



## Two dimensional digital filter design using Kaiser-Hamming window structure and Huang transform and image enhancement application

Kemal Avcı \*

Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir Democracy University, Izmir, 35140, Turkey

### Highlights:

- Proposing a new two dimensional window function
- New two dimensional digital filter design
- Effect of the design on image enhancement application

### Keywords:

- Image processing
- Image enhancement
- Two dimensional digital filter
- Two dimensional Kaiser-Hamming window
- Huang's method

### Graphical/Tabular Abstract

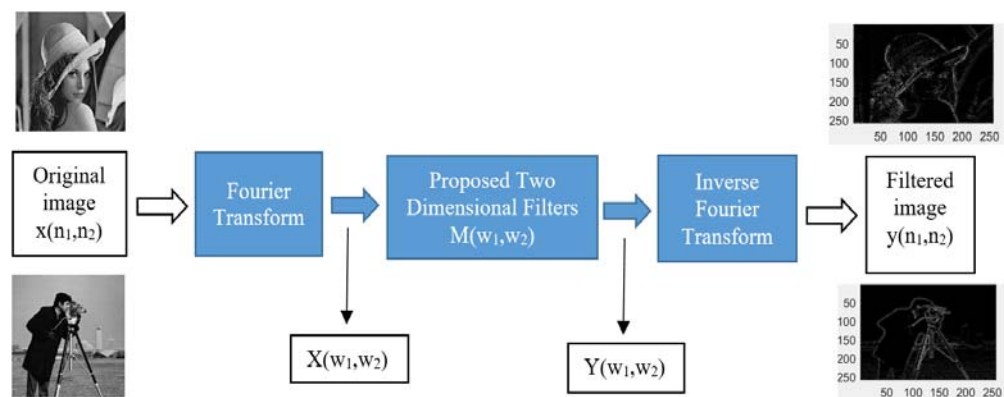


Figure A. Block diagram of the proposed method based image enhancement application in the frequency domain

### Article Info:

Received: 28.03.2017

Accepted: 16.11.2017

**Purpose:** It is aimed to propose a new method to perform two dimensional filtering in the frequency domain and to analyze performance of the proposed method for image enhancement application.

### Theory and Methods:

DOI:

10.17341/gazimmfd.416442

To obtain the proposed method for two dimensional filtering, one dimensional Kaiser-Hamming window family is transformed to two dimensional Kaiser-Hamming window family by using Huang's method. Then, by using two dimensional windowing method for designing filters with proposed two dimensional Kaiser-Hamming window, two dimensional low pass and high pass digital filters are designed. The performance analysis of the proposed method is carried out on well-known two images in literature, namely Lenna and cameraman, which have been chosen since they have different level details.

### Acknowledgement:

### Correspondence:

Author: Kemal Avcı  
e-mail:  
kavci1980@gmail.com  
phone: +90 232 260 1001

### Results:

By using the proposed method based on two dimensional Kaiser-Hamming window, totally eight lowpass and highpass two dimensional digital filters are designed for various values of independent parameters, namely  $N$  and  $\alpha_{kh}$ . Then, they are applied to the images of Lenna and cameraman to investigate the effects of the independent parameters on smoothing and sharpening operations. The following results are obtained: (1) By using a lowpass filter, a smoothing effect can be performed and also by increasing the length  $N$  the smoothness of the image increases and by increasing the shape parameter  $\alpha_{kh}$  the smoothness of the image decreases. (2) By using a highpass filter, a sharpening effect can be performed and also by increasing the length  $N$  the sharpness of the image increases and by increasing the shape parameter  $\alpha_{kh}$  the sharpness of the image decreases.

### Conclusion:

It is concluded that two dimensional digital filters designed by the proposed method can provide different smoothing and sharpening on a wide scale according to the desired level for image enhancement applications such as image smoothing and image sharpening, and also the length and independent shape parameters of the proposed two dimensional window have opposite effects on the image.



