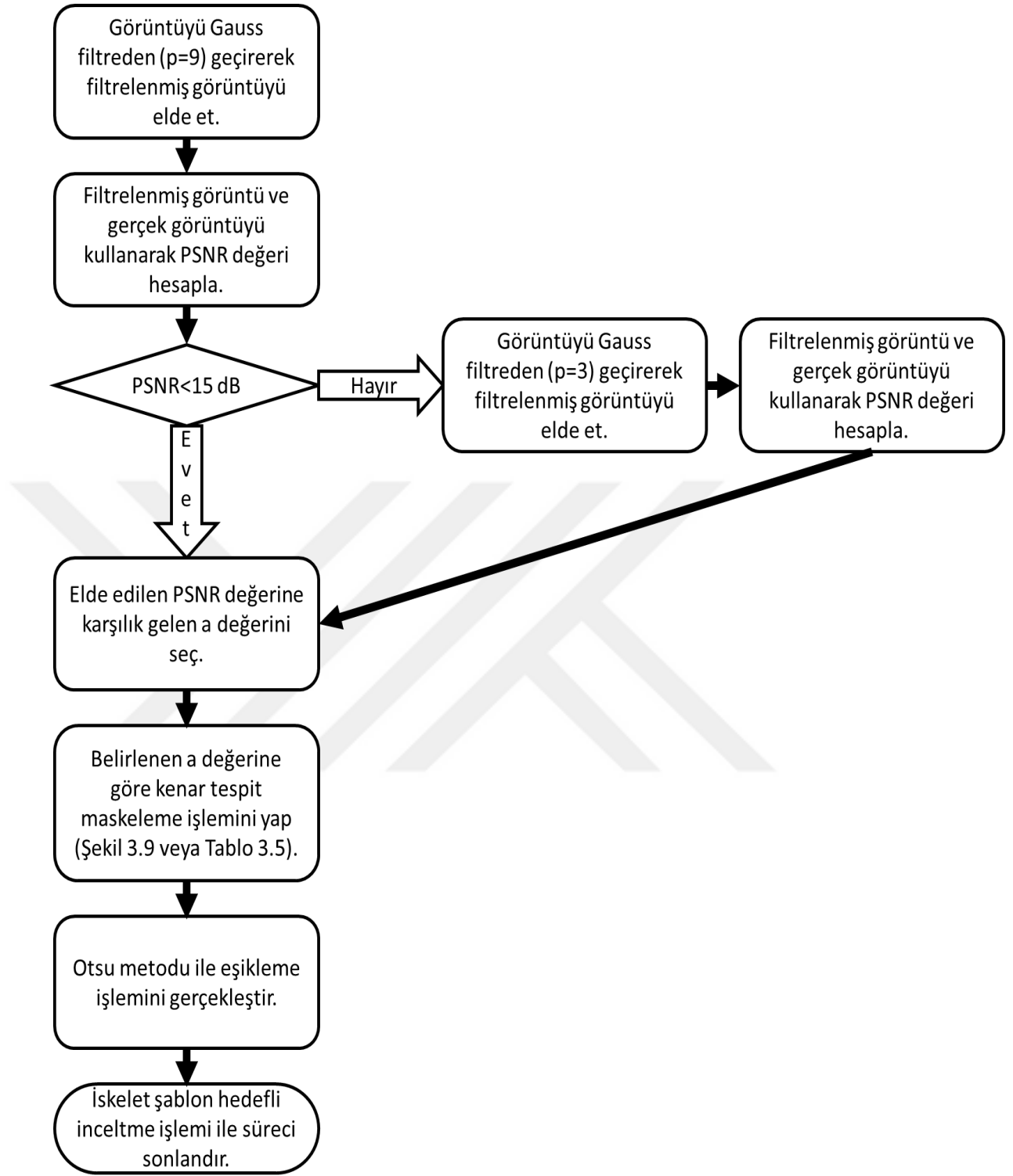
Şekil 4.4 Test görüntülerinde gerçek ve kestirilmiş PSNR ilişkisi (p=3)

Gürültü SNR seviyesinin 12 dB üzerinde değerlerde olduğu gürültü verileri içeren Şekil 4.4'te ise, özellikle düşük gürültü seviyeleri için gerçek ve filtrelenmiş görüntüler arasında daha isabetli bir PSNR karşılaştırmasının sağlanması açısından pencere genişliğinin

3 değerine indirildiği filtre etkisi incelenmektedir. Şekil 4.3'te yüksek gürültü seviyeleri için sağlanan “ $y=x$ ” doğrultusundaki ilişki Şekil 4.4'te bir miktar bozulsada, özellikle 15 dB üzerindeki değerler için filtrelenmiş görüntü sonuçları aracılığıyla gerçek görüntüdeki gürültü değerlerinin daha isabetli tahmin edilebilmesine imkân sağladığı görülmektedir. Fakat, unutmamak gerekir ki; burada görülen daha stabil doğrusallık, pencere genişliğinin 3 olduğu durumda daha iyi bir filtreleme sağlandığını değil, özellikle düşük gürültülü durumlarda daha sağlıklı gürültü seviyesi tahmine imkan sağlandığını belirtmektedir. Çünkü Gerek Şekil 4.2 ve gerekse de Şekil 4.3'te görüldüğü üzere pencere genişliğinin 9 olduğu durumda, filtrelenmiş görüntü ile gerçek görüntüye ait PSNR değerleri birbirine daha yakın olmakta ve dolayısı ile daha iyi filtreleme sağlanmaktadır. Ayrıca bu çalışmadaki temel odak noktası olan gürültüye dirençli bir kenar tespit algoritması geliştirilmesi hususu da göz önüne alındığında, ön filtreleme için pencere genişliğinin 9 olarak seçilmesinin yerinde olduğu görülmekte; ancak gürültü seviyesi kestirimi için, düşük gürültülü görüntüler söz konusu olduğunda, pencere genişliğinin düşürülerek filtreleme işleminin yapılmasının isabet oranını arttırıcı bir etkiye sahip olacağı anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte, gürültü seviyesi düştükçe, ön filtreleme işlemine ait pencere genişliğinin küçültülmesi sonucu daha etkili sonuçlar alma eğiliminin de arttığı Şekil 4.2'de görülmektedir. Her ne kadar mevcut izlenen yol her durumda optimum bir filtreleme imkanı sunuyor olsa da düşük gürültü seviyeleri için daha hassas bir ön filtreleme yapılması amacıyla filtre pencere genişliğinin kademeli olarak düşürülmesinin olumlu bir etkiye sahip olacağı sonucu çıkmaktadır.

Yukarıda bahsedilen gürültü seviyesinin kestiriminin de dâhil edildiği ve bu tez çalışması kapsamında geliştirilen değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemine ilişkin nihai akış diyagramı, görsel açıklayıcılığın sağlanması amacıyla Şekil 4.5'te yer almaktadır.



Şekil 4.5 Değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemi akış diyagramı

Tüm bunlarla birlikte, pencere genişliği ve yukarıda bahsi geçen doğrusal ilişki üzerinde daha derinlemesine bir çalışma yürütülerek kestirim başarımının artırılabilceği, ama bu haliyle de mevcut sonuçların bu çalışma kapsamında geliştirilen kenar tespit algoritmasının ihtiyaçlarına asgari düzeyde de olsa karşılık verebildiği yorumlanmaktadır.

BÖLÜM 5 – KARŞILAŞTIRMALAR

Bu başlık altında, Şekil 3.3'te yer alan yapay test görüntüsü kullanılarak sırasıyla Canny, Prewitt, Sobel, Roberts Cross kenar tespit yöntemleri ile ve bu tez kapsamında geliştirilen değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemi kıyaslanacaktır. Anılan kenar tespit yöntemleri bundan sonra kısaca, sırasıyla “Canny metodu”, “Prewitt metodu”, “Sobel metodu”, “Roberts Cross metodu” ve “önerilen metot” olarak anılacaktır. Ayrıca, bu tez çalışması sonucunda ortaya konan değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemi ise “önerilen metot” olarak ifade edilecektir.

Karşılaştırmada, rastgele dağılıma sahip ve daha önce tanımlanmış olan 20 farklı seviyedeki gürültülerin bahsi geçen yapay test görüntüsüne doğrudan eklenmesinin yanı sıra, test görüntüsünün (Şekil 3.3) saat yönünün tersi yönde 30 derece döndürülmesi ile ortaya çıkan görüntüye de gürültü ilave edilmesiyle ortaya çıkan görüntüler kullanılacaktır. Şekil 3.3'teki yapay test görüntüsü ile Şekil 4.1'deki Resim 4, Resim 7 ve Resim 8 kullanılarak yapılan bu karşılaştırma MATLAB¹ ortamında gerçekleştirilecek olup her metot için MATLAB¹ içerisindeki aynı yerleşik inceltme metodu kullanılacaktır. Ayrıca önerilen metot dışında kalan diğer kenar tespit yöntemleri için MATLAB¹ içerisindeki yerleşik fonksiyonlar kullanılacaktır. MATLAB¹'da yer alan söz konusu fonksiyonlar için görüntü içeriğine göre değişen hüristik yöntemler kullanılmaktadır [38]. Bu karşılaştırmalardan seçilen üç farklı gürültü SNR seviyesi için elde edilen sonuçlara bu bölümde, diğer kalan 17 gürültü SNR seviyesi için gerçekleştirilenlerine ait şekillere ise ek kısmında yer verilecektir.

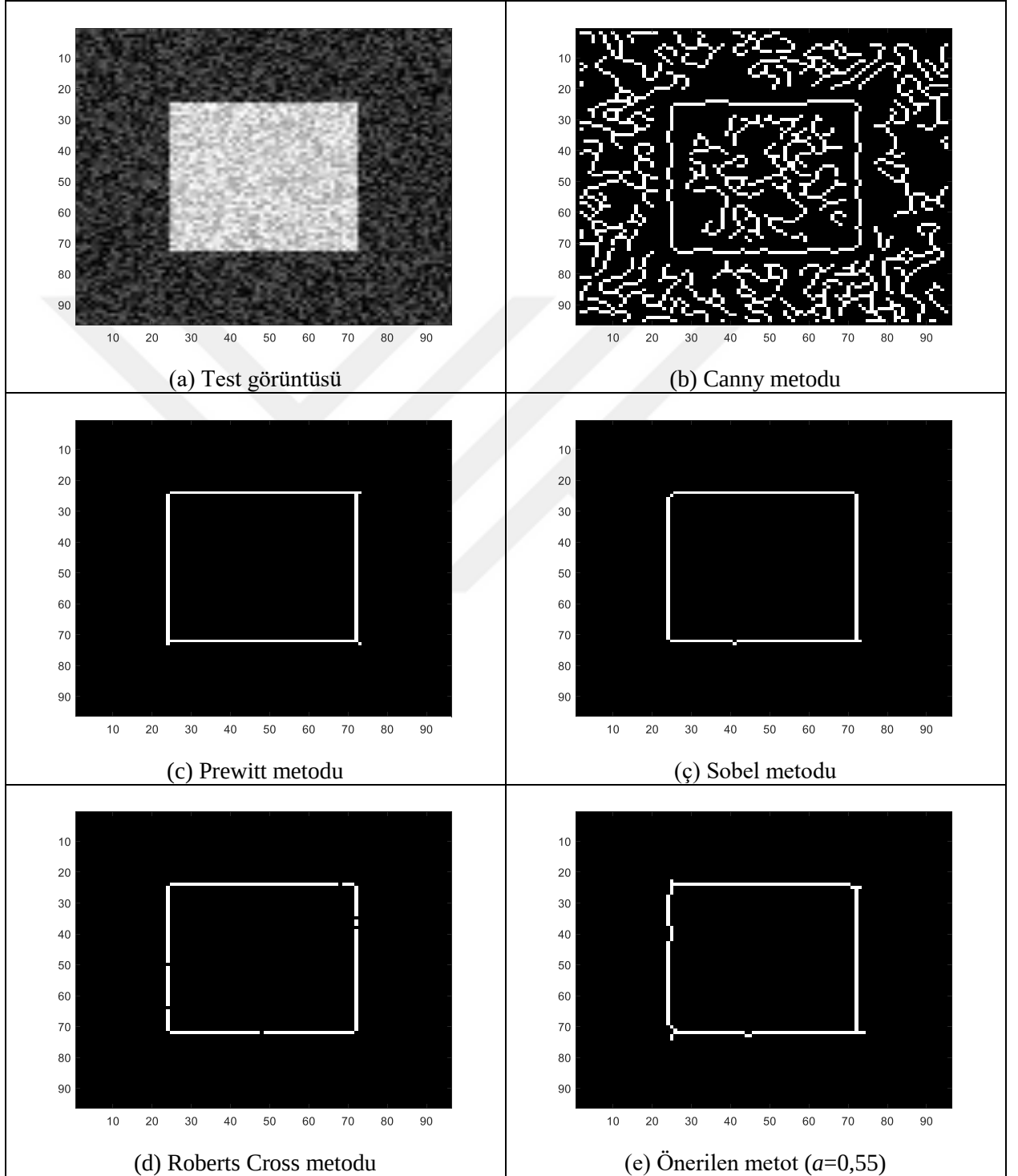
Ayrıca, benzer karşılaştırmalar, Şekil 4.1'deki test görüntülerinden Resim 4, Resim 7 ve Resim 8 ile de gerçekleştirilecektir.

Şekil 5.1 incelendiğinde 15,23 dB SNR seviyesindeki gürültü durumunda, Canny kenar tespit algoritması dışındaki metotların kenar noktalarını genel itibari ile korurken gürültüleri de başarıyla temizlediği, ancak Roberts Cross metoduna ait çıktıda çevrit pikselleri arasında bağlantının korunmadığı noktalar olduğu görülmektedir.

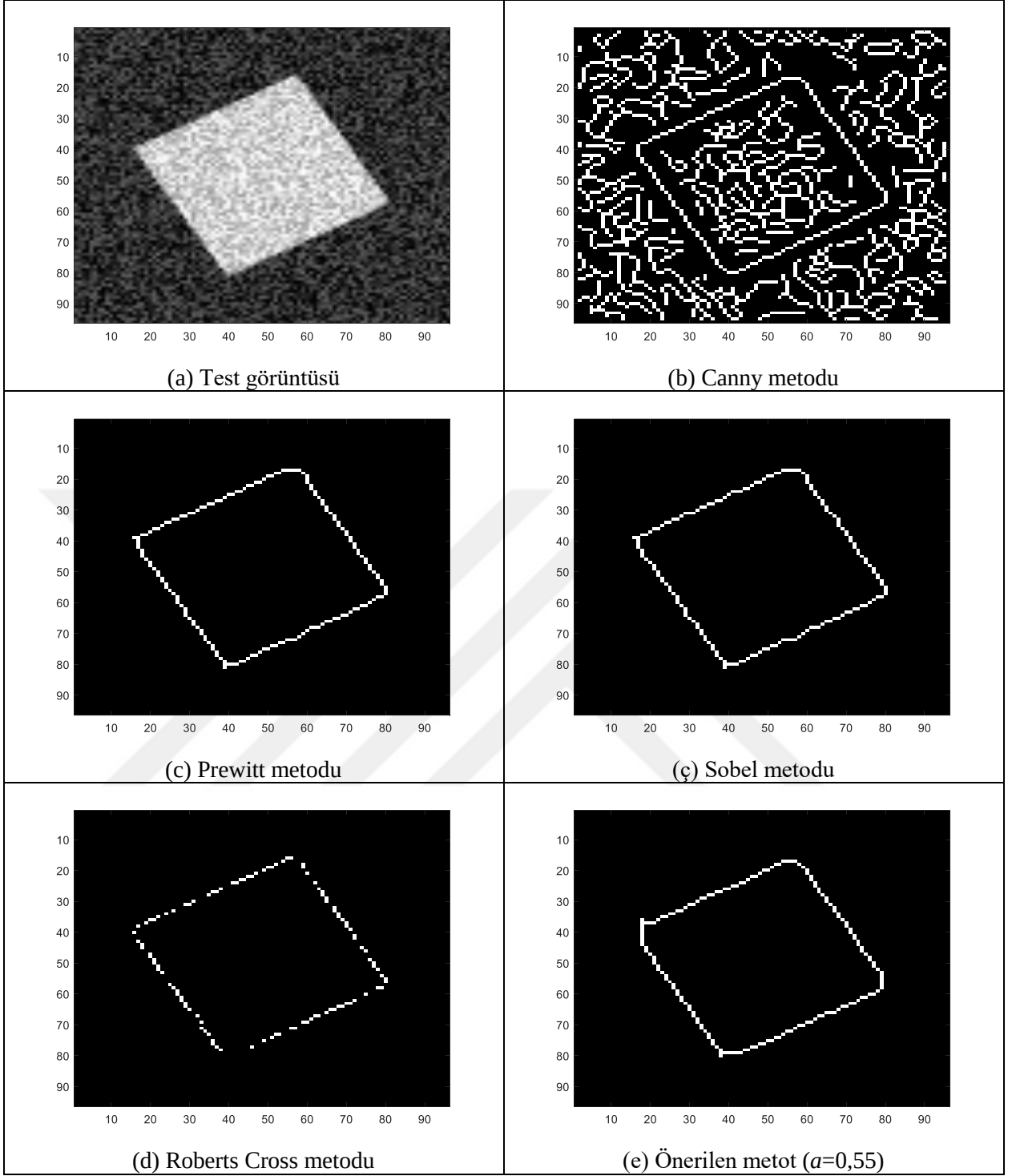
Şekil 5.2'de ise Şekil 5.1 ile benzer bir sonuç çıkmış olup Roberts Cross metodu çıktısında çevrit noktaları arasındaki kopukluk daha dramatik bir şekilde görülmektedir. Bu durum aynı gürültü seviyesi için farklı açılarla konumlandırılmış nesnelerin tespiti konusunda Roberts Cross algoritmasının ek bir dezavantajı olabileceğini göstermektedir.

¹ MATLAB R2016a

10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş görüntü durumuna ait Şekil 5.3'te görüldüğü üzere, daha önceki denemelerde olduğu gibi Canny algoritması her ne kadar görüntüdeki nesne şablonunu muhafaza etse de gürültü değerlerini taşıyan noktaları kabul edilemez miktarda kenar olarak belirleyerek yüksek bir hata oranına sahip olmaktadır.



Şekil 5.1 15,23 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 5.2 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 15,23 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması

Roberts Cross metodu için ise tam tersi bir durum söz konusudur. Yani gürültüyü temizlerken nesne şablonunu kaybetmektedir. Prewitt ve Sobel yöntemlerinde ise Canny ve Roberts Cross metotlarına göre başarı seviyesi yüksek olmakla beraber çevrit noktaları

arasında kopukluk ve az miktarda da olsa giderilemeyen gürültü söz konusudur. Bahse konu algoritmalar arasında önerilen metot bu gürültü SNR seviyesinde en iyi sonucu vermektedir.

Şekil 5.4'te bir önceki denemeden farklı olarak 30 derece döndürülmüş nesne örneği incelenmektedir. Önerilen metod, yine çevrit noktalarına ait bağlantıları herhangi bir kopukluk olmaksızın korumakla beraber, gürültüyü de tamamen gidermektedir. Bu şartlar altında Roberts Cross metodu ciddi seviyede kenar verilerini kaybederken, Sobel metodunun gürültü giderme konusunda Prewitt yöntemine göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

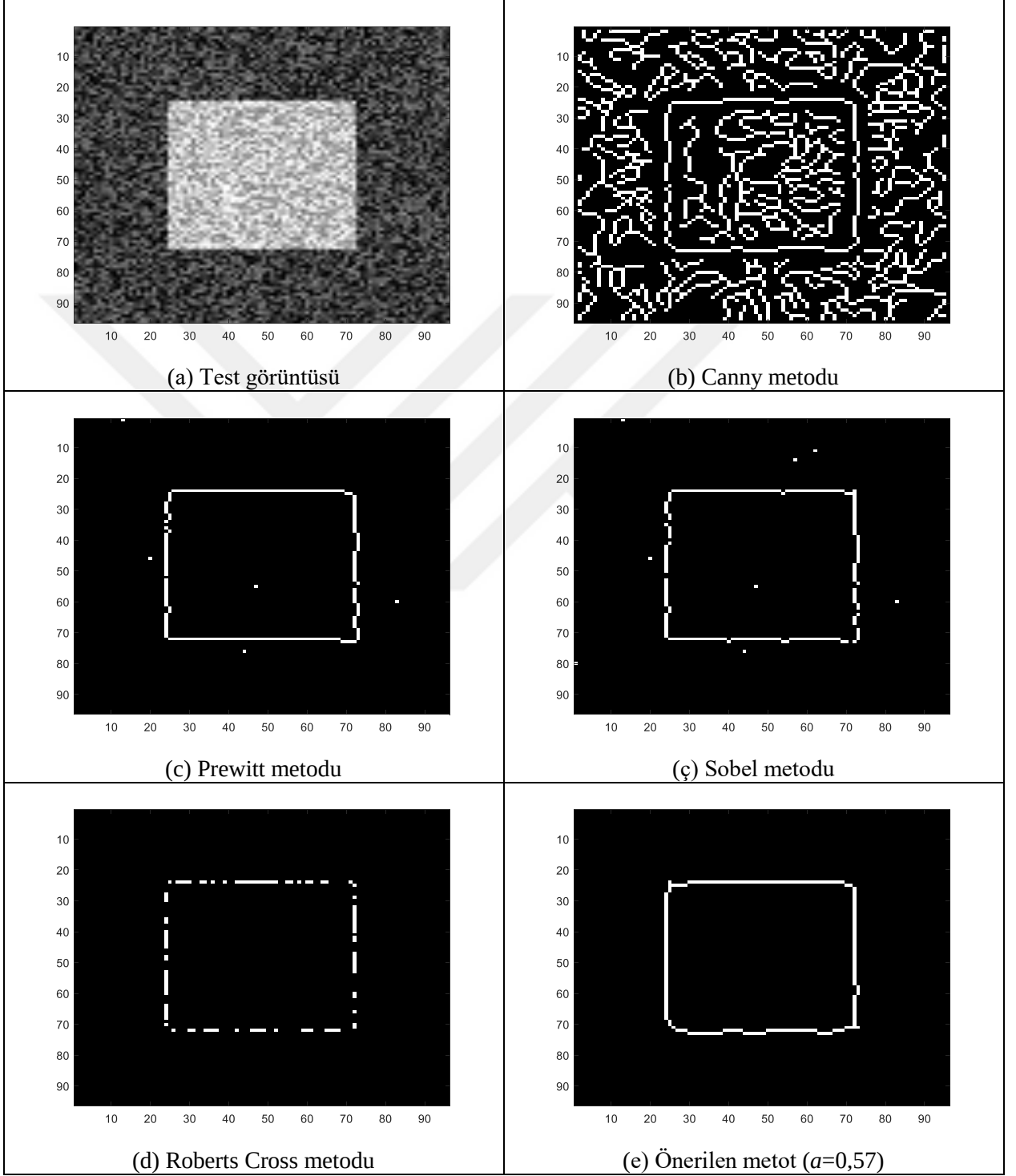
Orijinal test verisine 6,71 dB gürültü SNR seviyesinde gürültü eklendiği durumda, Şekil 5.5'te de görüldüğü üzere, gürültüyü temizlemenin yanı sıra çevrit bütünlüğünü de sağlayan tek metodun bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem olduğu görülmektedir. Bu seviyedeki gürültü altında, daha önce başarılı olarak nitelendirilebilecek sonuçlar veren Prewitt ve Sobel yöntemleri de tam anlamıyla etkili olmaktan uzaklaşmakta ve kenar şablonu ile gürültü verilerinin ayırt edilemeyecek derecede karışmasına engel olamamaktadırlar.

Şekil 5.6'da, belirlenen test kriterleri altında, en başarılı yöntemin yine önerilen metod olduğu görülürken, bu aşamaya kadar ilk defa çevrit noktalarının birkaç piksel uzağında az sayıda noktanın hata ile kenar bileşeni olarak belirlendiği görülmektedir. Bu aşamada, ayrıca Roberts Cross metodu çıktısı incelendiğinde, kenar şablonu artık neredeyse tamamen kaybolmaktadır. Canny yöntemi anlamını yitiren çıktılar vermeye devam etmektedir.

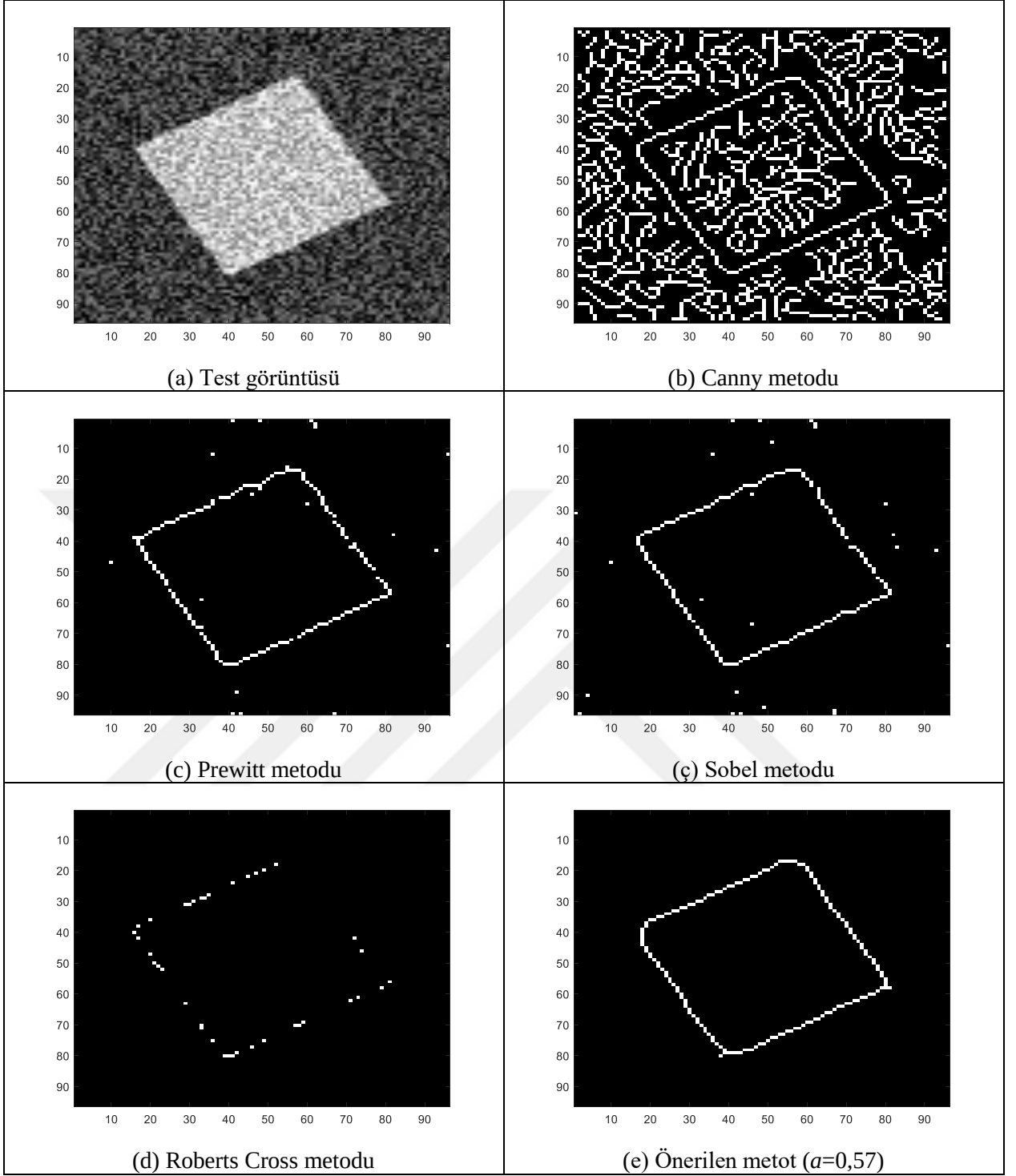
Burada şunu da belirtmek gerekir ki, Canny ve Roberts Cross metotları, şimdiye kadar bahsi geçen kıyaslamalarda etkisiz görünmesi, söz konusu denemelerdeki gürültü seviyelerine karşı dayanıklı olmamalarından kaynaklanmaktadır. Özellikle ekte sunulan kenar tespit metot kıyaslamaları da incelendiğinde, Canny metodunun gürültü karşısında en başarısız yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle Canny metodunun ancak gürültüsüz görüntüler için kullanılabilir olduğu düşünülmektedir. Roberts Cross metodu ise, yaklaşık 20 dB SNR değerine kadar gürültü taşıyan görüntülerde başarılı olmakla beraber, gürültü seviyesi arttıkça kenar tespit kabiliyeti zayıflamaktadır.

Prewitt ve Sobel yöntemlerinin ise özellikle 10 dB altındaki SNR değerlerine sahip gürültülü görüntülerde etkili çalışma aralığından çıkmaya başladığı, fakat bunların Canny ve Roberts Cross metotlarına göre gürültüye daha dayanıklı olduğu görülmektedir.

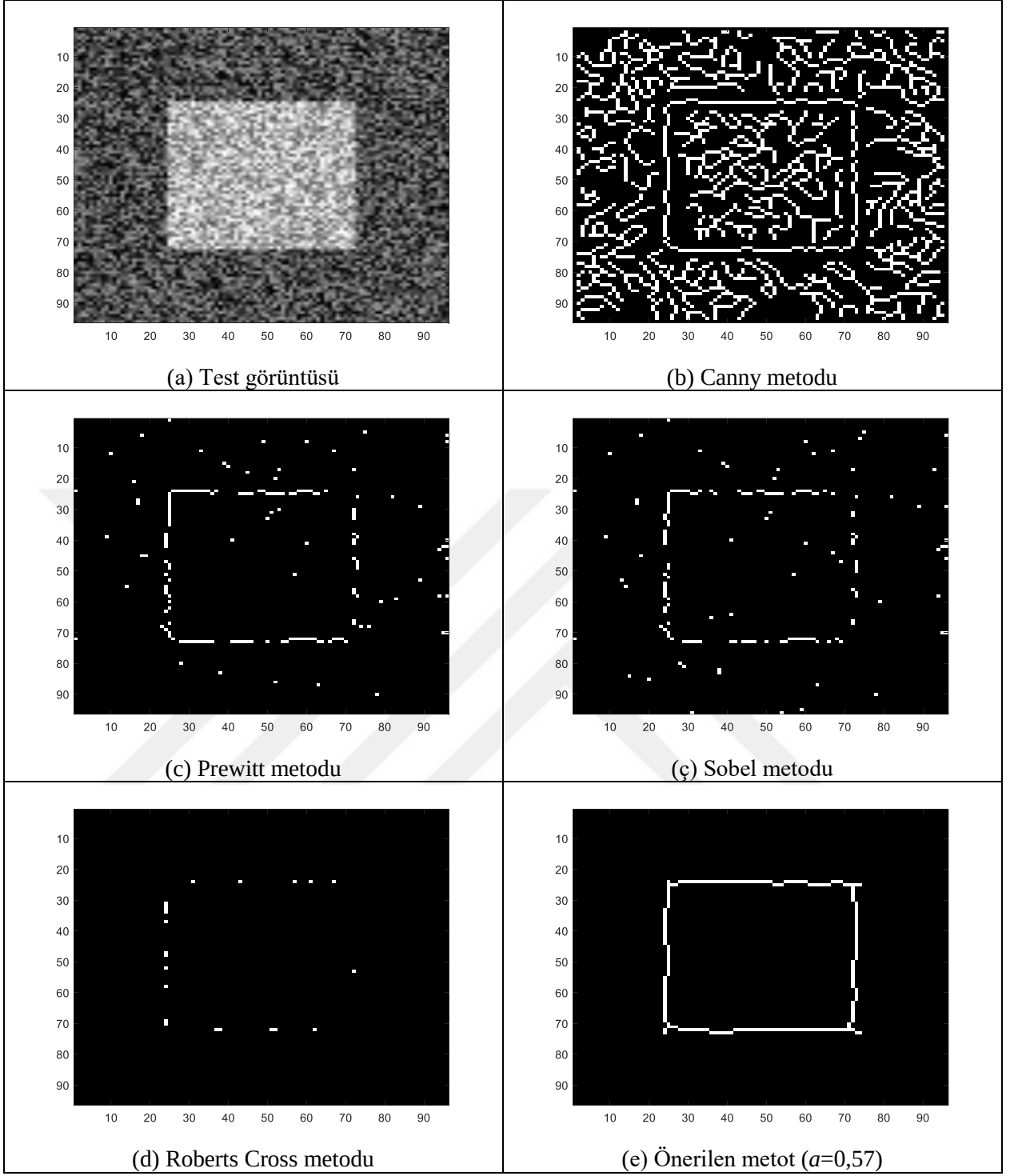
Önerilen metot kullanılarak, diğer metotların etkili çalıştığı gürültü seviyelerinde kenar şablonunun, küçük şekli bozulmalarla da olsa herhangi bir kopukluk olmadan korunabildiği anlaşılmaktadır. Bu bozulmaların sebepleri arasında ön plana çıkan husus kullanılan gürültü giderici filtre boyutu olduğu değerlendirilmektedir.



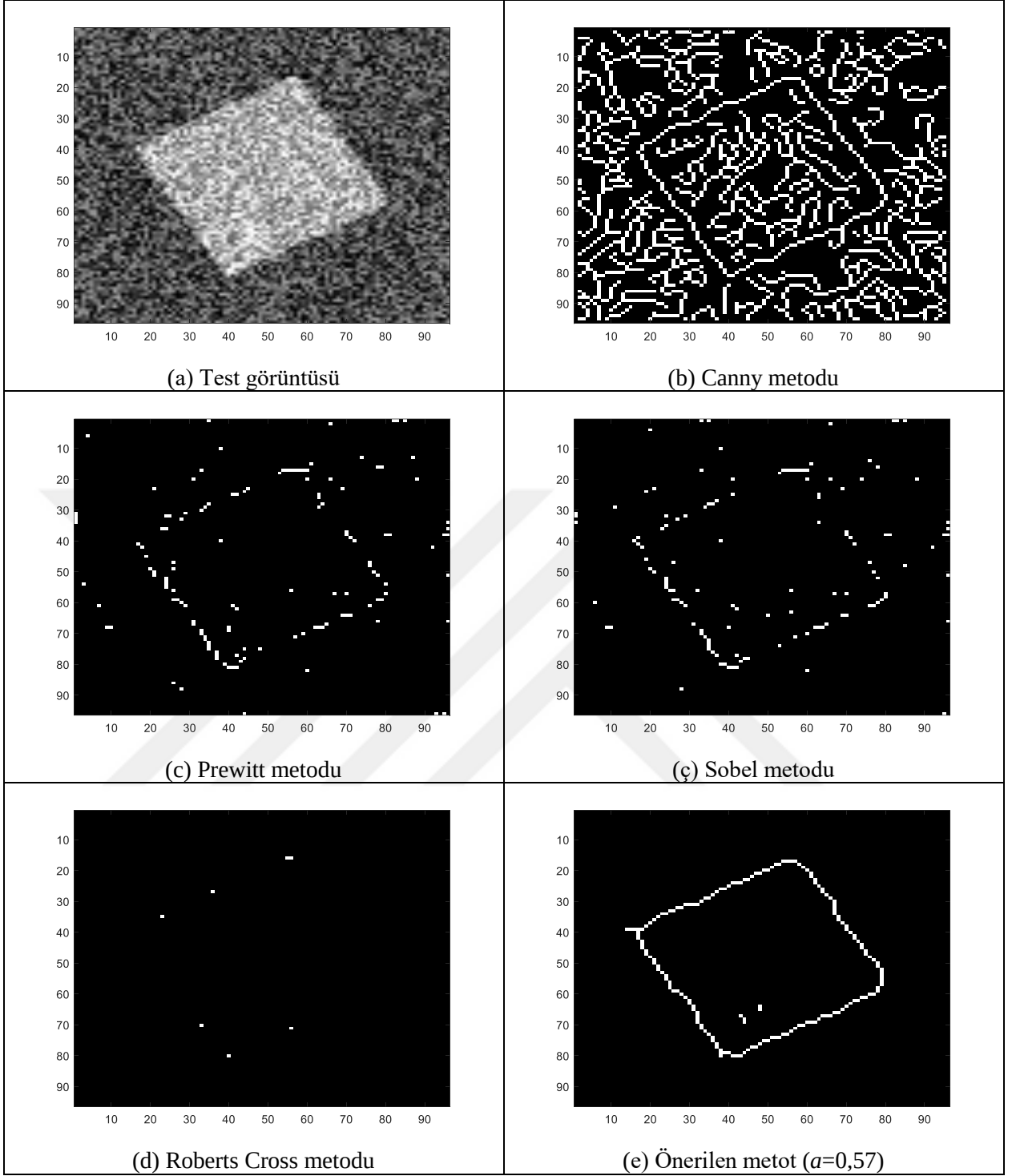
Şekil 5.3 10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 5.4 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 5.5 6,71 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 5.6 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 6,71 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması

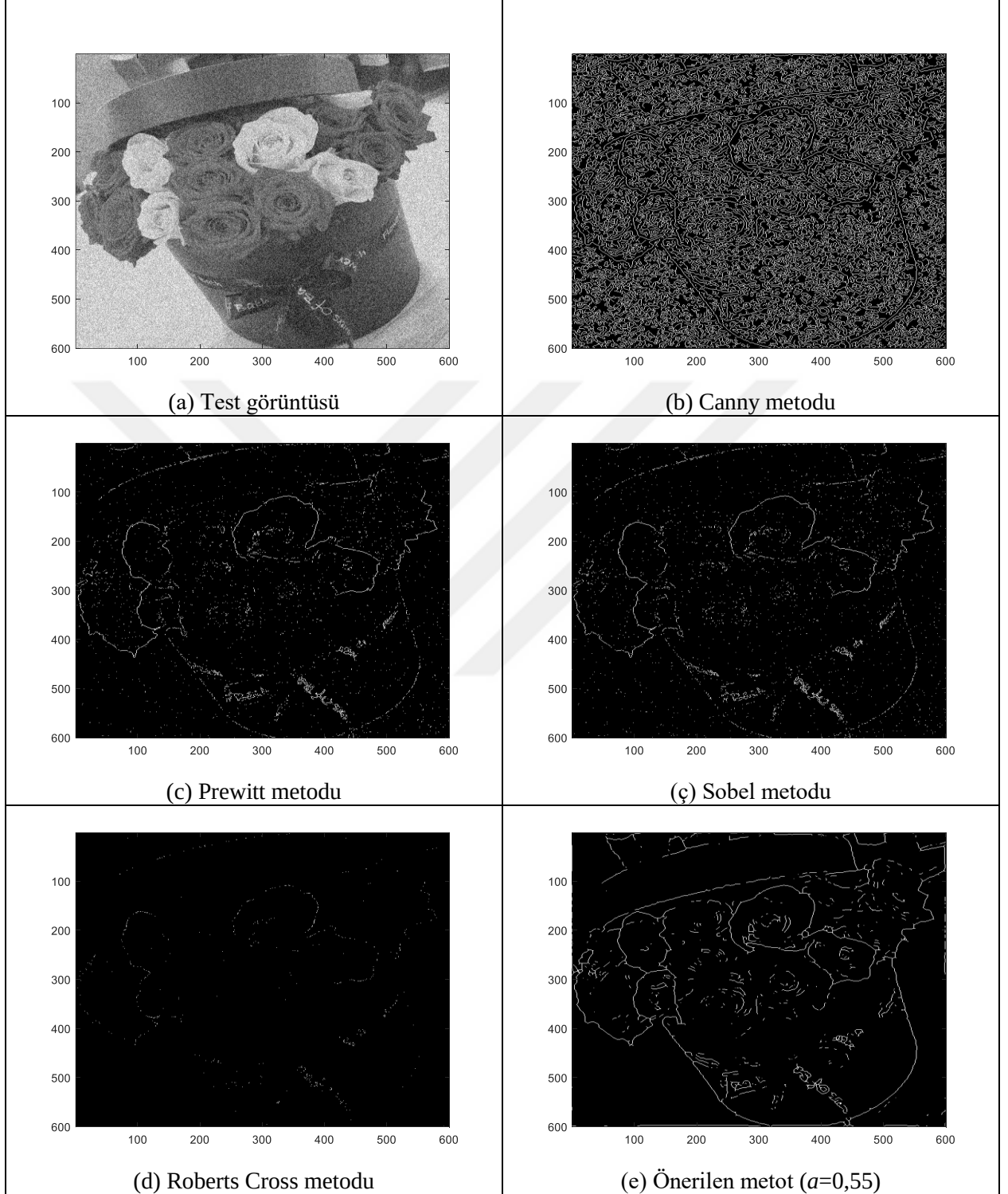
Gürültü seviyesi düştükçe bu filtre boyutunun da düşürülmesi veya 30 dB SNR seviyesindeki gürültülü durumlarda hiç kullanılmamasının yerinde olabileceği yorumlanmaktadır. Çünkü düşük gürültü seviyelerinde, bu filtre işleminden kaynaklı bozulmalar, gürültünün neden olduğu bozulmaların ötesine geçebilmektedir. Gürültü seviyesine göre uyarlanabilir bir ön filtreleme işlemi konusu hakkında, 3. Bölümde yer alan analiz sonuçlarının kullanılabileceği yorumlanmaktadır.

Şimdiye kadar kenar tespit maske parametresi a 'nın optimizasyonu aşamasında tercih edilen Şekil 3.3'teki test görüntüsü kullanılarak kenar tespit metotlarının karşılaştırılması yapılmakla birlikte, aşağıda Şekil 4.1'de bulunan Resim 4, Resim 7 ve Resim 8'e farklı seviyelerde gürültü eklenerek elde edilen yeni test görüntüleriyle yapılan metot karşılaştırmasına yer verilmektedir. Bu deneyler, tez çalışmasında önerilen algoritmanın başarısını göstermek açısından oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Çünkü seçilen test örnekleri, önerilen metodun sadece üzerinde optimizasyon yapılan test görüntüsü için değil, genel olarak geçerli ve etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Resim 4'ün Şekil 3.3'teki test görüntüsü gibi yapay olmasına karşın oldukça farklı geometrik şekiller ve zengin kontrast çeşitliliği içermesi bu genellemeyi sağlayan unsurlar arasında değerlendirilmektedir. Ayrıca, Resim 7 ve Resim 8'in bu görüntülerden yapay olmamak yönüyle farklılık göstermesi, yani sayısallaştırılmış optik görüntüler olması da bir diğer faktör olarak yorumlanmaktadır. Bununla birlikte, Resim 7 iki boyutlu ve göreceli olarak sade bir içeriğe sahipken, Resim 8'in karmaşık şekiller içermesi de bu sayısallaştırılmış optik görüntülerin mümkün olduğunca çeşitlilik gösteren, kapsayıcı deney şartlarını sağlaması açısından özellikle belirlenen bir durumdur.

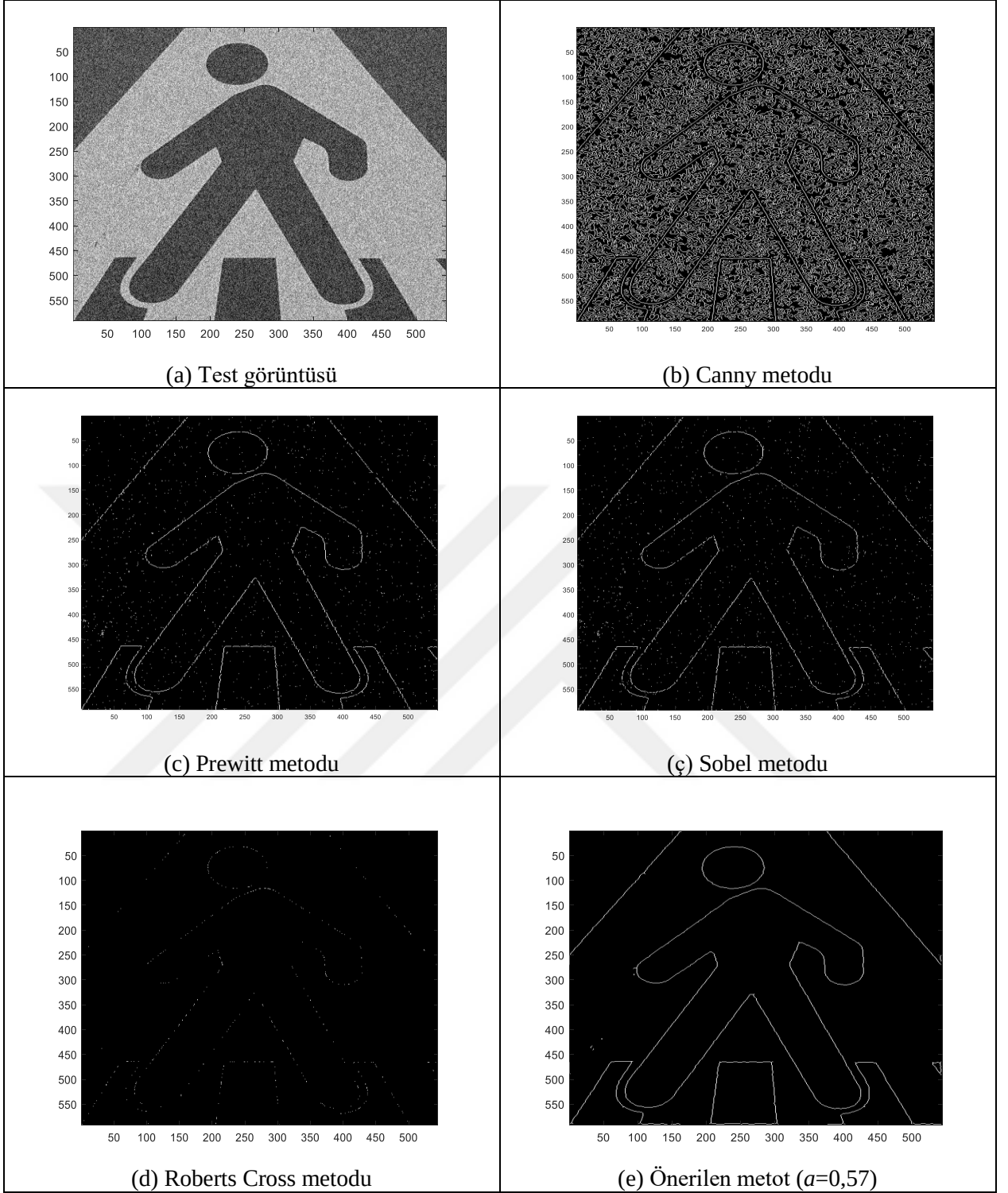
Resim 7, Resim 8 ve Resim 4'e sırasıyla; 15,23 dB SNR, 10,79 dB SNR ve 9,21 dB SNR seviyelerinde gürültü eklenerek yapılan karşılaştırmalara Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da yer verilmektedir.

Şekil 5.7 incelendiğinde, küçük ve girift ayrıntılar taşıyan test görüntüsünün göze oldukça bozuk geldiği ve barındırdığı nesnelerin seçilmesi güç bir halde olduğu değerlendirilmektedir. Bu durumda, beklenildiği üzere gürültüyü temizlemek konusunda etkisiz kalan Canny metodundan tamamen anlamsız bir çıktı elde edilmektedir. Gürültüyü temizlerken kenar şablonunu kaybeden Roberts Cross metodu da faydalı bir içeriğe sahip olmaktan uzak görünmektedir. Prewitt ve Sobel metotları bahsi geçen bu metotlara nazaran daha olumlu bir tepki verse de oldukça ciddi oranda gürültü verisini hala içeren kenar tespit

görüntüleri üretmektedirler. Önerilen metot ise gürültüyü neredeyse tamamen temizlerken kenar şablonunu da en iyi koruyan yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.



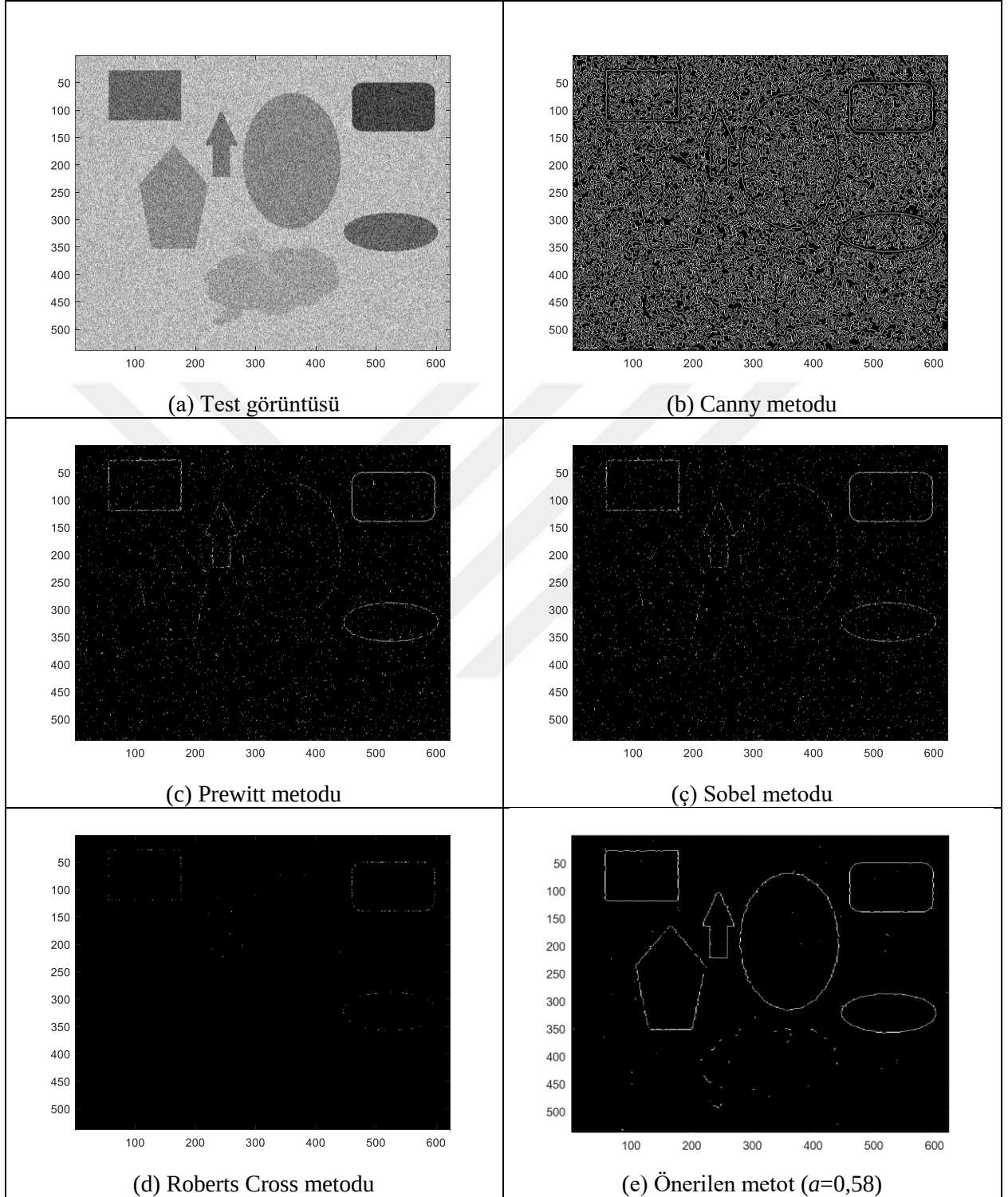
Şekil 5.7 15,23 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 5.8 10,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması

Şekil 5.8'deki test görüntüsüne eklenen gürültü değeri bir önceki deneye göre daha yüksek olmasına karşın, buradaki test görüntüsü içeriğinin basit ve sade yapısı sebebiyle gözle daha iyi ayırt edilebilir bir şablon yapısının var olduğu yorumlanmakta, fakat yine de bu gürültünün oldukça yüksek bir seviyede olduğunun söylenmesi mümkün olmaktadır.