## Kaiser-Hamming pencere yapısı ve Huang dönüşümü kullanılarak iki boyutlu sayısal süzgeç tasarımı ve imge iyileştirme uygulaması

Kemal Avcı\*

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35140, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Yeni İki boyutlu bir pencere fonksiyonu önerilmesi
- Yeni iki boyutlu sayısal süzgeç tasarımı
- Tasarımın imge iyileştirme uygulamasındaki etkisi

### Makale Bilgileri

Geliş: 28.03.2017  
Kabul: 16.11.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416442

### Anahtar Kelimeler:

İmge işleme,  
İmge iyileştirme,  
İki boyutlu sayısal süzgeçler,  
İki boyutlu Kaiser-Hamming  
penceresi,  
Huang yöntemi

### ÖZET

İmge iyileştirme işlemleri için uzamsal alanda veya frekans alanda süzme işlemleri yapan iki boyutlu sayısal süzgeçler kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü imge iyileştirme işlemleri için hesaplama avantajından dolayı frekans alanda süzme yapan iki boyutlu sayısal süzgeçler tercih edilmektedir. Fakat frekans alan tabanlı iki boyutlu sayısal süzgeç tasarım yöntemlerinde hesap karmaşıklığı fazlalığı, optimum olmayan kötü süzgeç performansı ve elastikiyetsizlik gibi çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Ayrıca literatürde önerilen birçok tasarım yönteminde imge üzerinde uygulamanın hiç yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntem az hesap karmaşıklığında iyileştirilmiş süzgeç performansı ve elastikiyete sahip bir çözüm sunmaktadır. İmge iyileştirme üzerindeki etkisinin de çalışıldığı önerilen yöntem, Huang yöntemi kullanarak elde edilen iki boyutlu Kaiser- Hamming pencere ailesinin türetilmesine dayanmaktadır. Önerilen yöntem sabit bir uzunlukta farklı süzgeç karakteristiğine sahip birçok iki boyutlu sayısal süzgeç tasarlanmasını sağlamaktadır. İki imge için farklı süzme örneklerinden elde edilen benzeşim sonuçları, önerilen yöntemle tasarlanan iki boyutlu sayısal süzgeçlerin imge yumuşatma ve imge keskinleştirme gibi imge iyileştirme uygulamaları için istenilen seviyeye göre geniş ölçekte farklı yumuşatma ve keskinleştirme sağlayabileceğini ve ayrıca önerilen pencerenin uzunluk ile bağımsız biçim parametrelerinin imge üzerinde zıt etkiler yarattığını göstermiştir.

## Two dimensional digital filter design using Kaiser-Hamming window structure and Huang transform and image enhancement application

### H I G H L I G H T S

- Proposing a new two dimensional window function
- New two dimensional digital filter design
- Effect of the design on image enhancement application

### Article Info

Received: 28.03.2017  
Accepted: 16.11.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416442

### Keywords:

Image processing,  
Image enhancement,  
Two dimensional digital  
filter,  
Two dimensional Kaiser-  
Hamming window,  
Huang's method

### ABSTRACT

Two dimensional digital filters which perform spatial filtering or frequency domain filtering are used for image enhancement operations. For high resolution image enhancement operations, two-dimensional digital filters which perform filtering in the frequency domain are preferred due to the computational advantage. However, in frequency domain based two dimensional digital filter design methods, there are various issues such as excess of computational complexity, suboptimal bad filter performance, and lack of elasticity. Moreover, in many design methods proposed in the literature, it is seen that there is no application on the image. The proposed method in this study presents a solution with improved filter performance and elasticity in less computational complexity. The proposed method, in which the effect on image enhancement is also studied, is based on the derivation of a two-dimensional Kaiser-Hamming window family obtained using the Huang's method. The proposed method provides the design of many two-dimensional digital filters with various filter characteristics at a fixed length. Simulation results obtained from various filtering examples for two images show that two dimensional digital filters designed by the proposed method can provide different smoothing and sharpening on a wide scale according to the desired level for image enhancement applications such as image smoothing and image sharpening, and also the length and independent shape parameters of the proposed window have opposite effects on the image.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: kavci1980@gmail.com / Tel: +90 232 260 1001  
1460

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sayısal imge işleme, bazı matematiksel işlemler vasıtasıyla iki boyutlu bir imgenin temsili olan bir sayısal imgeyi işlemek için kullanılan bilgisayar tabanlı bir teknolojidir [1]. Televizyon, fotoğraf, uzaktan algılama, robotik, güvenlik, tıbbi teşhis, uzay çalışmaları, belgelerin sayısallaştırılması gibi uygulamalarla günlük yaşamımızın birçok yönünde çok önemli bir rol oynamaktadır. İmge iyileştirme, imge onarma, imge sıkıştırma, imge bölütleme, nesne tanıma ve renkli imge işleme gibi konular sayısal imge işlemenin alanlarını oluşturmaktadır.