Bununla birlikte, Şekil 5.8’de de, Şekil 5.7’ki durum ile hemen hemen aynı sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 5.9 9,21 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması

Şekil 5.9’da, Resim 4’e 9,21 dB SNR seviyesinde eklenen yüksek gürültü karşısında, önerilen metodun haricindeki metotlardan sadece Prewitt ve Sobel metotları yalnızca görüntünün sağ üst köşesindeki yüksek kontrast farkına sahip nesneye ait kenar şablonunu bir derece koruyabilmektedir. Önerilen metot ise tüm kenar şablonlarını korurken, sadece görüntünün en altında kalan ve ilk bakışta gözle dahi fark edilmesi mümkün olmayan nesnenin kenar şablonunu ortaya çıkarmakta güçlük çekmektedir. Ayrıca önerilen metodun gürültü verisini de başarıyla temizlediği anlaşılmaktadır.



BÖLÜM 6 – SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, en önemli görüntü işleme araçları arasında yer alan görüntüde kenar tespit yöntemleri üzerinde durulmuştur. Görüntü işleme, yapay görme, bilgisayarla görü ve özellikle de öznitelik tespiti ile öznitelik çıkarımı alanlarında temel bir araç olarak kullanılan bu yöntemlerin gürültü karşısındaki tepkilerine odaklanmayı sağlayacak bir analiz tarzı benimsenmiştir. Bunun için öncelikle kenar tespit algoritmalarına ait süreçler arasında olan, Gürültü giderici ön filtreleme, piksel komşulukları üzerinden diferansiyel değer tespiti ve eşikleme yanısıra, görüntüdeki gürültü SNR seviyesi tahminine ilişkin hususlar detaylı olarak incelenmiştir. Ayrıca bu doğrultuda, yaygın olarak bilinen Canny, Prewitt, Sobel ve Roberts Cross kenar tespit yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Yapılan çalışma neticesinde, göreceli olarak düşük gürültü seviyelerinde hemen her kenar tespit metodlarının belirli bir düzeyde başarı gösterdiği, fakat gürültü seviyesi arttıkça kenar tespit kapasitesi yönünden söz konusu yöntemler arasında tespit kabiliyeti ve başarımlarının seviyesi yönünden ciddi farklılıklar meydana geldiği görülmüştür. Tez çalışmasının, kenar tespit yöntemlerinin gürültü karşısındaki tepkilerini ortaya koymak üzerine şekillenmesinde bu durum oldukça önemli bir rol oynamıştır.

Bu doğrultuda, öncelikle Şekil 3.3'teki yapay test görüntüsü oluşturulup 20 farklı gürültü SNR seviyesi belirlenmiş ve gerek bu gürültü seviyelerinin kullanıldığı incelemelerde ve gerekse de tez içeriğindeki diğer bazı analiz çalışmalarında, elde edilen sonuçlar ile seçilen referans sinyaller arasında PSNR hesaplamaları yapılarak oldukça önemli çıkarımlar ortaya konulmuştur.

Yukarıda bahsi geçen gürültü giderici ön filtreleme işlemi için, bu konuda oldukça sık kullanılan ortanca filtre, ortalama filtre ve Gauss filtre incelemeye alınmış ve yapılan değerlendirmeler sonucunda; göreceli olarak yüksek gürültü seviyelerinde, görüntüdeki gürültü seviyesinin kestirimi konusundaki yüksek başarı düzeyi sebebiyle bu çalışmada ön filtreleme amacıyla Gauss filtre kullanımına karar verilmiştir.

Piksel komşulukları üzerinden diferansiyel değer tespiti amacıyla kullanılan kenar tespit maskesi için ise öncelikle maske boyutunun belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Lokalizasyon, içeriksel tespit hassasiyeti ve işlem kolaylığı parametrelerine en iyi cevabı verdiği anlaşılan 3x3 boyutunun seçilmesi sonrası, bu maskeleme işlemini açıklayan 3x3 boyutundaki matris elemanlarının değeri tayin edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bir a

parametresine bağı ve gürültü SNR seviyesine göre uyarlanabilir bir kenar tespit maske formu geliştirilmiştir.

Bahsi geçen a parametresinin belirlenebilmesi için Şekil 3.3'te yer alan test görüntüsü kullanılarak, öncelikle diğer değişkenlerin sabit tutulduğu ve sadece gürültü parametresinin analiz edilmesine uğraşılan bir çalışma yapılarak her bir gürültü SNR seviyesi için bir optimum a değeri belirlenmiştir. Burada temel olarak 0,55 ve 1 olmak üzere iki a değeri elde edilmiştir. Bu değerlerin Sobel işlecindeki 0,5 ve Prewitt işlecindeki 1 katsayıları ile bağdaştırılması hususu yorumlanmıştır.

Daha sonra benzer bir işlem, söz konusu test görüntüsünün farklı açılarda döndürülmesi ile elde edilen görüntüler üzerinden yürütülmüştür. Burada, görüntülere gürültü eklenmemiş olup sadece döndürme etkisi incelenmiş, böylece farklı geometrik pozisyonlardaki nesneler için optimum kenar tespit maske formu araştırılmıştır.

Bu analizlerin ardından, içerdiği şekillerin geometrik yapısı hakkında herhangi bir bilgi bulunmayan ve her türlü nesne çeşitliliğine sahip olabilecek görüntülerin barındırdıkları gürültü seviyelerine göre en iyi kenar tespit maske formu oluşturulması için çalışmalar yapılmıştır. Bunun için daha önce ayrı ayrı uygulanan gürültü ekleme ve döndürme işlemlerinin aynı anda tatbik edildiği denemeler yapılmıştır. Şöyle ki; analiz için seçilen bir gürültü SNR seviyesi için, test görüntüsü, belirlenen tüm açılarda döndürülerek her bir döndürülmüş görüntüye bu gürültü eklenmiştir. Elde edilen her bir döndürülmüş ve gürültü eklenmiş görüntü için daha önce açıklandığı üzere PSNR hesaplaması yapılmıştır. Bu PSNR değerlerinin toplamını en büyük değere ulaştıran kenar tespit maske katsayısı, bu gürültü SNR seviyesinin optimum a değeri olarak saptanmıştır. Bu işlem, önceden belirlenen 20 farklı SNR seviyesindeki her bir gürültü durumunun tamamı için tekrarlanarak gürültü SNR seviyesine göre uyarlanabilir bir kenar tespit maske formu geliştirilmiştir.

Söz konusu maske formunun belirlenmesiyle, artık elde edilmesi mümkün hale gelmiş olan kenar tespit görüntüsünün eşikleme işlemine tabi tutulması aşamasına gelinmiş olmuştur. Eşikleme sürecinde, kenar tespit görüntüsünün içeriğine göre uyarlanabilir bir metodun seçilmesine karar verilerek, sıklıkla kullanılan ve bir otomatik eşikleme yöntemi olan OTSU metodu tercih edilmiştir. Otomatik eşikleme tercihinin sebebi ise, her bir kenar tespit maskeleme işleminden elde edilen kenar tespit görüntüsünün içerdiği kontrast çeşitliliği ve piksellerinin ortalama değeri farklılık gösterebileceğinden, bu görüntülerden her birine uygulanacak optimum eşik değerinde farklı olabileceği gerçeği olmuştur.

Son durumda, bir kenar tespit algoritmasının tüm temel bileşenleri elde edilmiş olmakla beraber, bu tez çalışmasının en temel iddiası olan gürültü SNR seviyesine göre uyarlanabilir kenar tespit algoritmasının işletilebilmesi için, görüntüdeki gürültü SNR seviyesinin tahmin edilebilmesi gerekliliğinin var olması nedeniyle, kenar tespit işlemi uygulanacak görüntünün gürültü SNR seviyesinin kestirimine ilişkin süreç analizi yapılmıştır. Bunun için Şekil 4.1'deki sekiz adet örnek test görüntüsü belirlenmiştir. Analiz için özellikle seçilen bu görüntülerin altısı yapay, ikisi ise sayısallaştırılmış optik görüntüler olarak tercih edilmiştir. Analiz sürecinde optimum kenar tespit maske katsayısı a 'nın hangi gürültü seviyelerinde değişkenlik gösterdiği ve hangi durumlarda algoritmanın performansını etkileyebileceği göz önüne alınarak gürültü SNR seviyesi belirleme hassasiyeti tayin edilmiş ve buna göre daha önce tanımlanmış gürültü seviyelerinden bir kısmı seçilerek uygulanmıştır. Bu uygulama şu şekilde yapılmıştır: Birinci olarak kestirim sürecinde kullanılacak filtre çeşidi ve filtrenin boyutu olarak ifade edilen filtre pencere genişliği seçilmeye çalışılmıştır. Filtre çeşidi olarak daha önce yapılan gürültü giderici ön filtreleme çalışmasında da, özellikle yüksek gürültü seviyelerindeki yüksek kestirim başarısı ile ön plana çıkan Gauss filtrenin kullanılması kararlaştırılmıştır. Pencere genişliği için tıpkı kenar tespit maskesinde tercih edildiği gibi lokalizasyon problemi yaşanmaması adına tek sayı değerindeki bir filtre boyutunun uygun olduğu yorumlanmıştır. Bu nedenle [5, 25] aralığındaki tüm tek sayılar, muhtemel en iyi pencere genişliği olarak incelenmiştir. Bunun için belirlenen bir seviyede gürültü eklenmiş görüntü, her bir belirlenen pencere genişliğine sahip Gauss filtre ile ayrı ayrı işleme girmiştir. Elde edilen görüntü ile gürültülü görüntü arasında bir PSNR hesaplaması yapılmıştır. Daha sonra her bir gürültü SNR seviyesi için bu PSNR değerinden, gürültüsüz orijinal görüntü ile gürültülü görüntü arasında hesaplanan PSNR değeri çıkartılmıştır. Elde edilen bu fark değerini, tüm gürültü seviyeleri için mümkün olduğunca en aza indiren pencere genişliği saptanmıştır. Belirlenen tüm sekiz test görüntüsü için bu işlem tekrarlanmış ve sonuç olarak en uygun pencere genişliğinin 9 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra belirlenen pencere genişliğindeki Gauss filtre ile kestirim sürecinin nasıl yürütüleceği aşamasına geçilmiştir. Bu amaçla, her bir gürültü SNR seviyesi için; gürültüsüz ve gürültülü görüntü arasında PSNR hesaplaması yapıp bu değerler, filtre ile elde edilen filtrelenmiş görüntü ve gürültüsüz görüntü arasında hesaplanan PSNR değerleri ile karşılaştırılmıştır. Böylece her bir gürültü SNR seviyesi için, bu PSNR sonuç çiftlerinin her birinin kendi arasındaki ilişki gözetilerek, gürültüsüz görüntü verisinin olmadığı durumlarda, sadece gürültülü görüntü kullanılarak gürültü SNR seviyesinin belli bir

hassasiyet seviyesinde saptanabileceği görülmüştür. Bu sayede, gürültüye duyarlı olarak uyarlanabilir kenar tespit algoritmasının uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

Bu tez kapsamında geliştirilen değişken parametre tabanlı kenar tespit yöntemi ile diğer yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla, Şekil 3.3'te yer alan test görüntüsü ile Şekil 4.1'de yer alan Resim 4, Resim 7 ve Resim 8 kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, özellikle gürültü seviyesi arttıkça önerilen metodun gerek gürültü içeriğinin temizlenmesi ve gerekse de kenar şablonunun korunmasında açık üstünlüğü görülmüştür. Ancak gürültüsüz veya çok düşük gürültü seviyelerinde önerilen metodun kenar şablonundaki sürekliliği koruyabilmesi ile birlikte bazı küçük şekilsel bozulmalara neden olabildiği anlaşılmıştır.

Bu nedenle özellikle düşük gürültü seviyeleri için, uygulanan ön gürültü giderici filtrenin pencere genişliğinin düşürülmesi veya 30 dB SNR seviyesi gibi düşük gürültü içeren görüntüler için ön filtreleme uygulanmaması gibi bir çözümün uygun olacağı değerlendirilmektedir. Fakat gürültü SNR seviyesine ilişkin bir ön bilgi olmaksızın bu çözümün verimli bir şekilde uygulanabilmesi için, bu tez kapsamında önerilenden daha hassas ve isabetli bir gürültü SNR seviyesi kestirim aracının kullanılması gerektiği düşünülmektedir. İleriki çalışmalarda böylesi başarımların daha yüksek bir gürültü kestirim aracı ile beraber kullanılan bir kenar tespit algoritmasının kenar tespit maske parametresi olan a değerinin de daha isabetli seçilmesinde faydalı olacağı yorumlanmaktadır.

Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında geliştirilen kenar tespit metodunun; nesne tanıma, öznitelik çıkarımı gibi görüntü işleme süreçlerindeki başarımlarını olumlu yönde etkileyecek nitelikte olup özellikle yüksek rastgele gürültü seviyelerine maruz görüntülerin kullanıldığı uygulamalarda ileri tespit kabiliyeti imkânı sunacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle, süregelen çalışmalarda yapılacak muhtemel tespit iyileştirmeleri için, söz konusu görüntü işleme süreçlerinin kullanım alanı özelindeki düzenlemelere odaklanılmasının da yararlı olacağı öngörülmektedir.

Yukarıdaki çıkarımlara ilave olarak, ileriye yönelik çalışmalarda değerlendirilmesi gerektiği düşünülen bir diğer nokta ise kenar tespit maskesi ile elde edilen gradyan değerlerinin taşıdığı büyüklük verisinin yanı sıra içerdiği açısallığın, bir başka ifadeyle faz bilgisinin de kullanılmasının kenar tespit hassasiyetinde artış sağlayabileceği yorumlanmaktadır. Böylece, zayıf kenar noktaları için var olması muhtemel açısallık araştırılarak, mevcut eşik değerin belli bir miktar altında kalan noktaların da kenar noktası olarak belirlenebilmesi sağlanabilir. Bu sayede, yüksek gürültü koşulları altındaki

durumlarda, görüntü içerisinde düşük kontrast değerlerine sahip komşu kenar noktalarının görüntüdeki geometrik dizilimlerinin teşkil ettiği açısal süreklilik kullanılarak, daha isabetli bir şekilde kenar tespit sürecinin işletilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Jaehne, B., *Practical Handbook on Image Processing for Scientific Applications*, CRC Press, **1997**.
- [2] Haberaecker, P., *Digitale Bilverarbeitung*, Grundlagen und Anwendungen, Carl Hanser Verlag, **1991**.
- [3] Russ, J. C., *The Image Processing Hand Book*, Third Edition, CRC Press, **1999**.
- [4] Bayram, B., Sayısal görüntü işleme, www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm, Erişim tarihi: 5 Ağustos **2017**.
- [5] Teutsch, M., Beyerer, J., Noise Resistant Gradient Calculation and Edge Detection Using Local Binary Patterns, *Computer Vision-ACCV 2012 Workshops, Lecture Notes in Computer Science*, cilt 7728, Springer, Berlin-Heidelberg, Almanya, **2013**.
- [6] Sun, X., Sun, G., A New Noise-resistant Algorithm for Edge Detection, *Second International Workshop on Education Technology and Computer Science*, sf. 47-50, **2010**.
- [7] Wang, Y., Wang, J., Song, X., Han, L., An Efficient Adaptive Fuzzy Switching Weighted Mean Filter for Salt-And-Pepper Noise Removal, *IEEE Signal Processing Letters*, **2016**.
- [8] Abed S., Ali M. H., Alshayegi M., An Adaptive Edge Detection Operator for Noisy Images Based on a Total Variation Approach Restoration, *Computer Systems Science and Engineering*, cilt 32, sf. 21-33, **2017**.
- [9] Umbaugh, S. E., *Digital image processing and analysis: Human and computer vision applications with CVIPtools*, Second Edition, Boca Raton, CRC Press, **2010**.
- [10] Barrow, H. G., Tenenbaum, J. M., Interpreting line drawings as three-dimensional surfaces, *Artificial Intelligence*, cilt 12, sayı 1-3, sf. 75-116, **1981**.
- [11] Lindeberg, T., Edge detection, *Encyclopedia of Mathematics*, Springer Science & Business Media B. V. / Kluwer Academic Publishers, **2001**.
- [12] Önder, M., *Uydu Görüntülerinden Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemine Temel Oluşturacak Nitelikte Topografik Harita Üretimine Yönelik Analiz ve Öneriler*, YTÜ FBE, Doktora Tezi, **1997**.

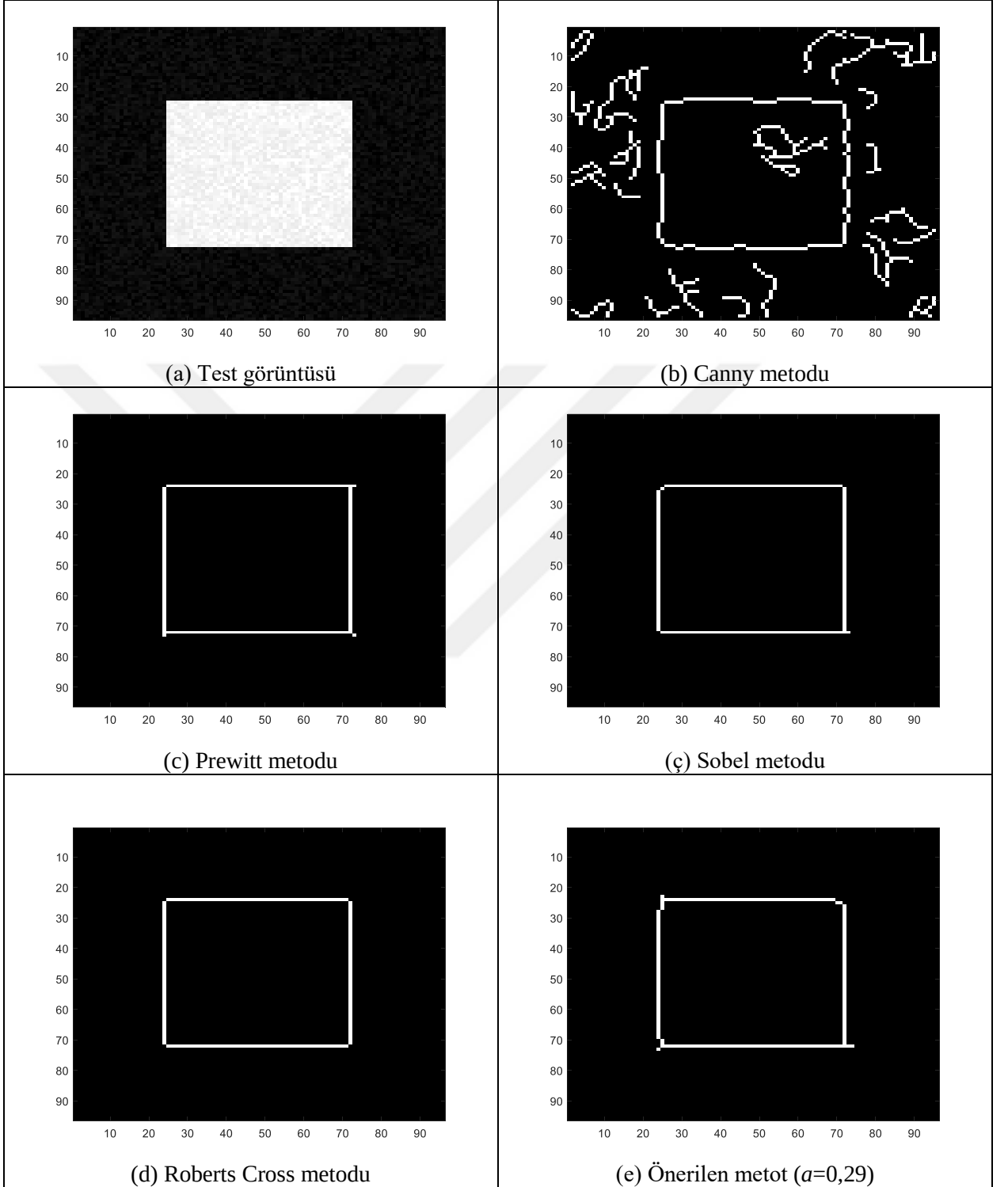
- [13] Olsen, S. I., Estimation of Noise in Images: An Evaluation, *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, cilt 55, sayı 4, sf. 319-323, **1993**.
- [14] Shin, D. H., Park, R. H., Yang, S., Jung, J. H., Block-based noise estimation using adaptive gaussian filtering, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, cilt 51, sf. 218-226, **2005**.
- [15] Huang, T., Yang, G., Tang, G., A fast two-dimensional median filtering algorithm, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing*, cilt 27, sayı 1, sf. 13-18, **1979**.
- [16] Arias-Castro, E., Donoho, D. L., Does median filtering truly preserve edges better than linear filtering?, *Annals of Statistics*, cilt 37, sayı 3, sf. 1172, **2009**.
- [17] Arce, G. R., *Nonlinear Signal Processing: A Statistical Approach*, Wiley, New Jersey, ABD, **2005**.
- [18] Hall, M., Smooth operator: Smoothing seismic horizons and attributes, *The Leading Edge*, cilt 26, sayı 1, sf. 16-20, **2007**.
- [19] Canny, J., *A Computational Approach To Edge Detection*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, cilt 8, sayı 6, sf. 679-698, **1986**.
- [20] Davis, L.S., A survey of edge detection techniques, *Computer Graphics and Image Processing*, cilt 4, sayı 3, sf. 248-260, **1975**.
- [21] Otsu, N., A threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics*, cilt 9, sayı 1, sf. 62-66, **1979**.
- [22] Vala, H. J., Baxi, A., A Review on Otsu Image Segmentation Algorithm, *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, cilt 2, sayı 2, **2013**.
- [23] Qu, Z., Hang, L., Research on Image Segmentation Based on the Improved Otsu Algorithm, *Second International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, cilt 2, sf. 228-231, **2010**.
- [24] Jianzhuang, L., Wenqing, L., Yupeng, T., Automatic Thresholding of Gray-Level Pictures Using Two-Dimensional Otsu Method, *International Conference on Circuits and Systems*, 16-17 Haziran, Shenzhen, Çin, **1991**.

- [25] Fang, M., Yue, G., Yu, Q., The Study on An Application of Otsu Method in Canny Operator, *International Symposium on Information Processing*, 21-23 Ağustos, Huangshan, Çin, sf. 109-112, **2009**.
- [26] Liu, D., Yu, Jian., Otsu Method and K-means, *9th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 12-14 Ağustos, Shenyang, Çin, cilt 1, sf. 344-349, **2009**.
- [27] Xiang-ke, W., Zhi-qiang, Z., An Application of Multi-Thresholding Otsu Algorithm on Chromatic Image, *Computer Application*, cilt 26, sf. 14-15, **2006**.
- [28] Ling, L., Image division method research and realization, *Journal of Suzhou College*, cilt 21, sayı 4, sf. 85-88, **2006**.
- [29] Qiang, W., Research on Choice of Threshold Value and Realization of Algorithm in Cutting Apart Picture, *Computer and Modernization*, cilt 10, sf. 54-56, **2006**.
- [30] Guo, Z., Hall, R., Parallel thinning with twosubiteration algorithms, *Communications of the ACM*, cilt 32, sf. 359-373, **1989**.
- [31] Gupta, R., Kaur, R., Skeletonization algorithm for numerical patterns, *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, cilt 1, sf. 63-72, **2008**.
- [32] Zhang, T., Suen, C., A fast parallel algorithm for thinning digital patterns, *Communications of the ACM*, cilt 27, sf. 236-239, **1984**.
- [33] Kocharyan, D., A modified fingerprint image thinning algorithm, *American Journal of Software Engineering and Applications*, 20 Şubat, cilt 2, sayı 1, sf. 1-6, **2013**.
- [34] Scharr, H., *Optimal operators in digital image processing*, Ph. D. thesis, Interdisciplinary Center for Scientific Computing, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg, Almanya, **2000**.
- [35] Olsen, I., Estimation of Noise in Images: An Evaluation, *Computer Vision Graphics and Image Processing*, cilt 55, sf. 319-323, **1993**.
- [36] Liu, X., Tanaka, M., Okutomi, M., Noise level estimation using weak textured patches of a single noisy image, *International Conference on Image Processing*, 30 Eylül - 3 Ekim, Orlando, FL, ABD, sf. 665-668, **2012**.

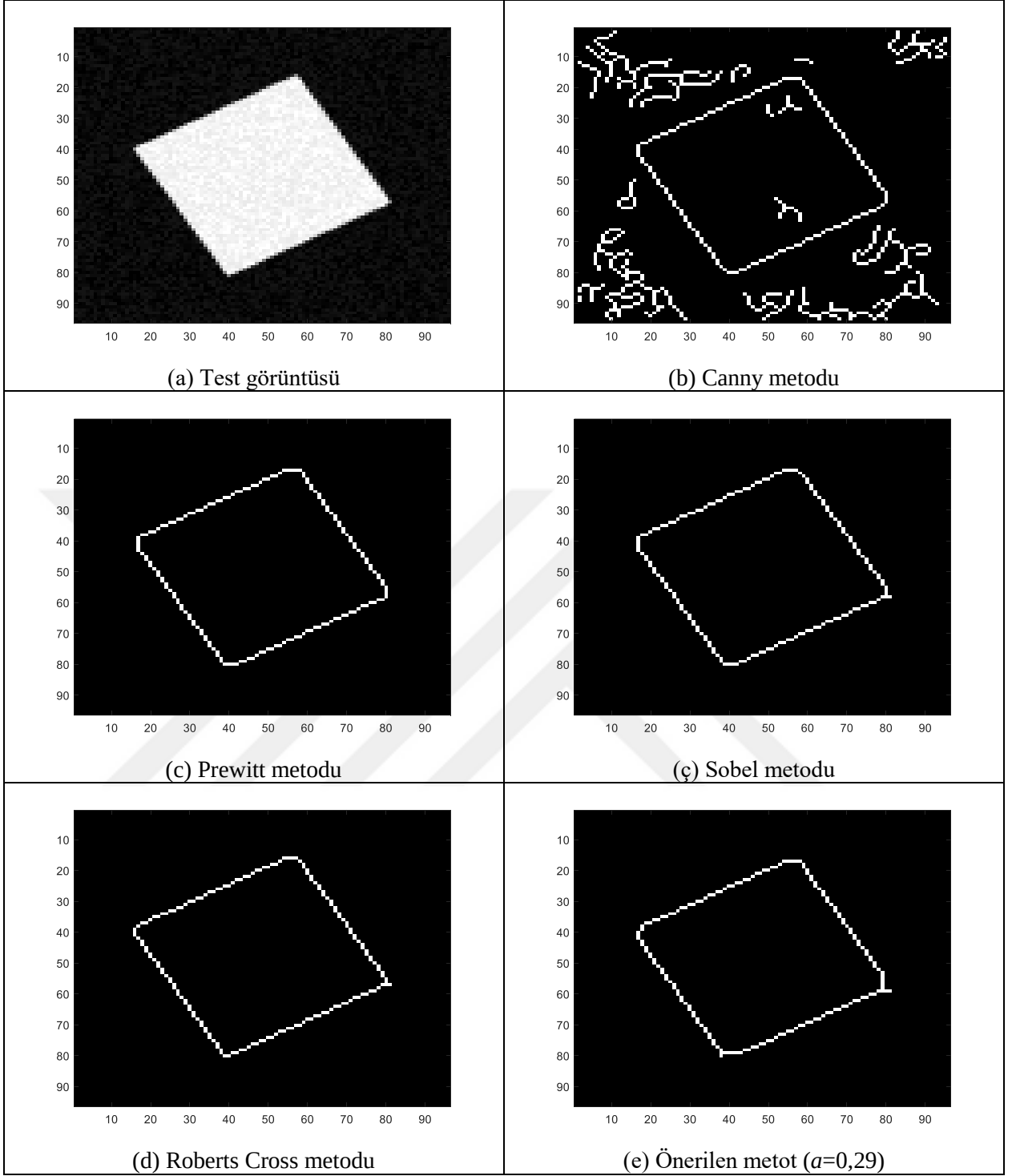
- [37] Tai, S. C., Yang, S. M., A fast method for image noise estimation using Laplacian operator and adaptive edge detection, *3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*, 12 – 14 Mart, St Julians, Malta, sf. 1077-1081, **2008**.
- [38] The MathWorks Inc., <https://www.mathworks.com/help/images/ref/edge.html>, Erişim tarihi: 13 Haziran **2018**.



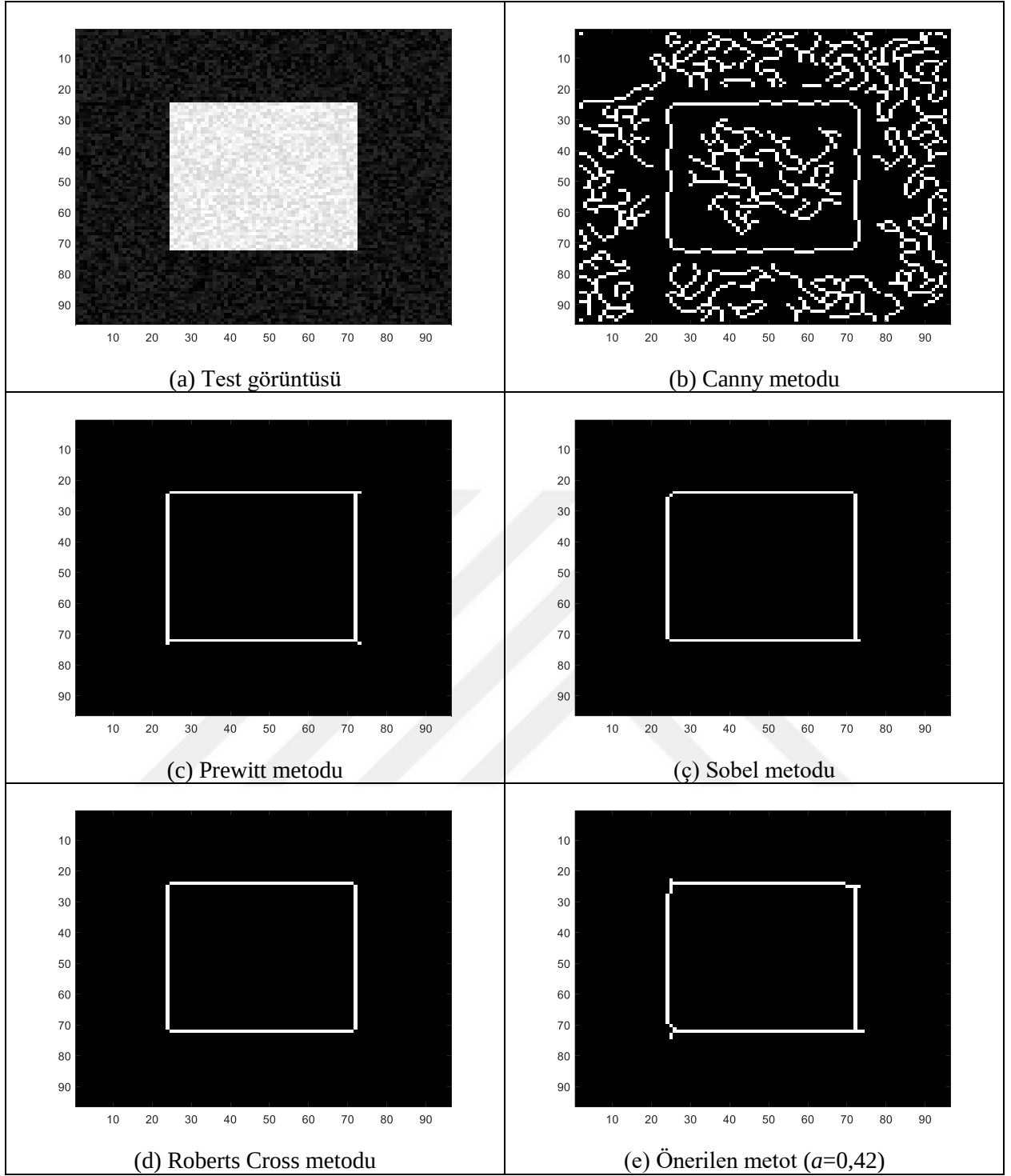
EK: GÜRÜLTÜ SEVİYELERİNE GÖRE KENAR TESPİT METOTLARININ KARŞILAŞTIRILMASI



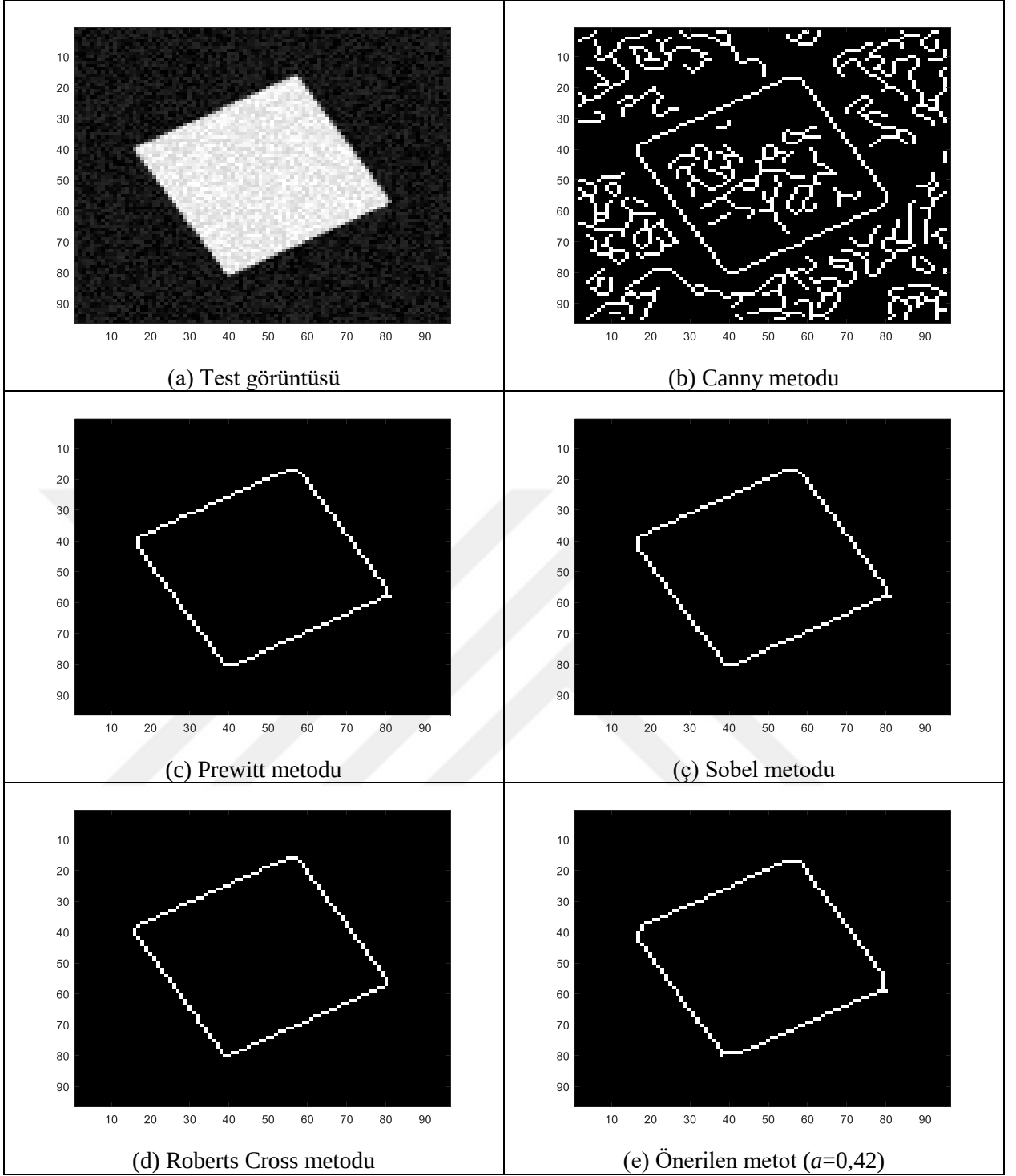
Şekil 1 30,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



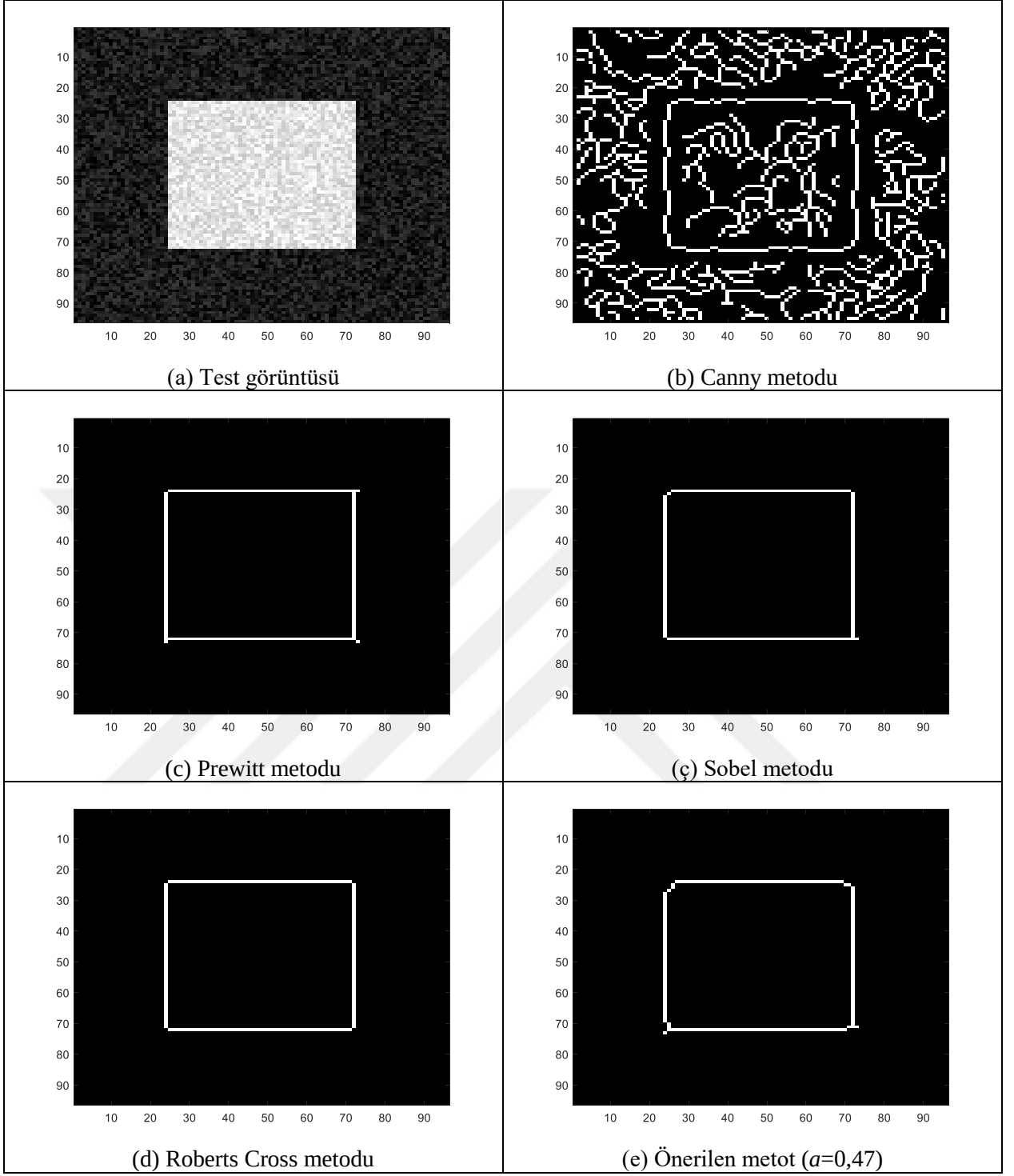
Şekil 2 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 30,79 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



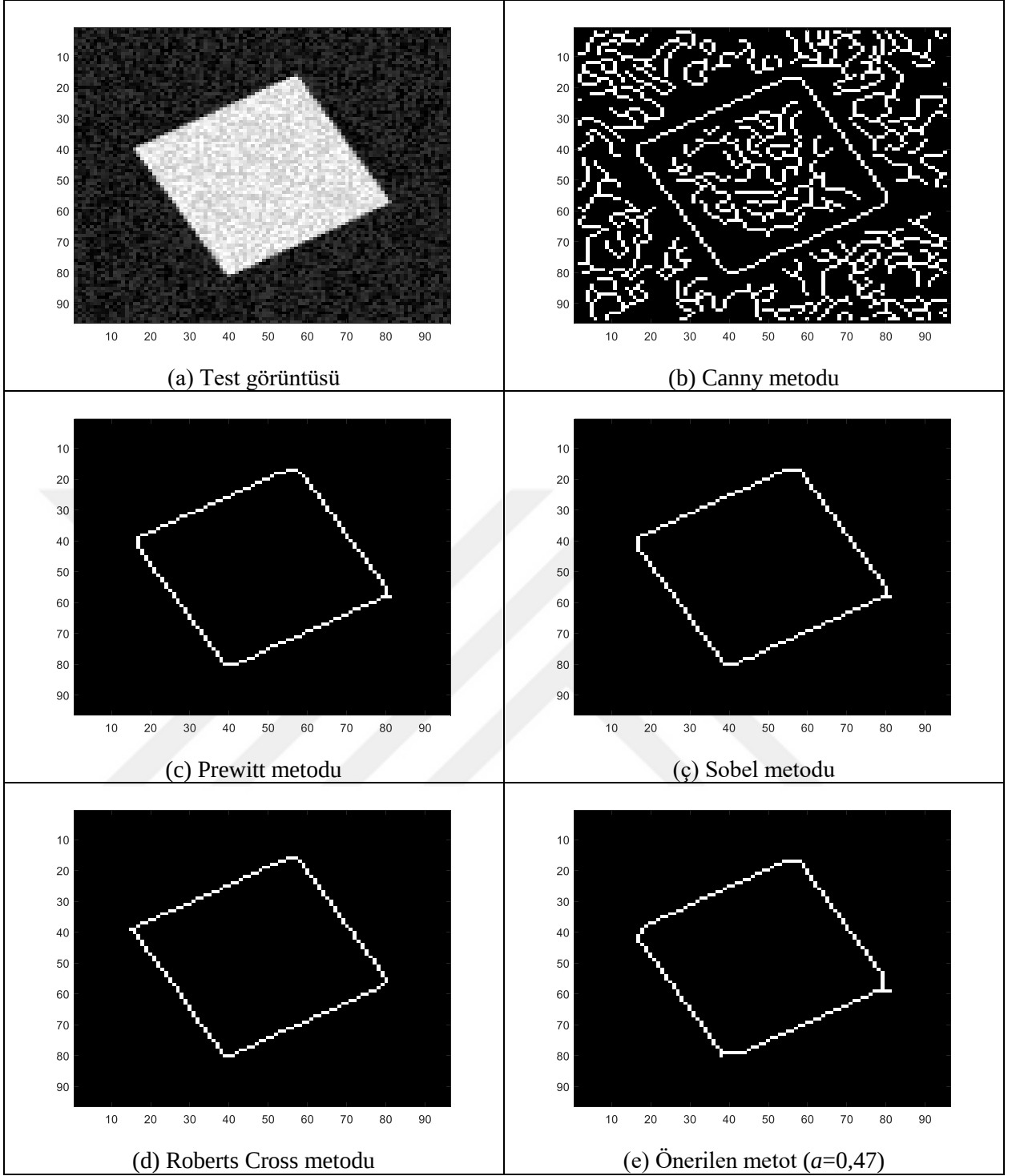
Şekil 3 24,27 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



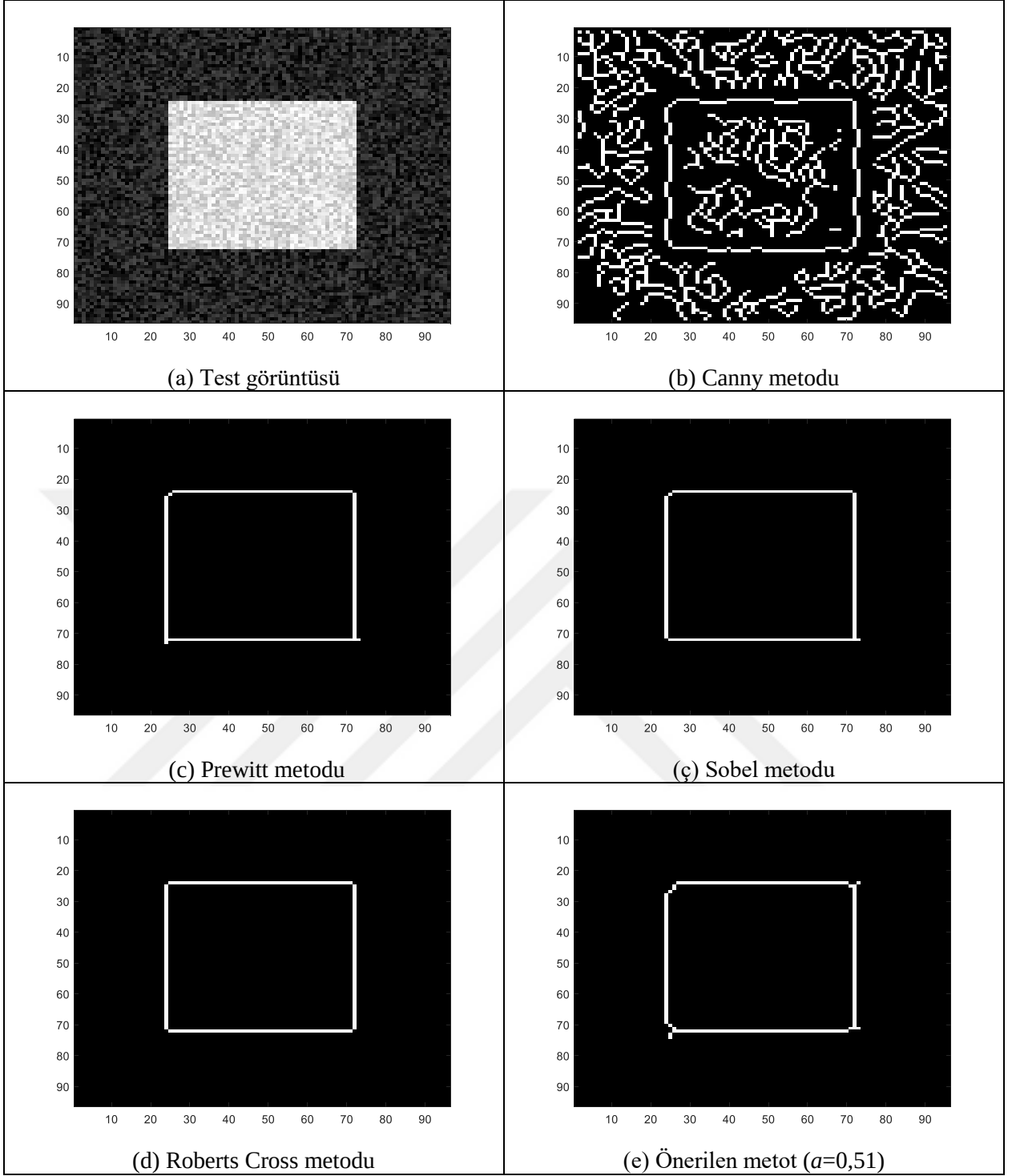
Şekil 4 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 24,27 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



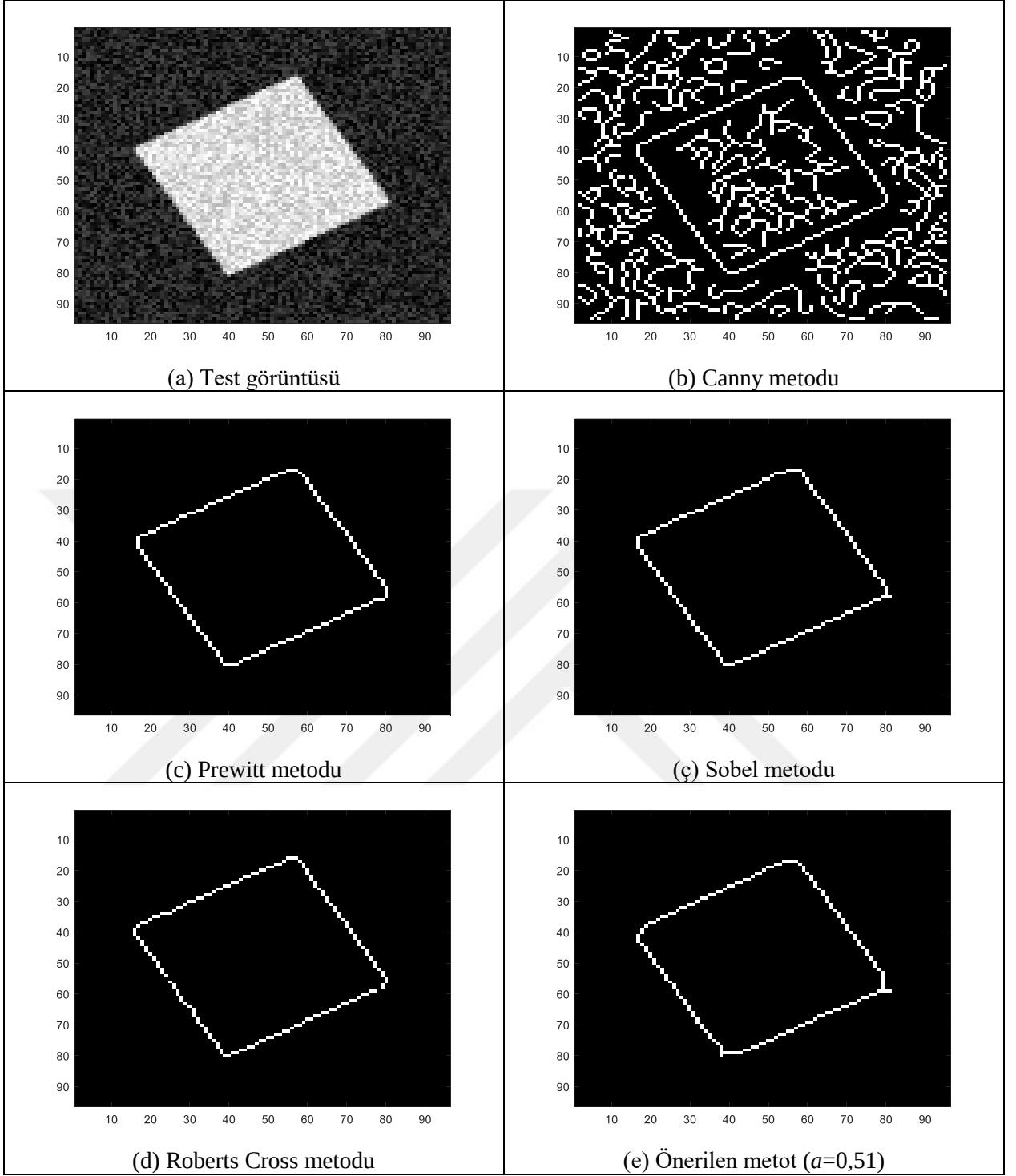
Şekil 5 21,25 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