Sayısal imge işlemenin önemli alanlarından biri olan imge iyileştirme, genelde öznel bir değerlendirmeye bir imgeyi istenilen bir amaca uygun olarak mevcut durumundan daha iyi bir duruma getirmeyi amaçlamaktadır. İmge yumuşatma ve imge keskinleştirme, pratik uygulamalar için birçok kullanım alanına sahip iki önemli imge iyileştirme işlemidir. Bu işlemler için ise uzamsal alanda veya frekans alanda süzme işlemleri yapan iki boyutlu sayısal süzgeçler kullanılmaktadır [2]. Yüksek çözünürlüklü işlemler için hesaplama avantajından dolayı frekans alanda süzme yapan iki boyutlu sayısal süzgeçler tercih edilmektedir.

İki boyutlu sayısal süzgeçlerin tasarımı; bu süzgeçlerin imge işlemenin yanı sıra sonar ve radar işleme, biyomedikal işleme, TV iletimi, yapay görü ile jeofizik sinyal işlemedeki yaygın kullanım alanları nedeniyle önemli bir çalışma alanı olmuştur [3-5]. Daima kararlı yapıda olmaları ve tam doğrusal fazlı tasarlanabilmeleri nedeniyle, pratik uygulamalarda iki boyutlu FIR (Finite Impulse Response-Sonlu Dürtü Yanıtlı) süzgeçler iki boyutlu IIR (Infinite Impulse Response-Sonsuz Dürtü Yanıtlı) süzgeçlere göre daha yaygın kullanılmaktadır [6]. Literatürde yer alan iki boyutlu FIR süzgeç tasarımı çalışmaları; optimal tasarım, frekans dönüştürme, frekans örnekleme ve pencereleme tabanlı olarak dört gruba sınıflandırılabilir.

Optimal tasarım yöntemlerinden biri olarak Dumitrescu [7], çalışmasında tanımladığı teoremlerle doğrusal fazlı veya doğrusal fazlı olmayan iki boyutlu FIR süzgeçlerin minimaks optimizasyon kriterli tasarımında çok değişkenli trigonometrik polinomların kullanımını ele almıştır. Yarı-belirli programlama tabanlı bu çalışma, tasarım işleminde çok fazla zaman ihtiyacı duymaktadır. Lai ve Cheng [8], sıralı kısıtlı en küçük kare yaklaşımı kullanarak iki boyutlu FIR süzgeçler için daha verimli bir minimaks tasarım önermiştir. Zhou ve diğerleri [9], ikinci derece konik programlama kullanarak iki boyutlu FIR süzgeçler için daha esnek bir tasarım yöntemi önermişlerdir. Zhao ve Lai [10-12], çalışmalarında maksimum yaklaşım hatalarını minimize eden minimaks tasarım yerine yaklaşım hata enerjilerini minimize eden ağırlıklandırılmış en küçük kare optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Wang [13], iki boyutlu süzgeç gerçekleştirilmesindeki karmaşıklığı azaltmak için yeni bir ayrıştırılabilir tasarım yöntemi sunmuştur. Önerilen yöntem diğer ayrıştırılabilir yöntemlere göre daha

az çarpan elemanı içermektedir. Zhao ve diğerleri [14], iki boyutlu FIR süzgeçlerin ağırlıklandırılmış kareler tasarımı için hesaplama açısından daha verimli bir yöntem olarak matris tabanlı gradyan yöntemini önermişlerdir. Süzgeç tasarımı için gereken hesaplamaların karmaşık ve süre olarak fazla olması, yukarıda bahsedilen tüm optimal tasarım yöntemlerinin en önemli dezavantajıdır.

Diğer iki boyutlu süzgeç tasarımı yöntemi olan frekans dönüştürme yönteminde, bir dönüşüm yöntemi kullanarak bir boyutlu süzgeçlerden iki boyutlu doğrusal FIR süzgeçlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. İlk olarak McClellan tarafından geliştirilen bu tasarım yöntemi [15], gerçel ve simetrik sıfır fazlı süzgeçlerin de tasarlanmasını sağlayacak şekilde genelleştirilmiştir [16]. Daha sonra karmaşık ve simetrik süzgeçlerin [17] ve ayarlanabilir değişken frekans spektrumuna sahip süzgeçlerin [18] tasarlanabileceği yöntemler önerilmiştir. Sadece alçak frekanslar için dairesel simetriğe yakın süzgeç karakteristikleri sunduklarından, McClellan dönüşüm tabanlı bu tasarımlar sadece alçak frekanslarda kesim frekansa sahip alçak geçiren veya yüksek geçiren süzgeçlerin tasarımı için uygundur [19]. Bu nedenle daha geniş bantlarda dairesel simetriğe sahip süzgeçler elde etmek için yüksek dereceli McClellan dönüşümlerinin kullanıldığı dönüşüm yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır [19, 20].