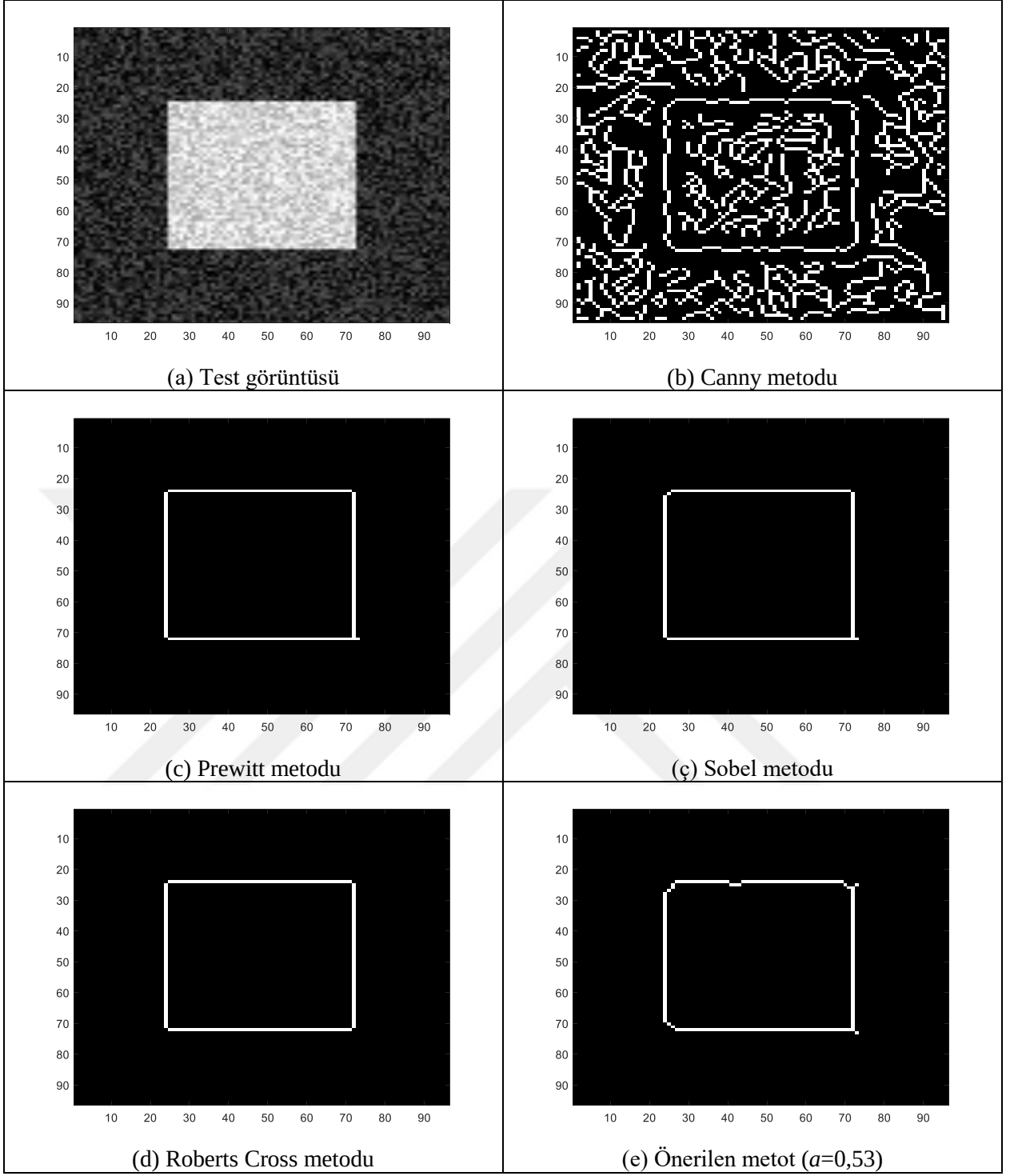
Şekil 6 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 21,25 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



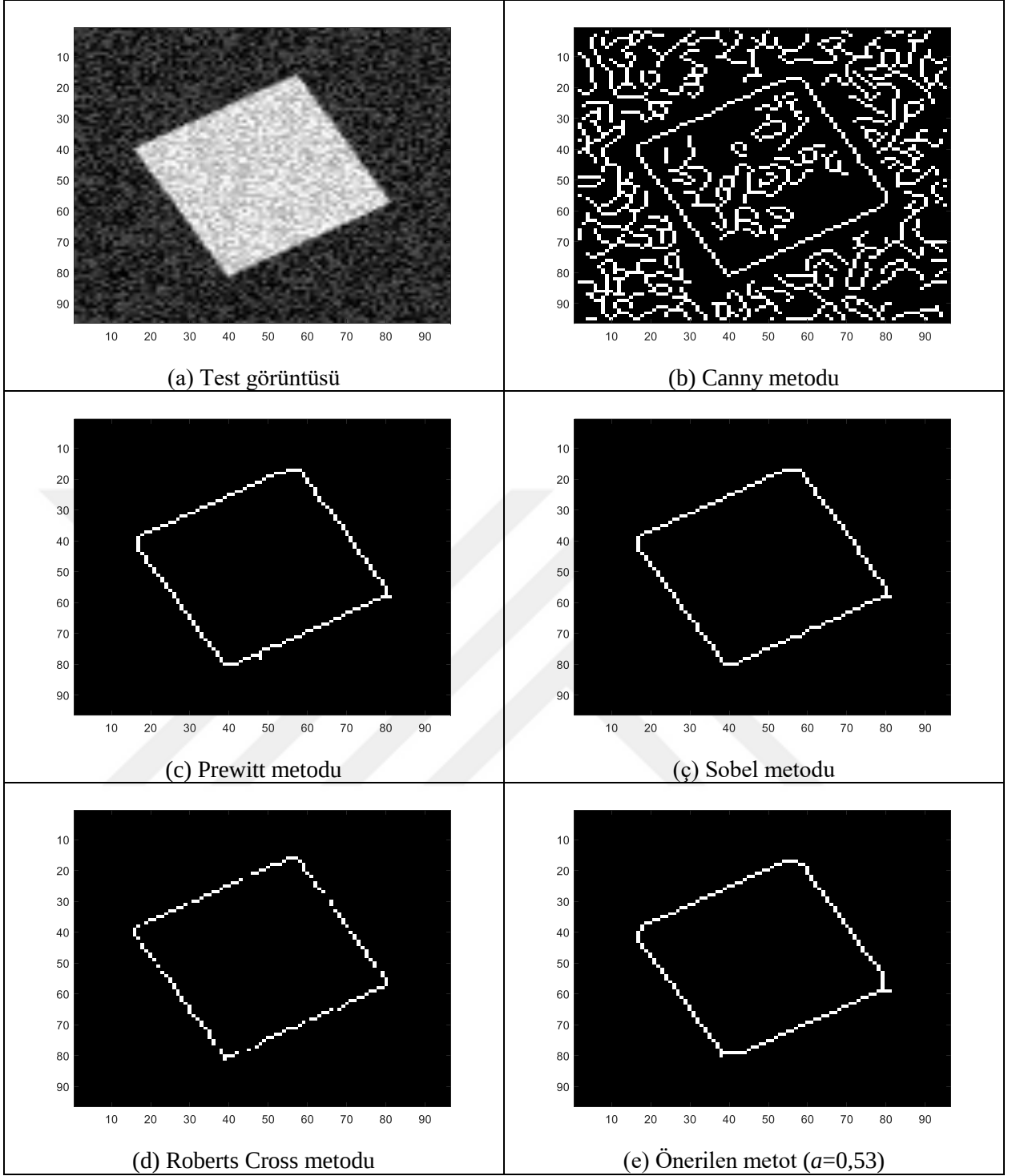
Şekil 7 18,75 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



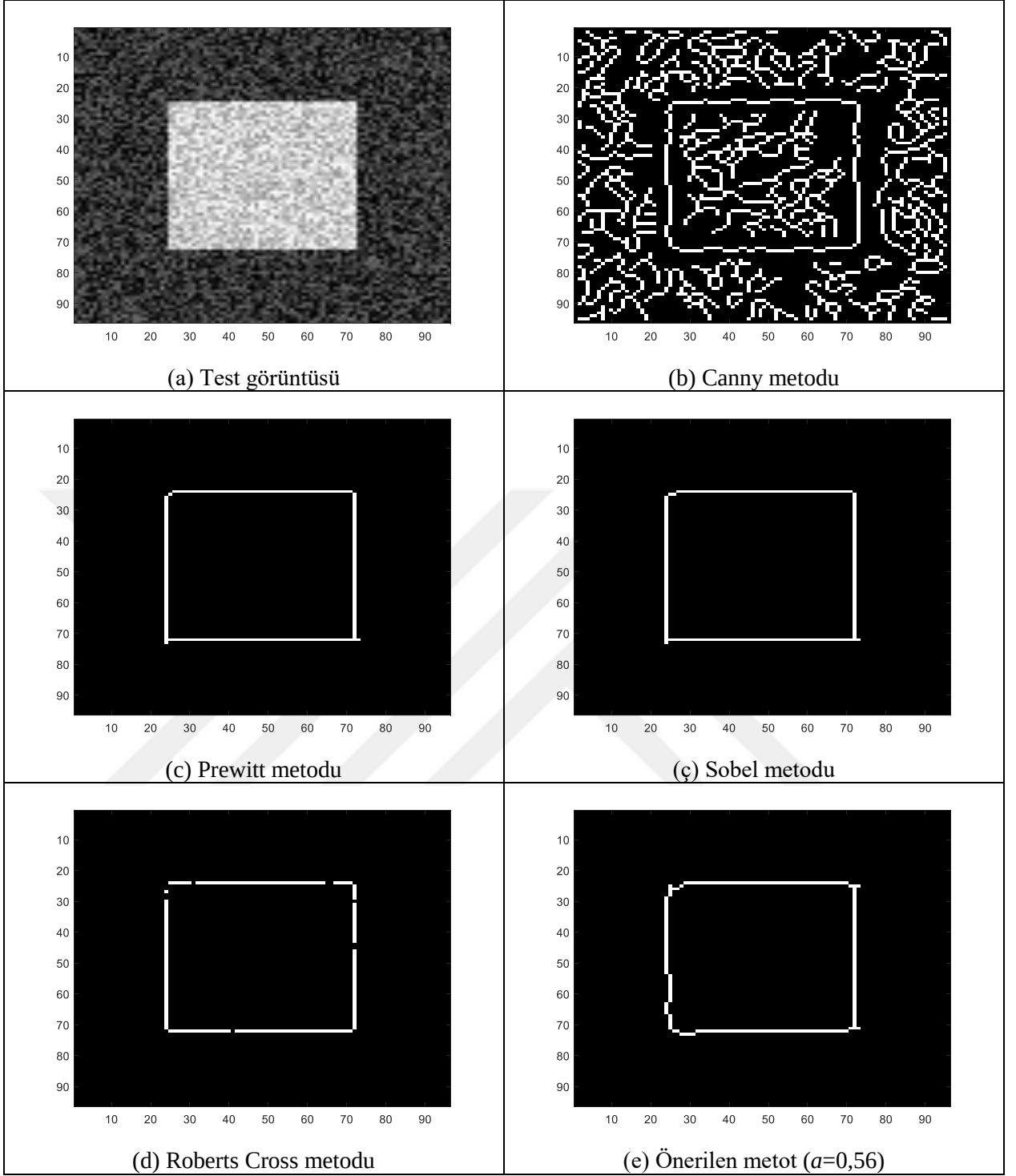
Şekil 8 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 18,75 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



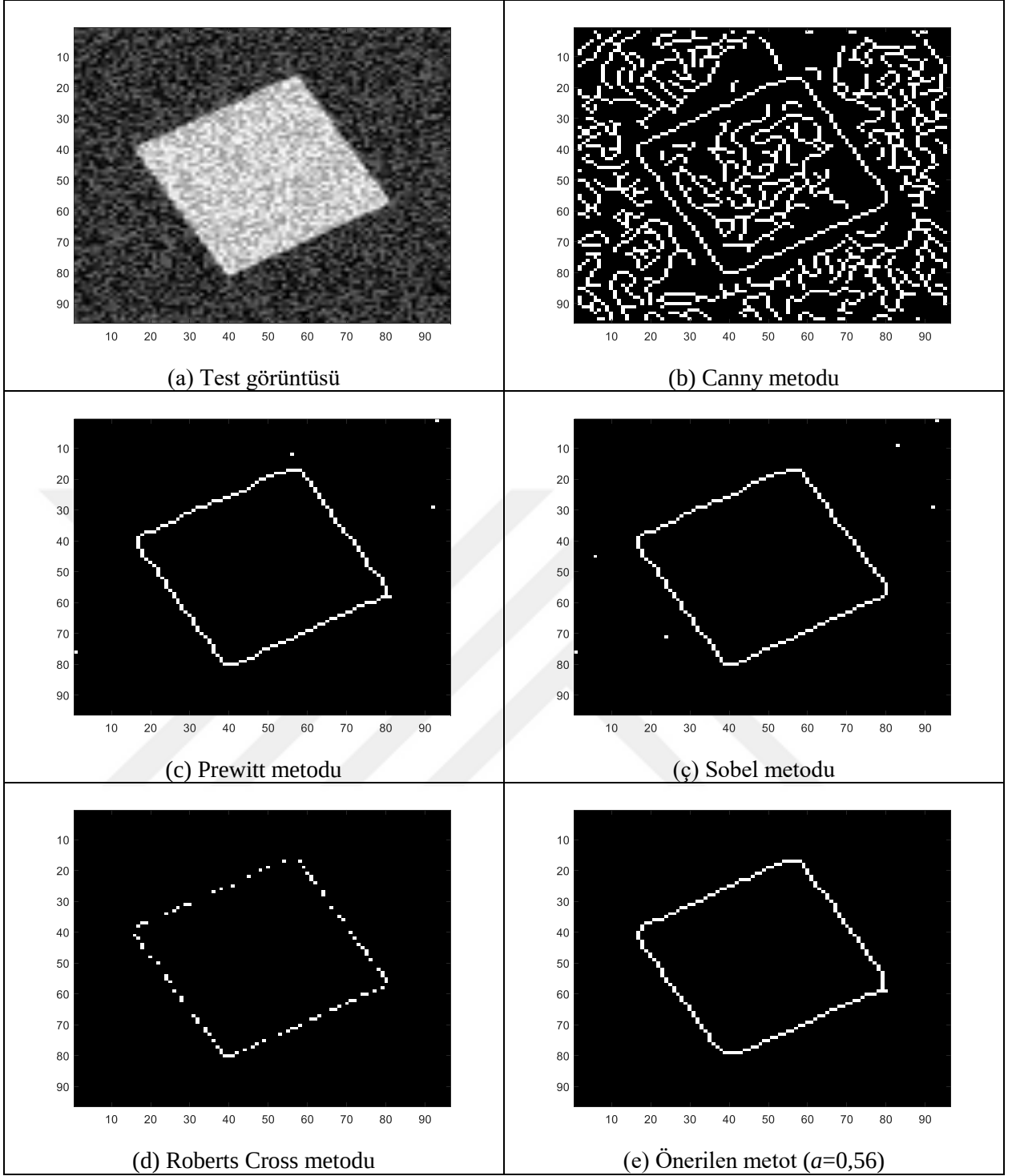
Şekil 9 16,81 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



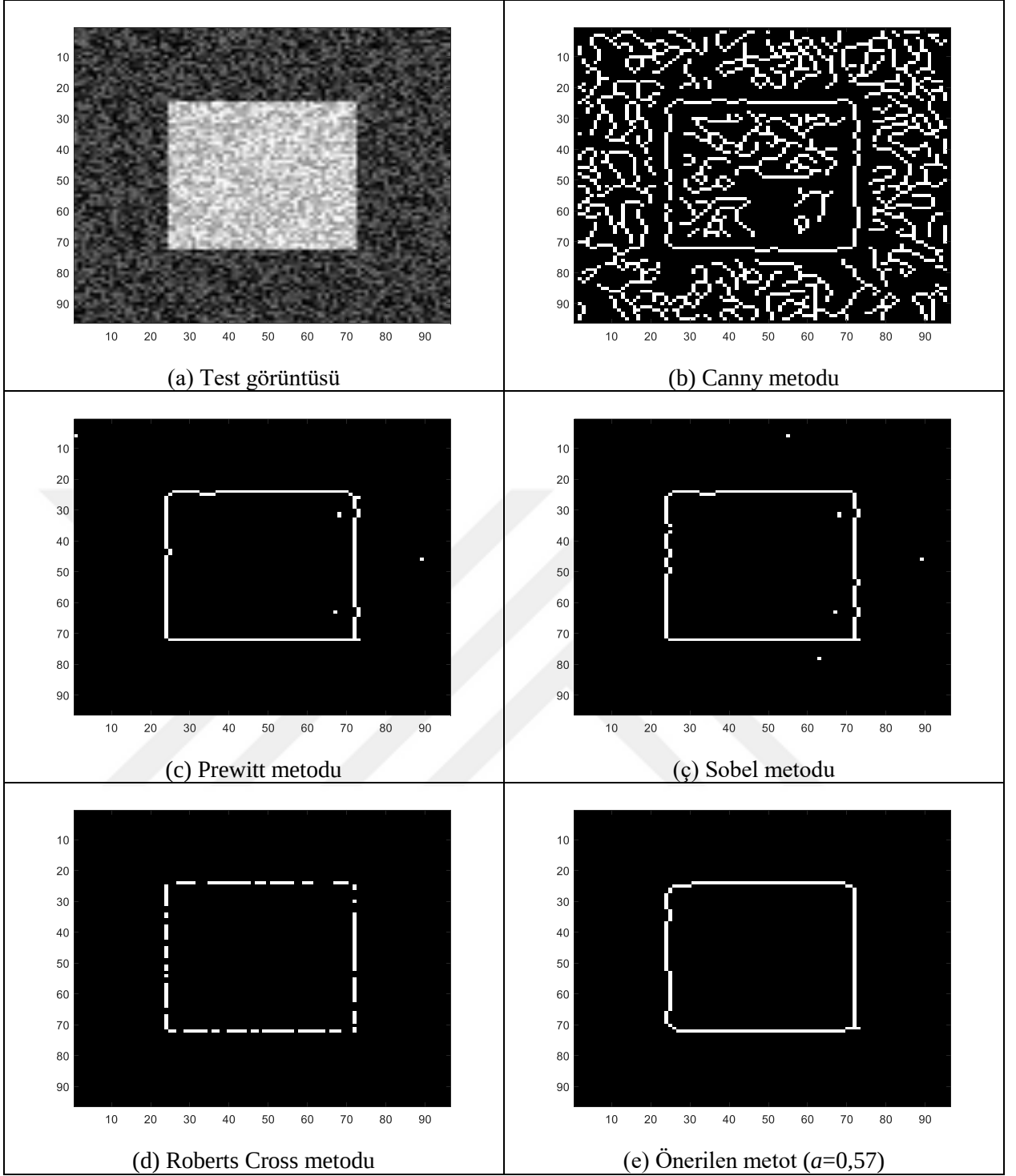
Şekil 10 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 16,81 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



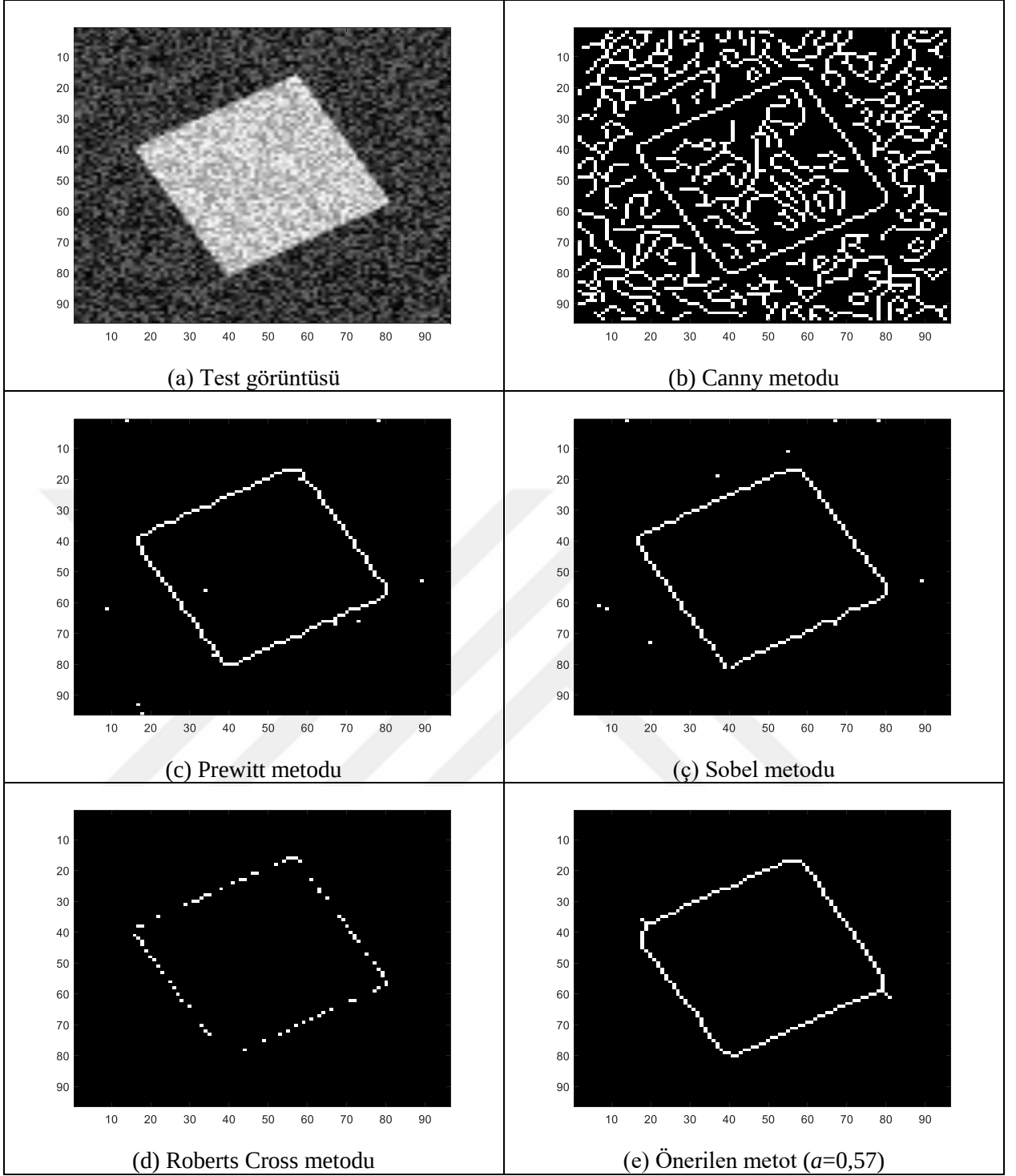
Şekil 11 13.89 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