İki boyutlu süzgeç tasarımı yöntemlerinden üçüncüsü olan frekans örnekleme yöntemi [21, 22], frekans bölgesinde örnekleme teorisinin uygulanmasına dayalıdır [23]. Bu yöntem iki önemli dezavantaja sahiptir. Bu yöntem tarafından tasarlanan süzgeçler, diğer tasarım yöntemleri tarafından tasarlanan süzgeçlere kıyasla daha kötü frekans spektrum karakteristiğine sahiptir. Bunun yanı sıra frekans örnekleme yöntemi ile tasarlanan süzgeçlerde genel süzgeç spektrum özelliklerini kontrol etmek mümkün değildir.

Dördüncü iki boyutlu süzgeç tasarımı yöntemi olan pencereleme yöntemi, en eski yöntem olmakla birlikte süzgeç katsayılarının elde edilmesinde en basit olma ve hesaplama açısından en verimli olma özelliğini taşımaktadır. Fakat bu yöntemle tasarlanan süzgeçlerin elde edilmesinde optimum (yani olabilecek en iyi) sonuçların elde edilememesi, yöntemin en önemli dezavantajıdır. Bu yöntemle ilgili ilk olarak Huang [24] bir boyutlu simetrik bir pencereden iki boyutlu dairesel simetrik bir pencere elde edilmesi için bir yöntem sunmuştur. Huang çalışmasında [24], eğer bir boyutlu alçak geçiren süzgeç tasarımında kullanılan bir boyutlu simetrik pencere iyi sonuç veriyorsa, o pencerenin Huang dönüşümü ile elde edilecek dairesel simetrik iki boyutlu pencere ile tasarlanacak iki boyutlu süzgeçler de iyi karakteristike olacaktır sonucuna varmıştır. Huang bu çalışmada sadece iki boyutlu alçak geçiren süzgeçlere odaklanmış olup, özelden herhangi bir pencere fonksiyonuna uyarlama veya herhangi bir imge işleme uygulaması yapmamıştır. Speake [25] ise çalışmasında bir boyutlu simetrik bir pencereden iki boyutlu pencere fonksiyonunun elde edilmesine yönelik iki farklı yöntemi ele

almış ve birbiriyle kıyaslamıştır. İlk elde edilen pencere Huang dönüşüm yöntemiyle elde edilen dairesel simetrik penceredir. İkinci elde edilen pencere ise iki tane bir boyutlu pencerenin çarpılmasıyla elde edilen karesel simetri destekli iki boyutlu penceredir. Prototip olarak iki parametrelili Kaiser penceresini çalışmasında kullanmıştır. Speake çalışmasında, iki boyutlu süzgeç tasarımı hem de daha az süzgeç katsayısı gereksinimi sağlamaları hem de daha öngörülebilir özelliklere sahip olmalarından ötürü, Huang dönüşümüyle elde edilen iki boyutlu pencerelerin diğer yöntemle elde edilen iki boyutlu pencerelere göre daha avantajlı olduğunu belirtmiştir. Speake çalışmasında sadece iki boyutlu alçak geçiren süzgeçlere odaklanmış olup, herhangi bir imge işleme uygulaması yapmamıştır. Kato ve Furukawa [26] 1981 yılında iki boyutlu pencere üretimi için başka bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntem bir boyutlu pencerenin frekans yanıtının frekans alanında döndürülmesi ve sonrasında ters Fourier dönüşümü alınmasına dayalıdır. Elde edilen iki boyutlu frekans yanıtı, dairesel simetriye yakın ve bir boyutlu frekans yanıtının özelliklerini taşıması avantajlarına sahip olmasına rağmen hesaplama olarak verimsiz olduğundan pratik kullanımlı değildir. Yu ve Mitra [27] ise McClellan dönüşümü tabanlı iki boyutlu Kaiser penceresi elde edilmesini önermiş ve iki boyutlu alçak geçiren süzgeçlere uygulamıştır. Antoniou [28] 1990 yılındaki çalışmada Huang dönüşümüyle elde edilen iki boyutlu pencerelerin iki boyutlu alçak geçiren süzgeçler dışında diğer iki boyutlu süzgeç tiplerine (yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran) de uygulanabileceği ve minimum çaba ve hesaplama ile iyi sonuçlar elde edilebileceği göstermiştir. Ayrıca fan süzgeç tasarımına da değinmiş ve bu süzgeç tipinde de iyi sonuçlar alınabileceğini göstermiştir. Antoniou'nun bu çalışmasında yer alan örnek süzgeç tasarımı Kaiser penceresi tabanlı olup, özde herhangi bir imge işleme uygulaması içermemektedir.