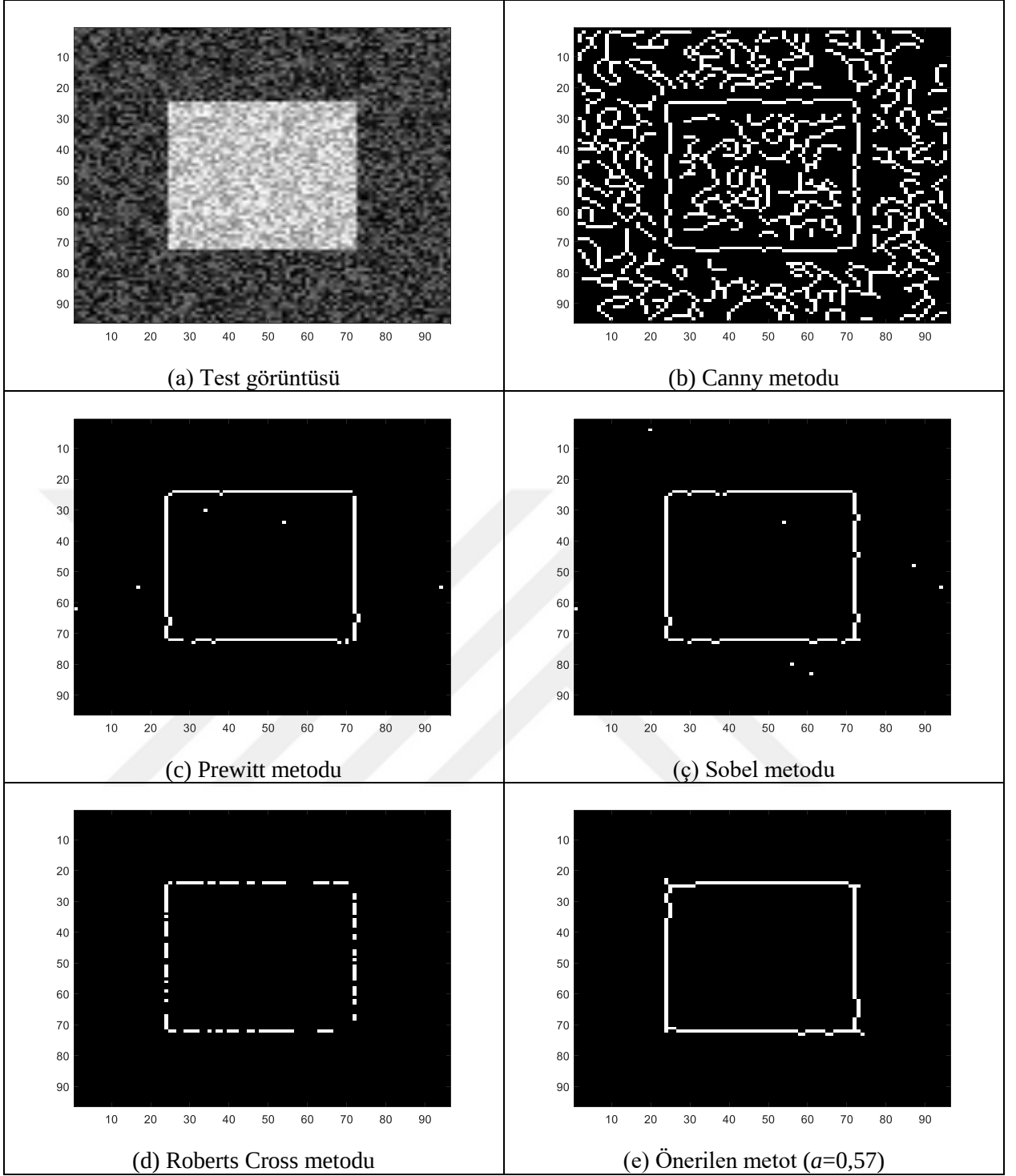
Şekil 12 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 13.89 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



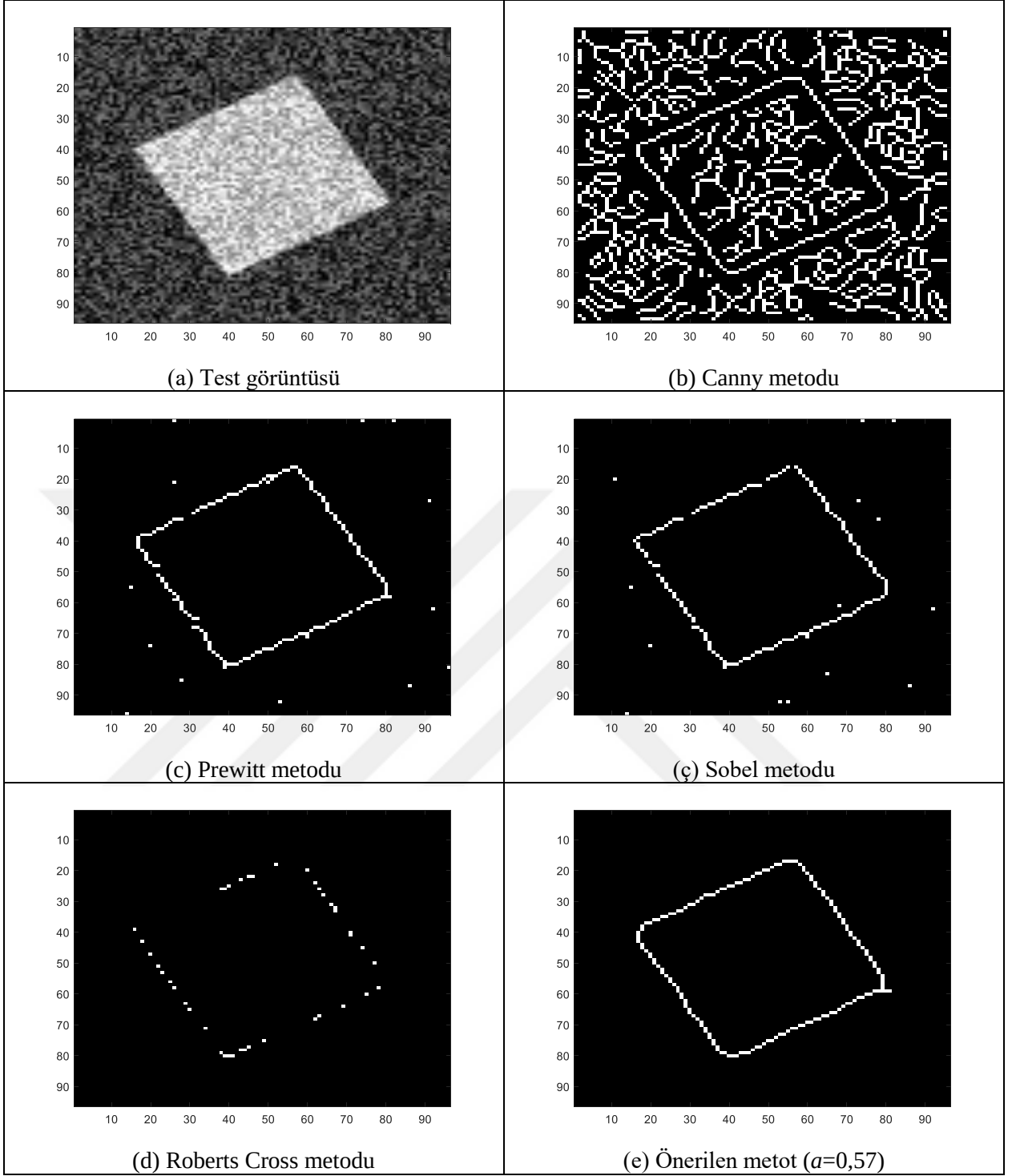
Şekil 13 12,73 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



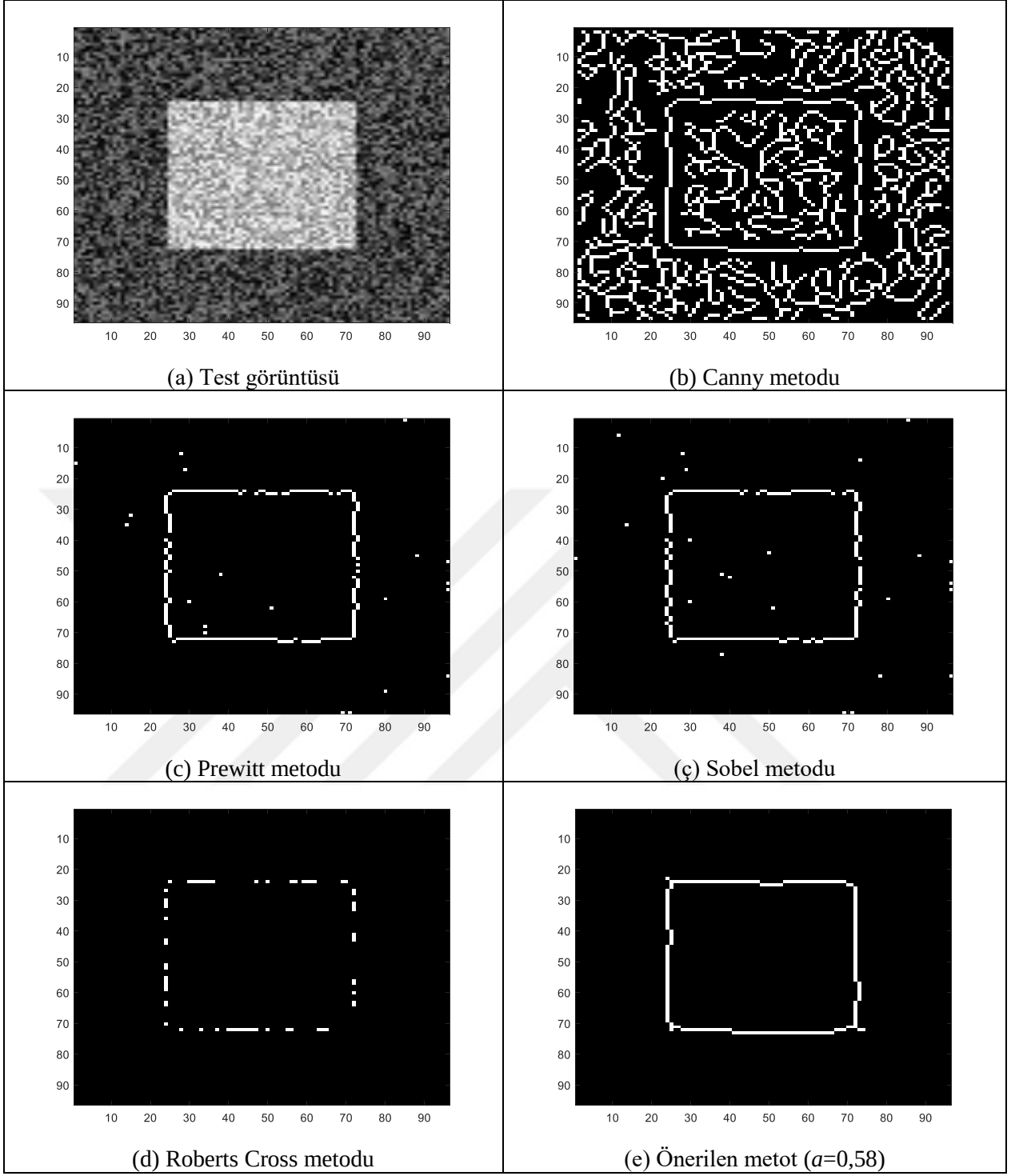
Şekil 14 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 12,73 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



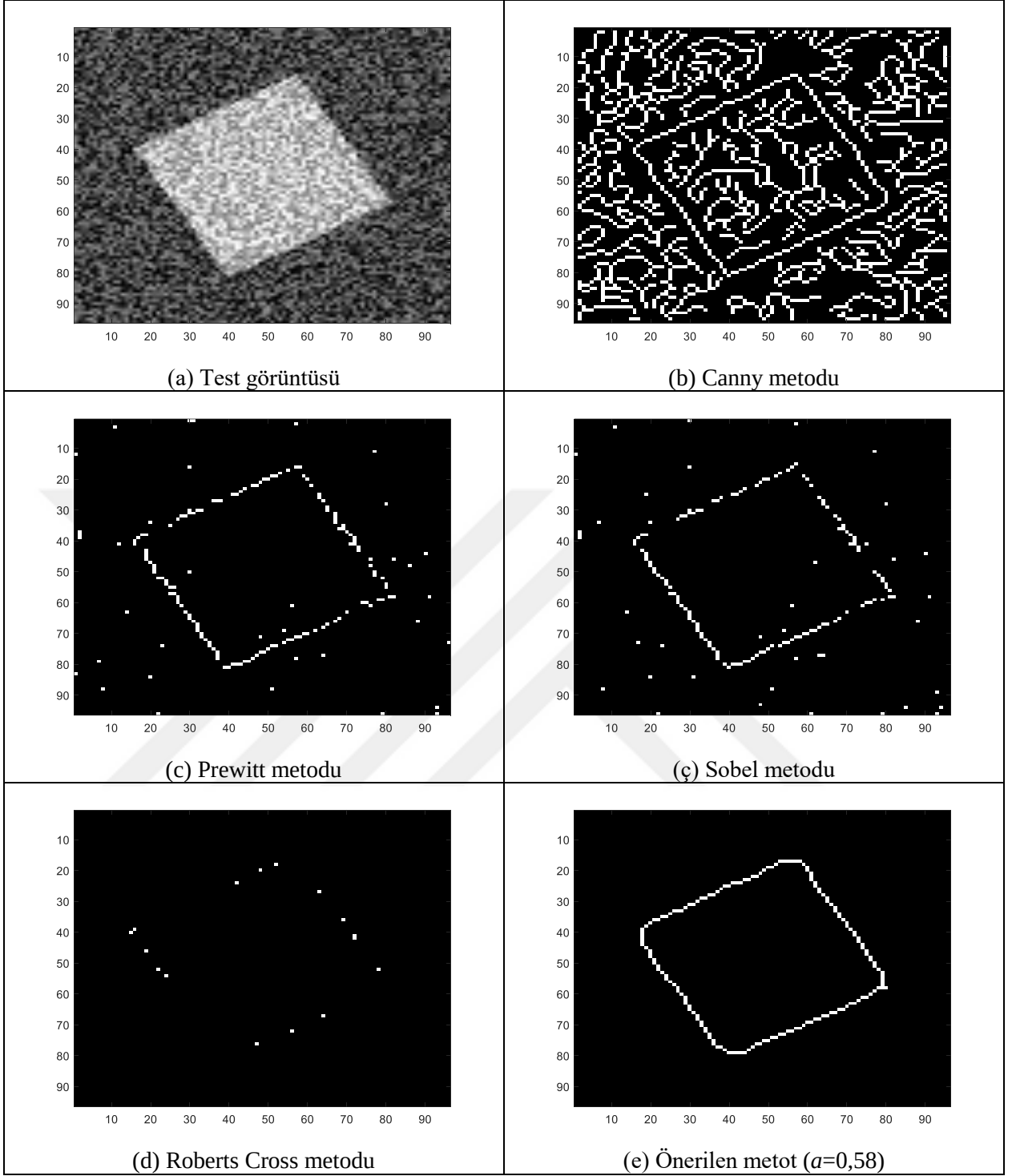
Şekil 15 11,71 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



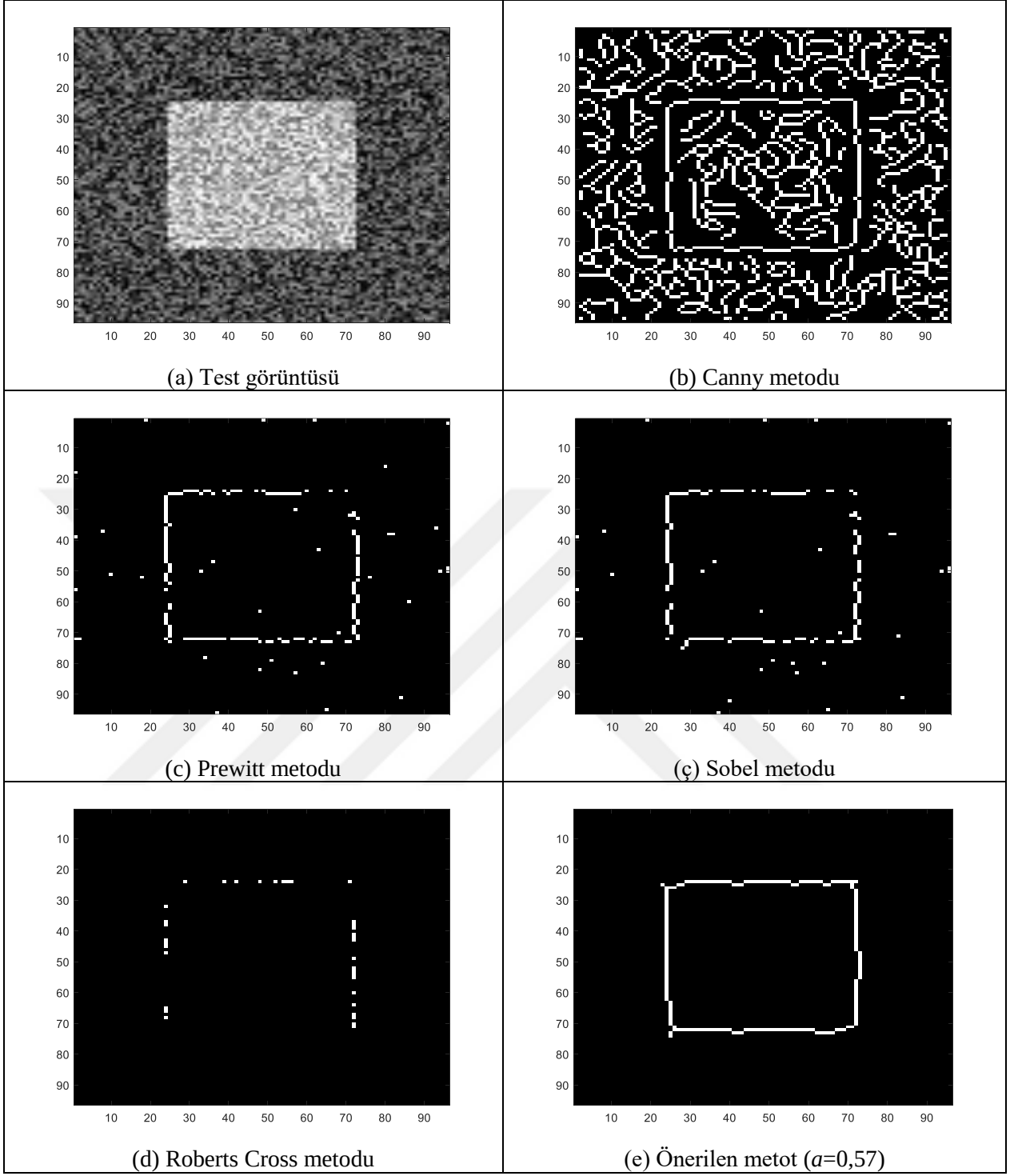
Şekil 16 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 11,71 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



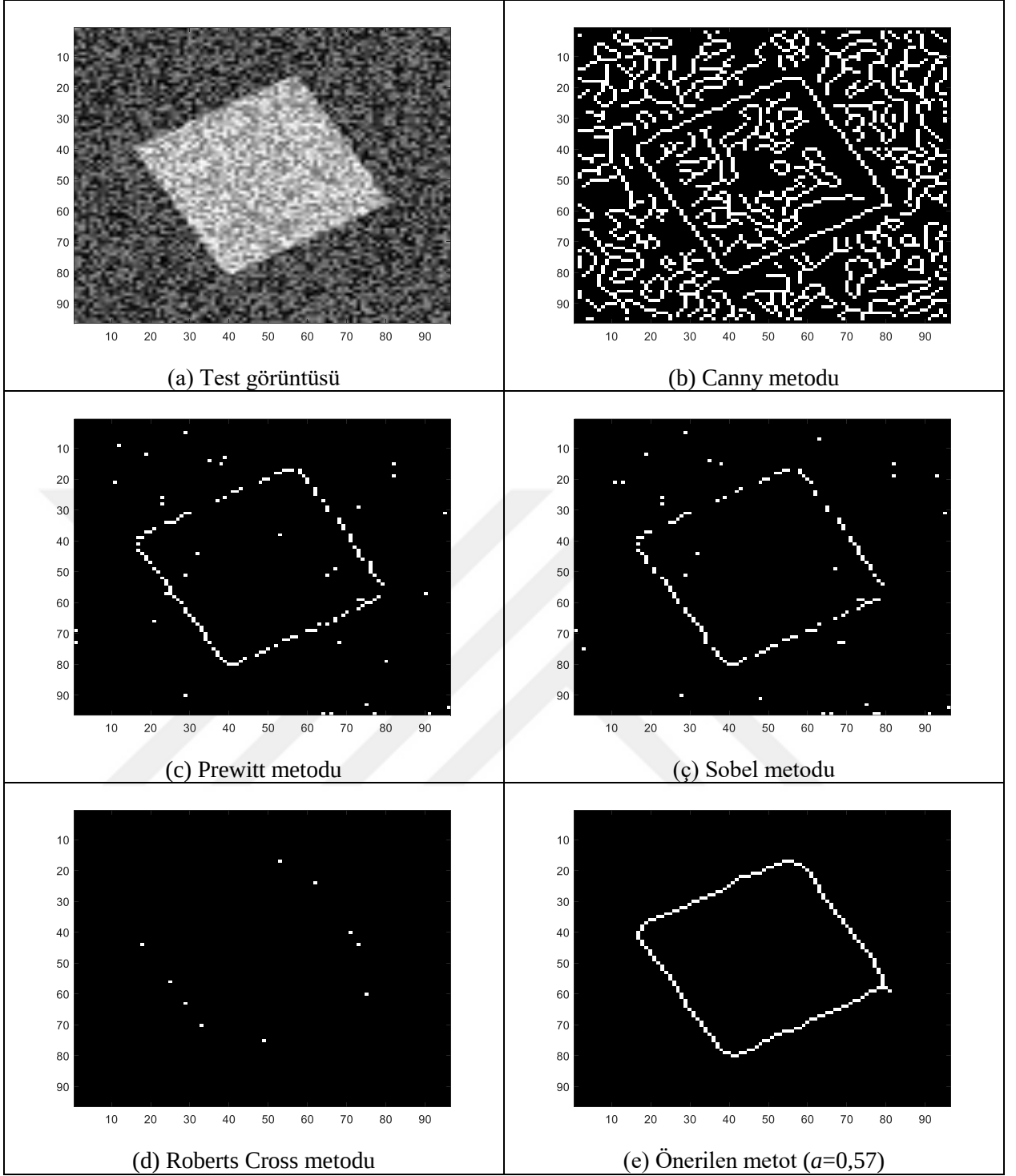
Şekil 17 9,21 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



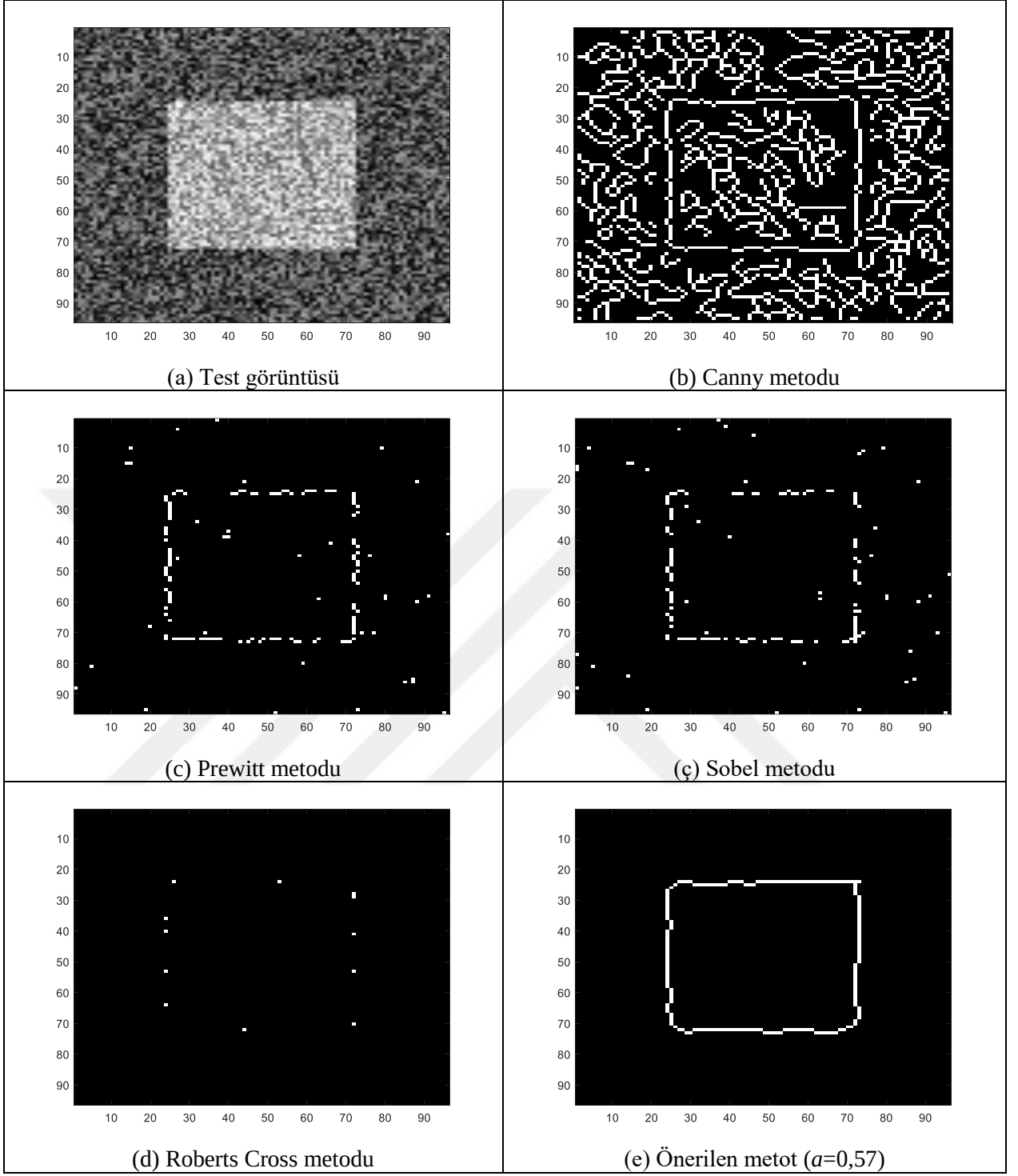
Şekil 18 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 9,21 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



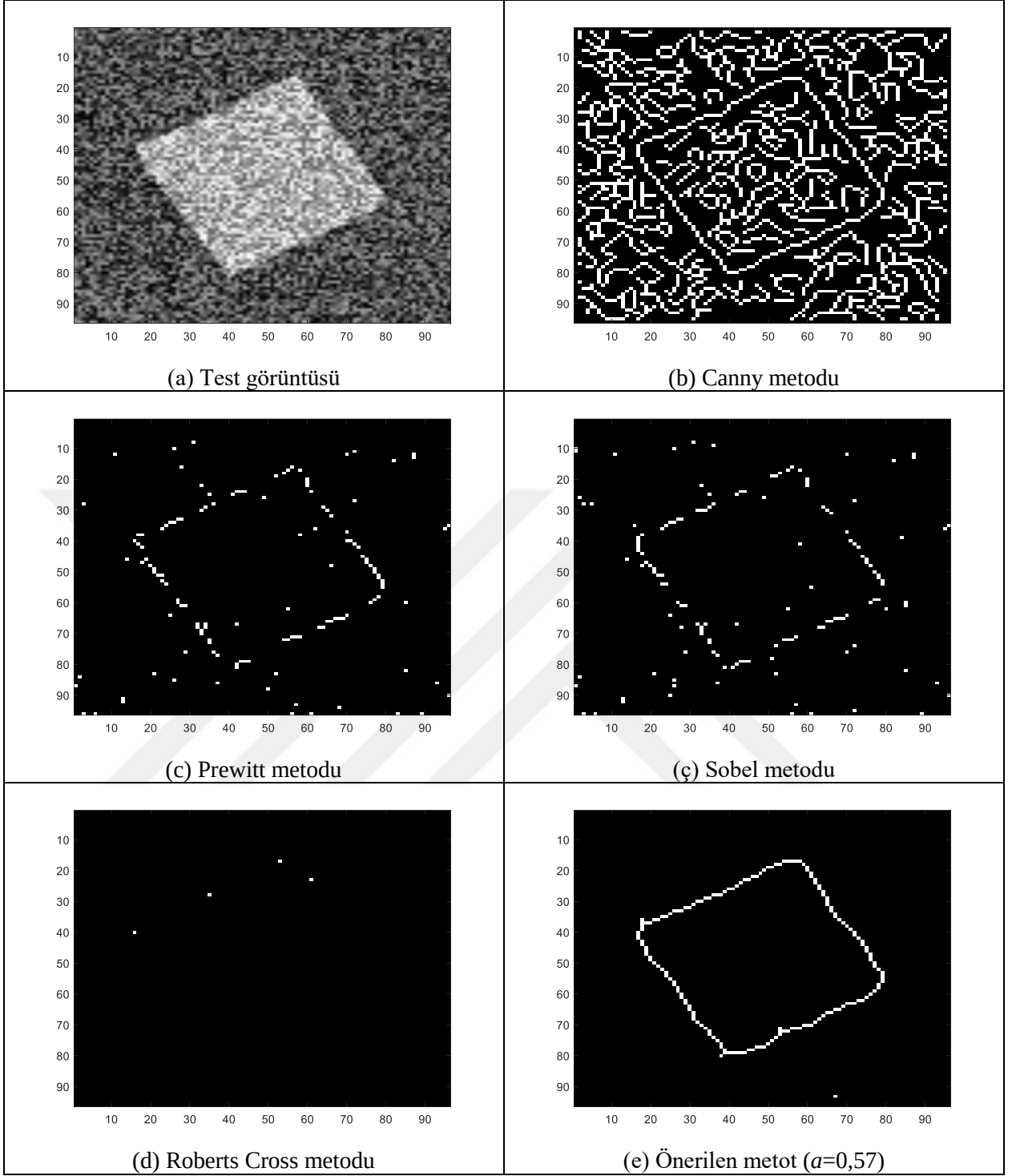
Şekil 19 7,87 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



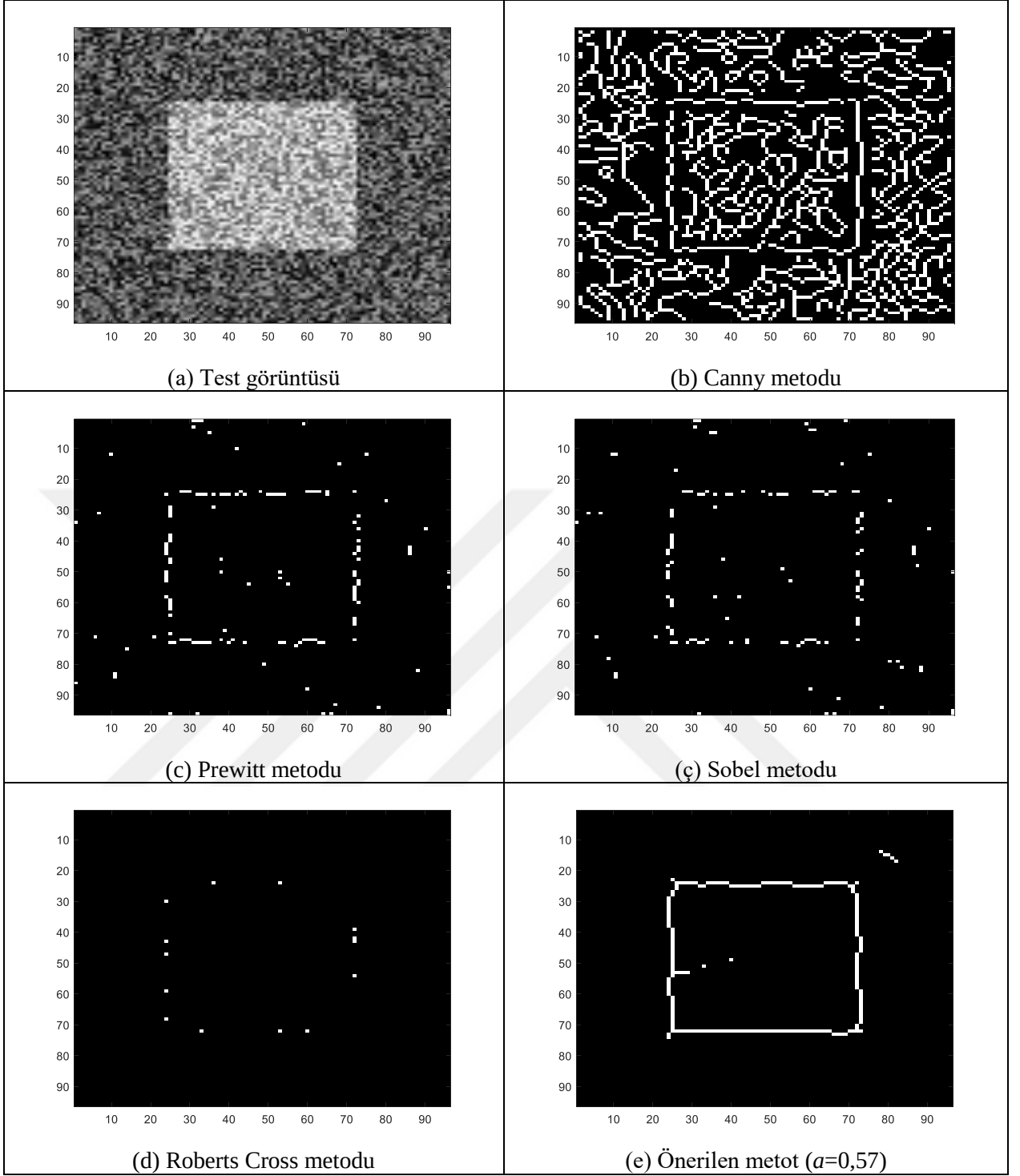
Şekil 20 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 7,87 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



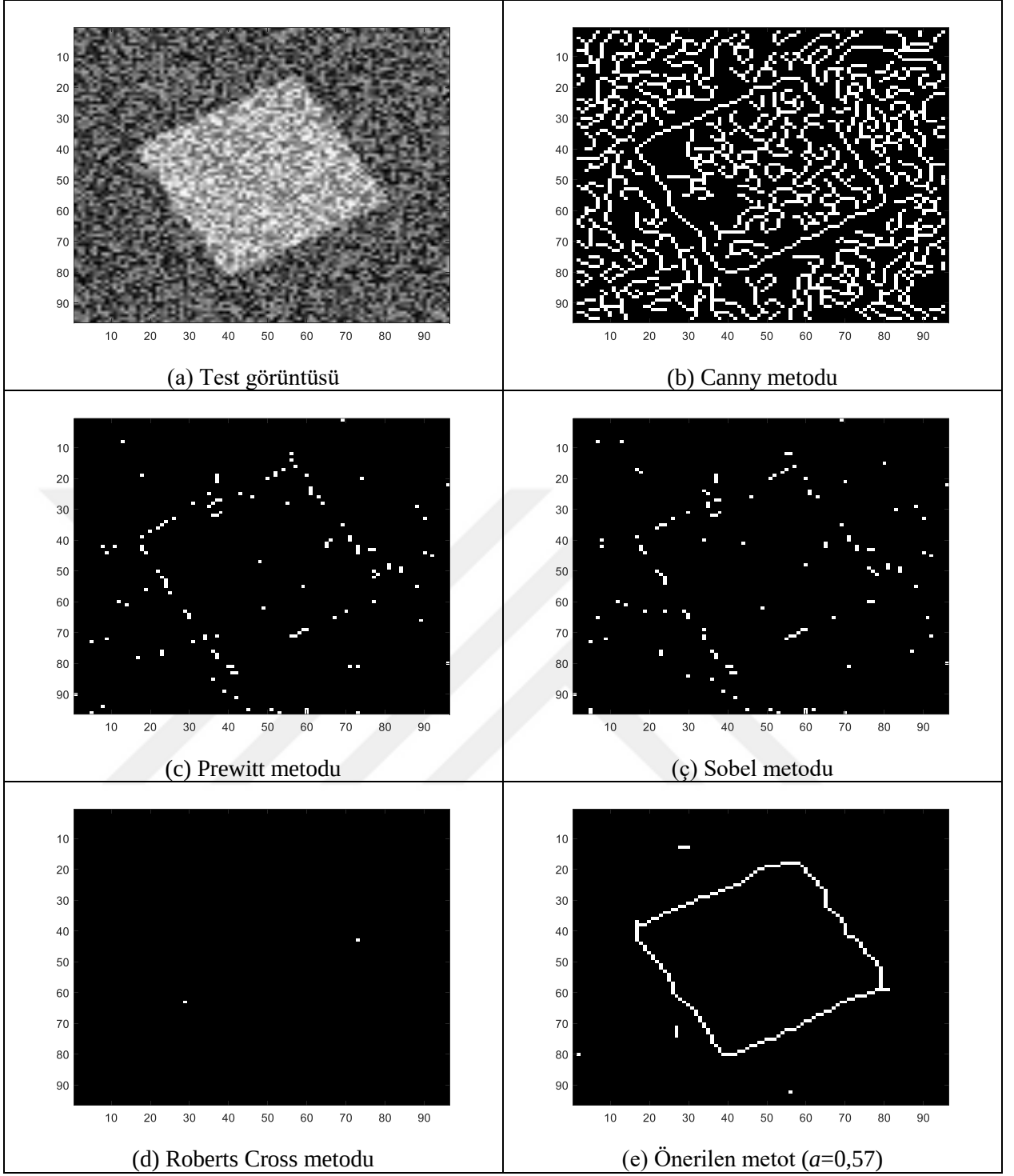
Şekil 21 5,69 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



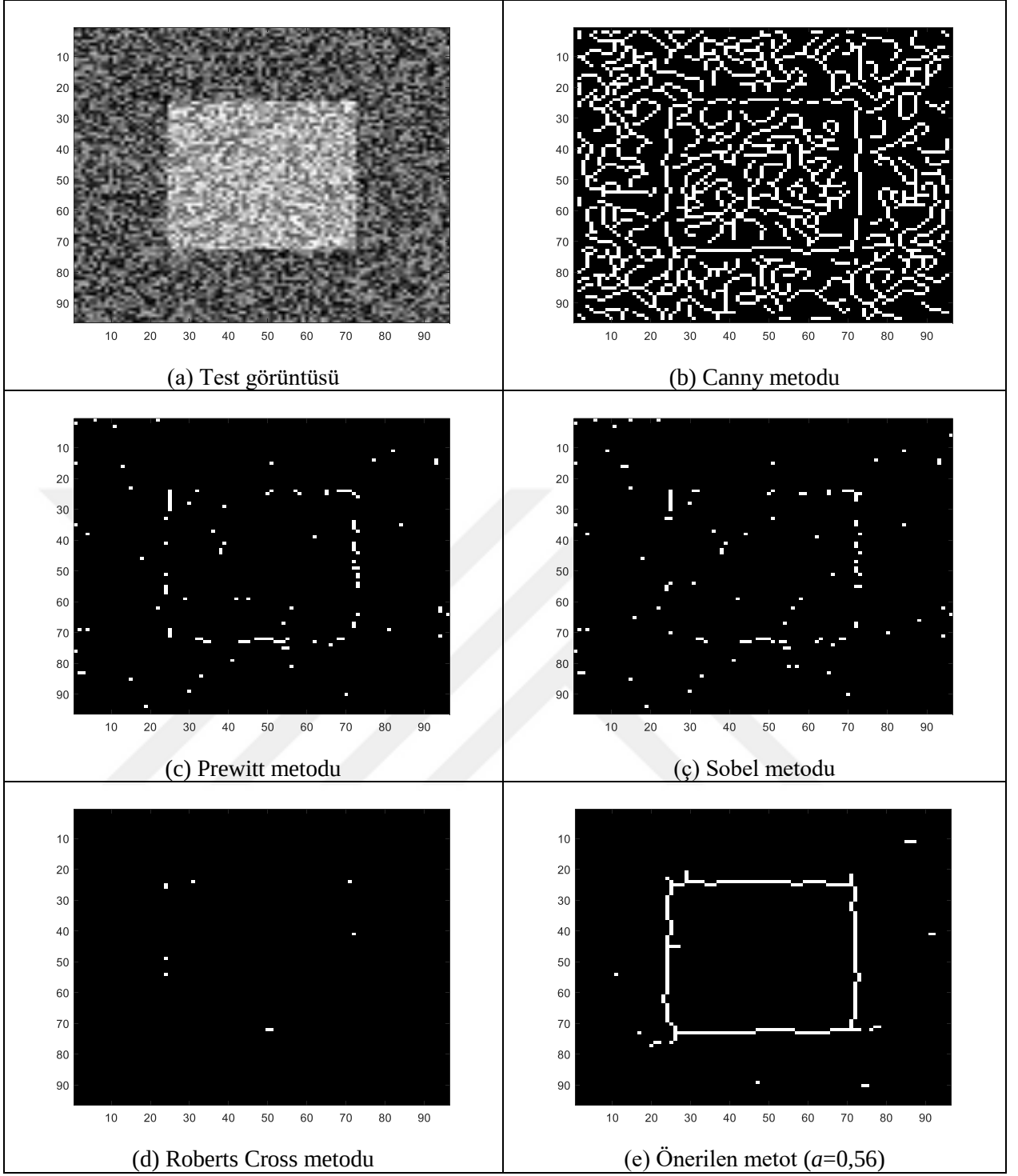
Şekil 22 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 5,69 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



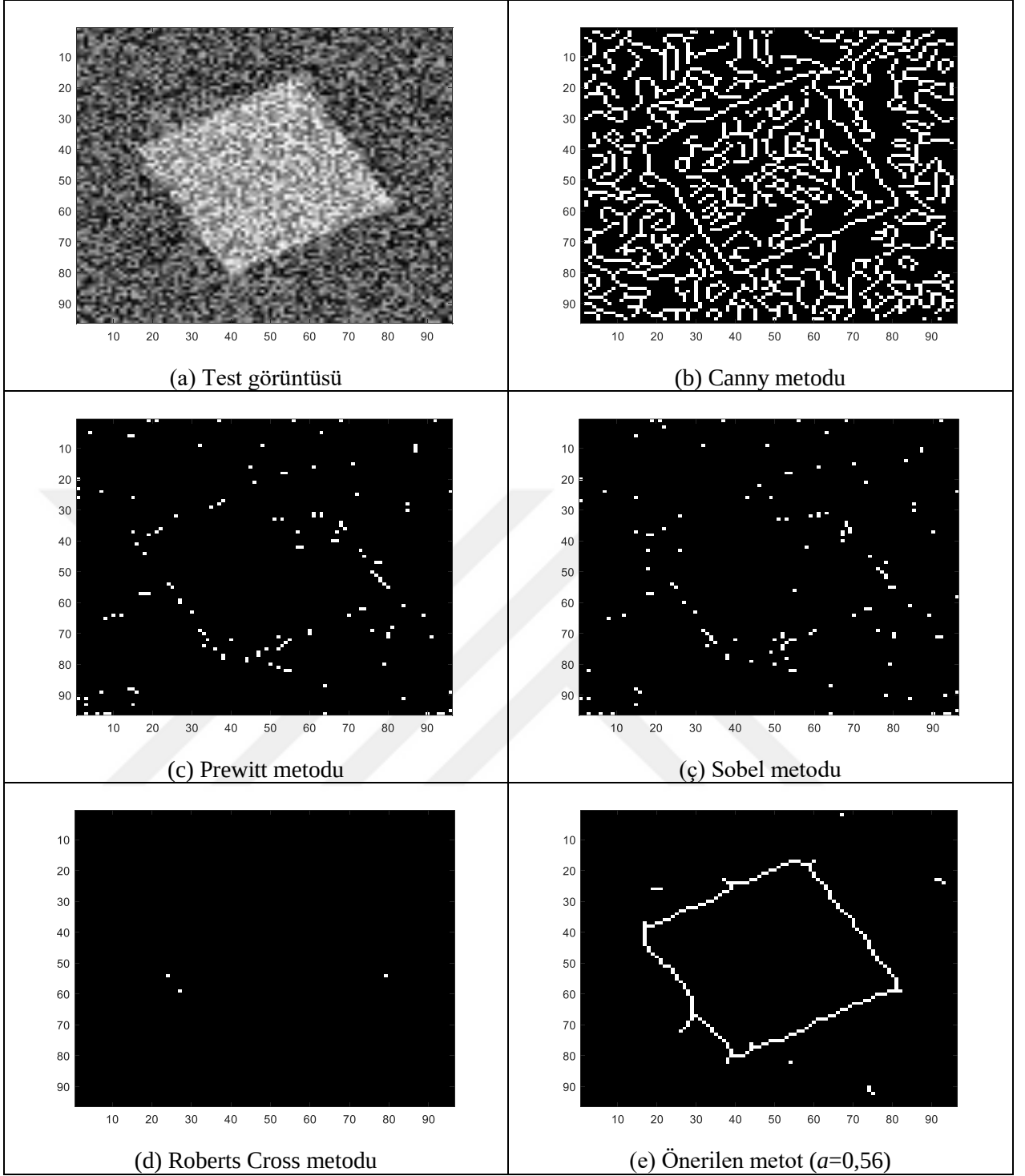
Şekil 23 4,77 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



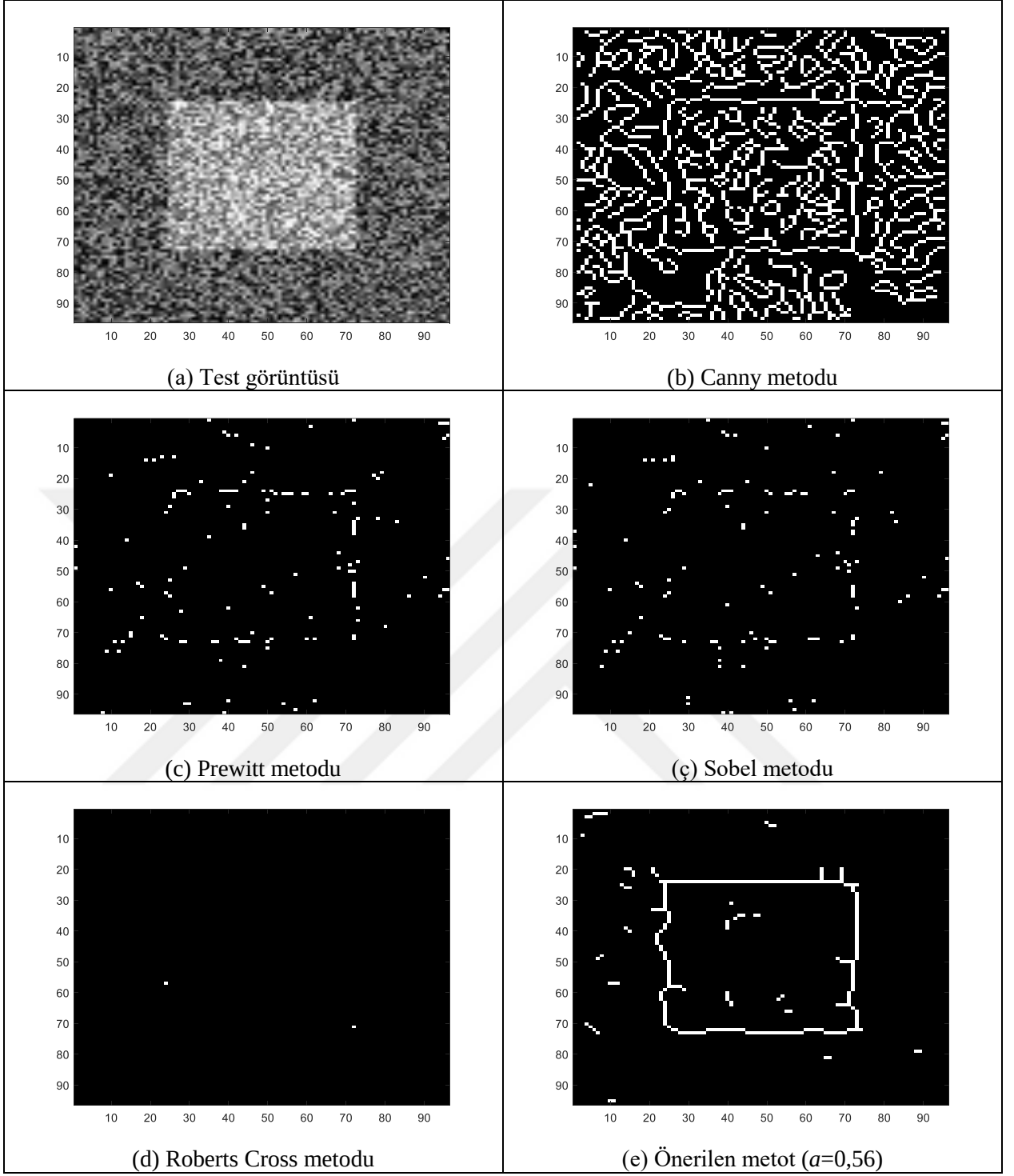
Şekil 24 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 4,77 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



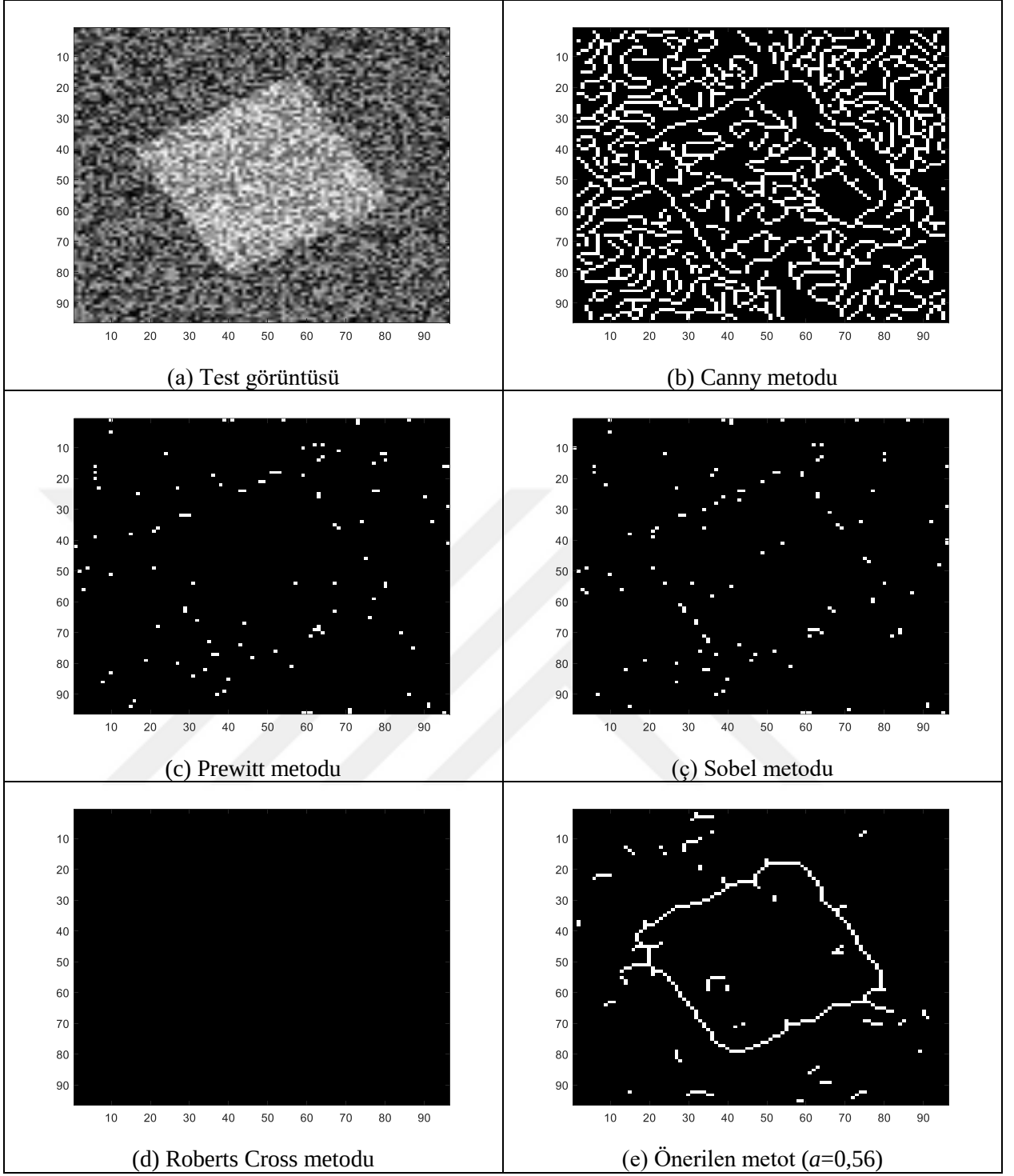
Şekil 25 3,94 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



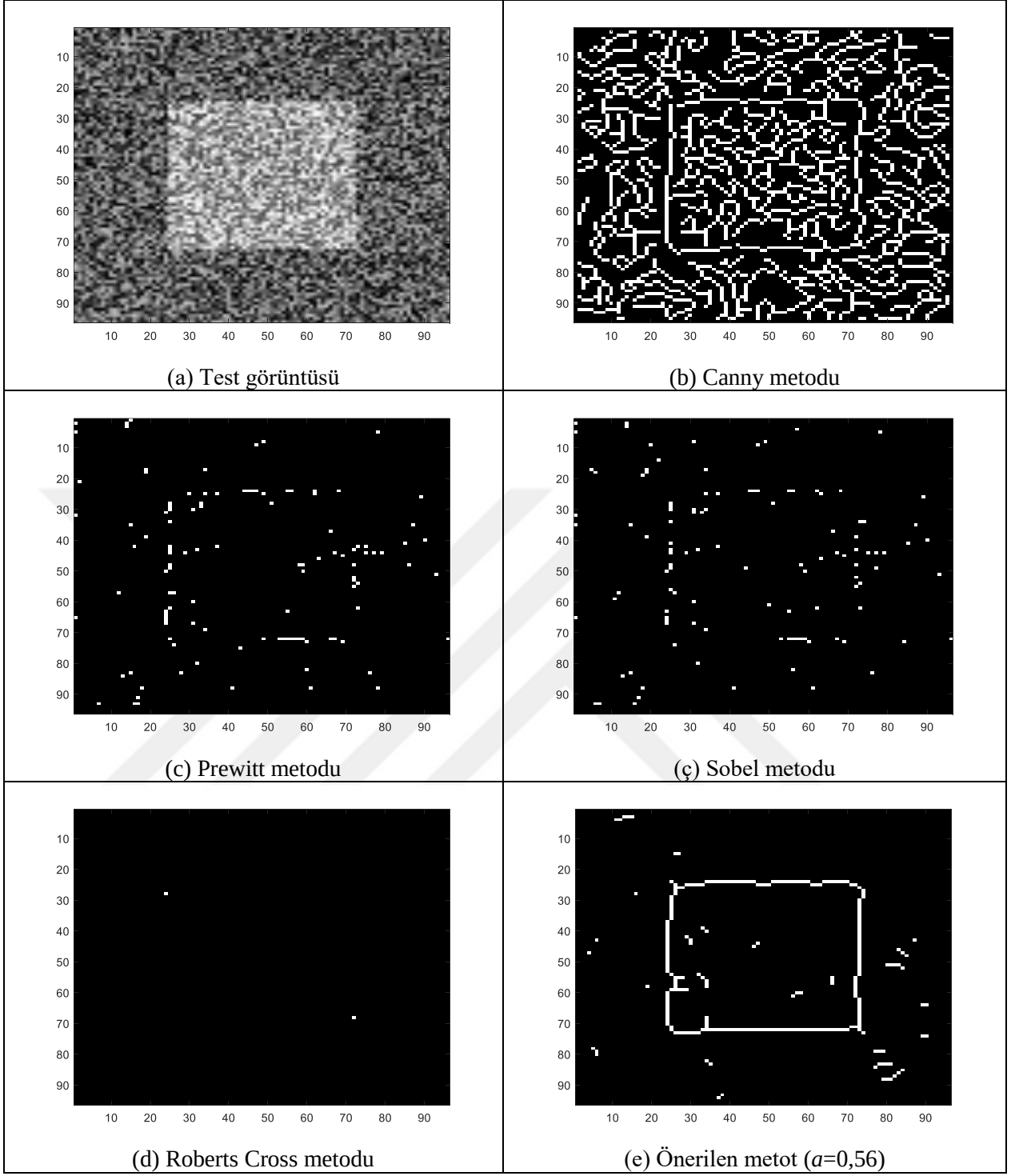
Şekil 26 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 3,94 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



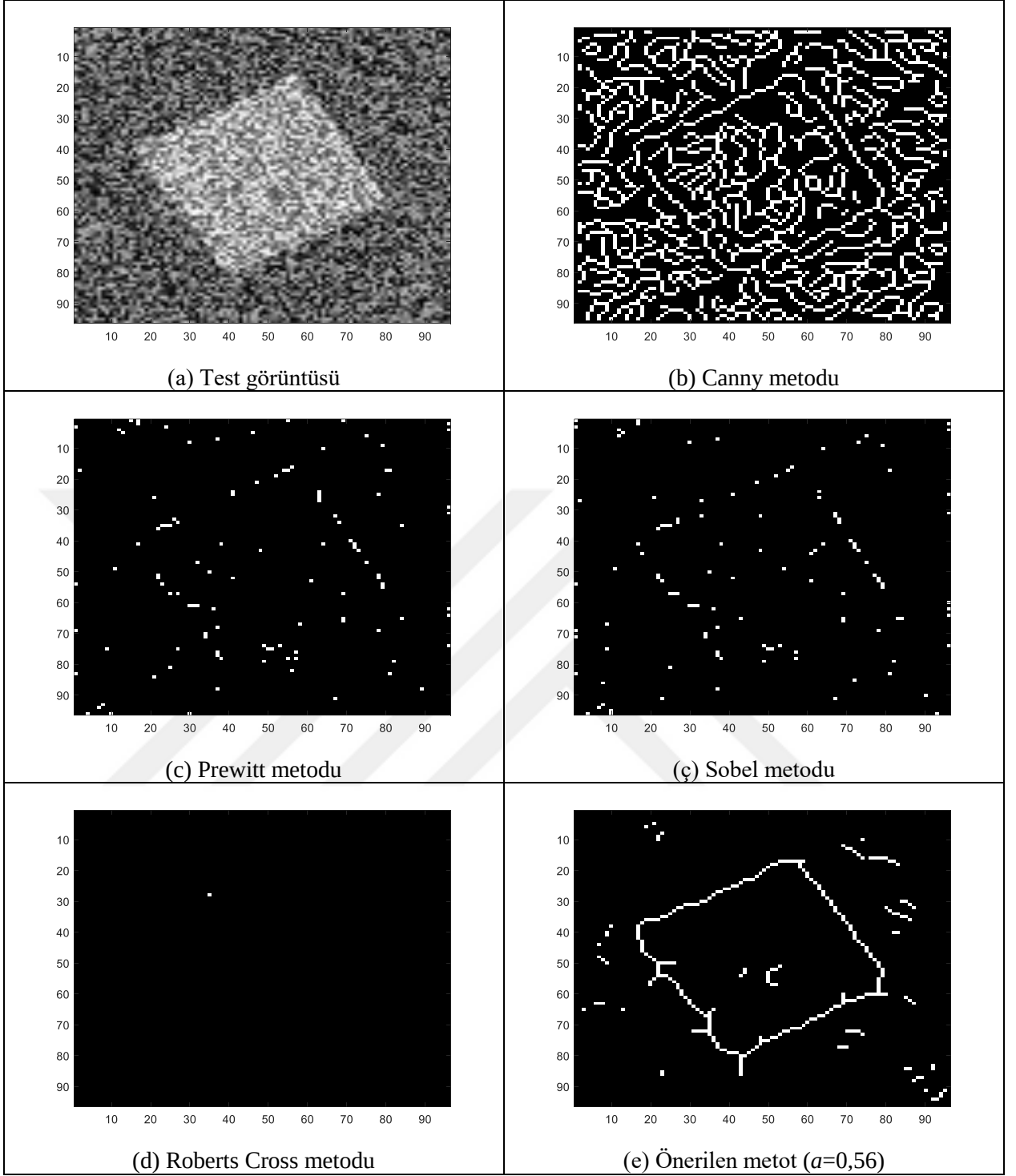
Şekil 27 3,19 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



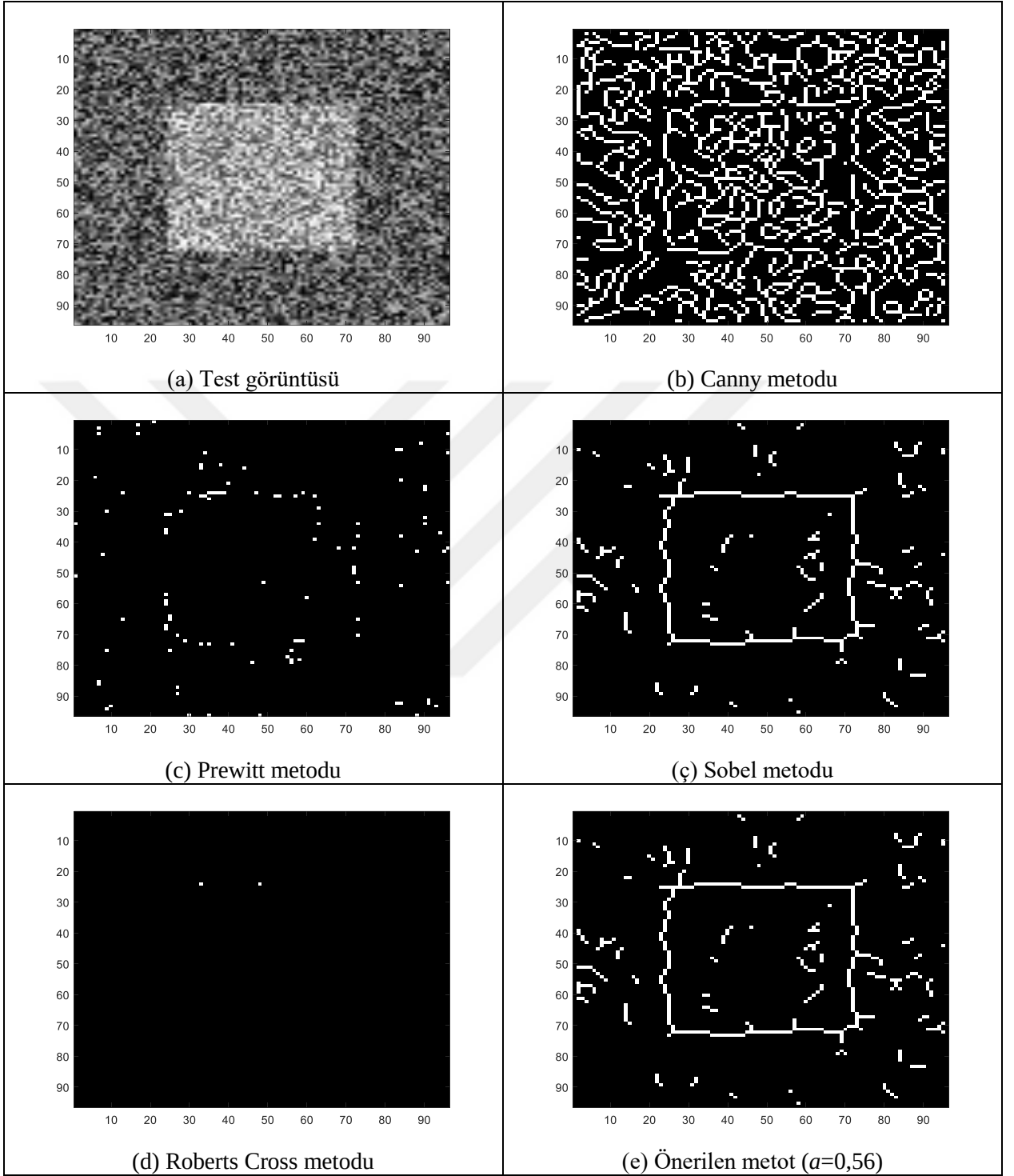
Şekil 28 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 3,19 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



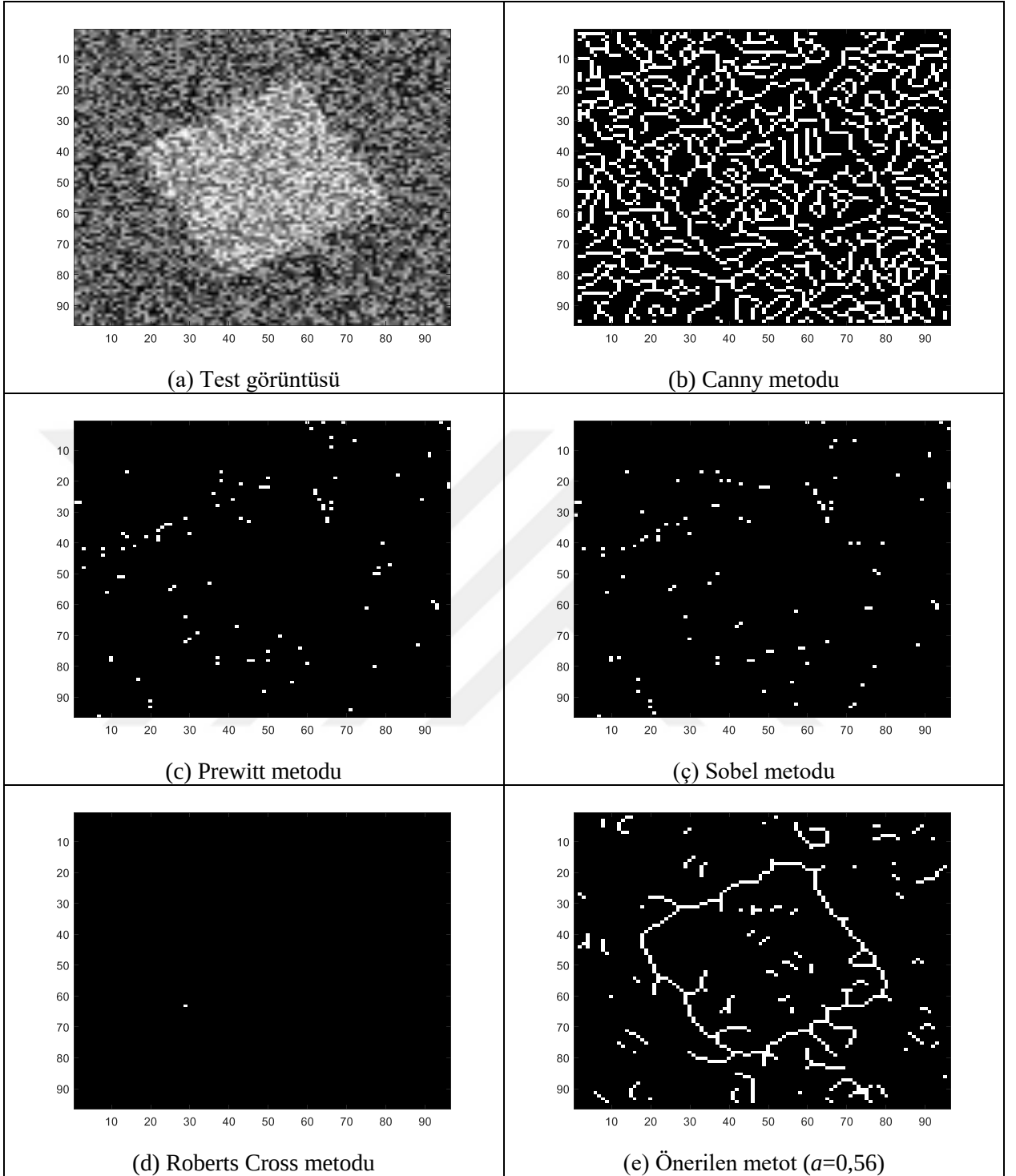
Şekil 29 2,49 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



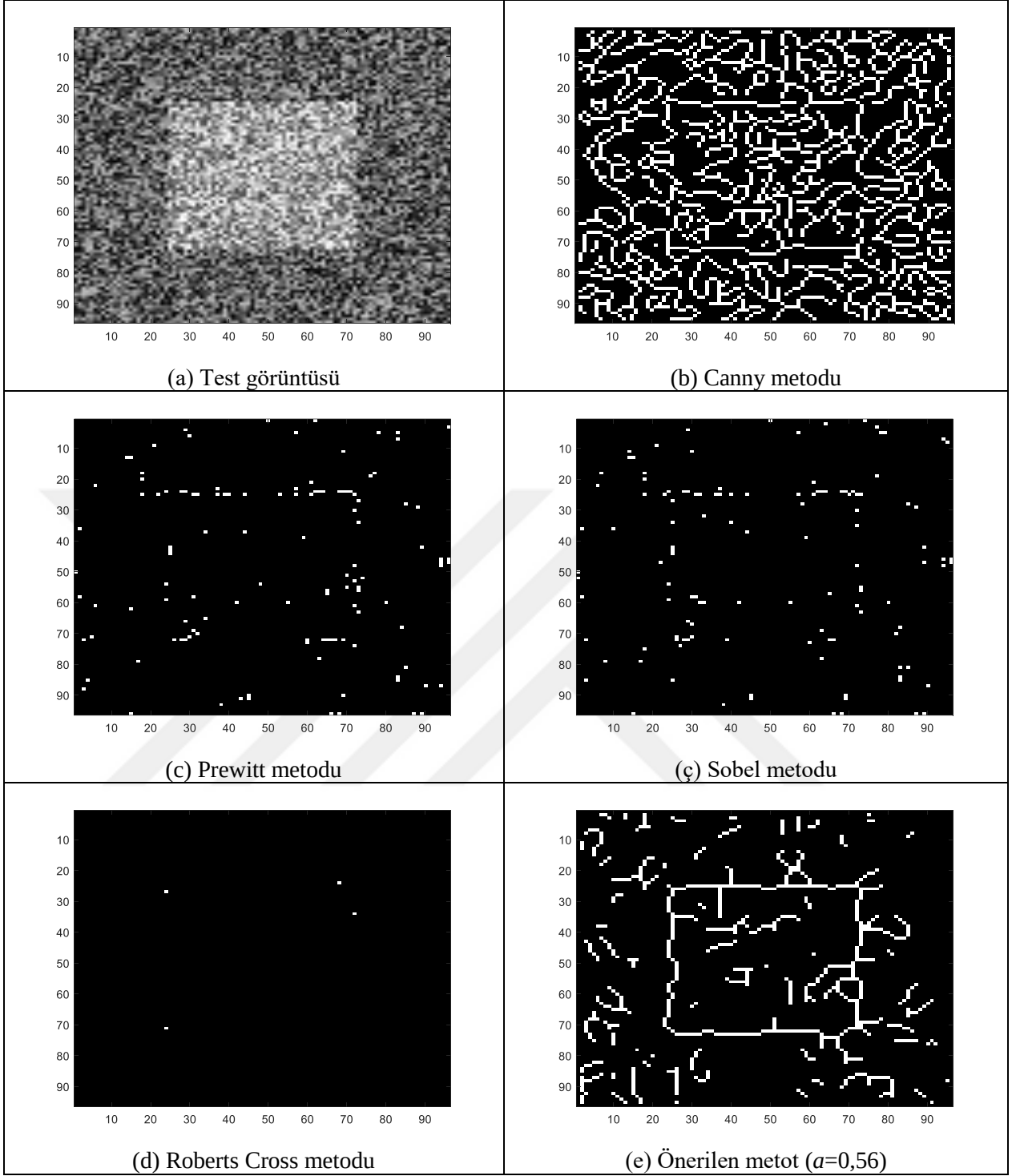
Şekil 30 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 2,49 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



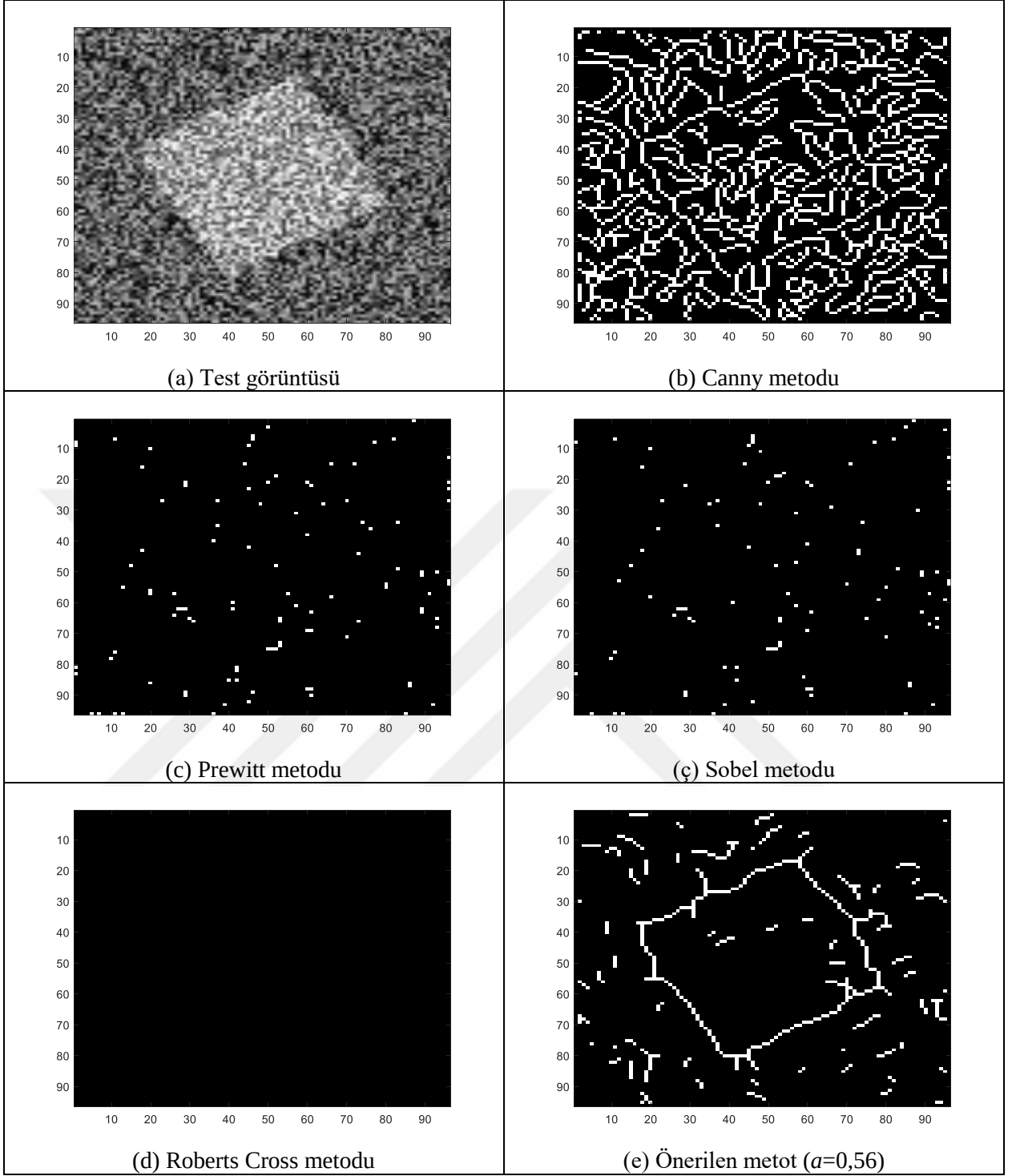
Şekil 31 1,85 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 32 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 1,85 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 33 1,25 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması



Şekil 34 Saat yönünün tersi yönde orta noktasından 30 derece döndürülmüş ve 1,25 dB SNR seviyesinde gürültü eklenmiş test görüntüsü üzerinden kenar tespit algoritma kıyaslaması

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Yunus Emre ÖNAL
Doğum Yeri : Isparta
Medeni Hal : Bekâr
E-posta : yemrele@gmail.com

Eğitim

Lise : Ankara Atatürk Anadolu Lisesi (Yenimahalle)
Lisans Bölümü, Ankara : Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Yüksek Lisans Bölümü, Ankara : Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : İleri Seviye



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 25/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: **GÜRÜLTÜYE KARŞI DAYANIKLI BİR KENAR TESPİT ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ**

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 108 sayfalık kısmına ilişkin, 21/06/2018 tarihinde ~~salon~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

25/06/2018
Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Yunus Emre ÖNAL

Öğrenci No: N12128204

Anabilim Dalı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Doç. Dr. Umut SEZEN