Sonuç olarak, pencereleme tabanlı yöntem hesap karmaşıklığı açısından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır, fakat tasarım açısından optimum sonuç sağlamaması ise bu yöntemin en önemli dezavantajıdır. Dolayısıyla, optimal tasarım yöntemlerinin en önemli avantajı olan optimum süzgeç tasarım sonucuna daha yakın bir tasarım sunacak bir pencereleme yöntemi önemli bir araştırma konusudur. Bununla birlikte pencereleme tabanlı yöntemlerle tasarlanan süzgeçlerle ilgili imge iyileştirme uygulamalarına literatürde rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, frekans alanda süzme kullanılmakta olup süzme işlemi için hesaplama avantajından dolayı iki boyutlu pencere fonksiyonu tabanlı FIR süzgeçler ele alınmakta ve bu süzgeçlerin imge iyileştirme uygulamaları yapılmaktadır. Bunun için öncelikle bir boyutlu sayısal süzgeçlerin tasarımı için önerilmiş olan ve literatürdeki diğer pencerelere kıyasla daha iyi sonuç verdiği tespit edilen iki bağımsız parametreye sahip olan bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresi [29], bir boyutlu prototip pencere olarak seçilmiştir. Daha sonra Huang dönüşümü ile iki boyutlu Kaiser-Hamming pencere fonksiyonu prototip pencereden türetilerek yeni iki boyutlu dairesel simetrik sayısal süzgeçler tasarlanmıştır. Tasarlanan

farklı tipteki sayısal süzgeçler sayısal imge işlemede sıklıkla kullanılan iki test imgesi (Lenna ve kameraman) üzerinde uygulanarak önerilen yöntemin etkileri gözlemlenmiştir.

## 2. TEORİK METOT (THEORETICAL METHOD)

Bu bölümde öncelikle iki boyutlu alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeçlerin imge iyileştirme alanındaki kullanımına ait örnekler verilmiştir. Daha sonra ise önerilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun nasıl türetildiğinden bahsedilecek, sonrasında ise iki boyutlu sayısal süzgeçlerin iki boyutlu pencere fonksiyonu kullanarak nasıl tasarlanabilecekleri anlatılacaktır.

### 2.1. İki Boyutlu Alçak Geçiren ve Yüksek Geçiren Süzgeçlerin İmge İyileştirmede Kullanımı (Use of Two Dimensional Lowpass and Highpass Filters in Image Enhancement)

Süzgeçler bant özelliklerine göre alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren ve bant durduran süzgeçler olarak sınıflandırılırlar. Bu süzgeçler arasında, çoğunlukla alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeçler imge işlemede daha fazla kullanım alanı bulmaktadırlar.

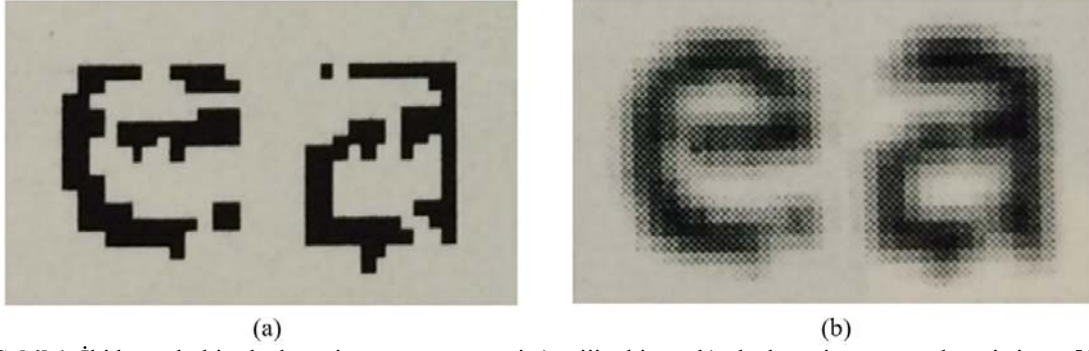
İki boyutlu alçak geçiren süzgeçler bir imgeyi yumuşatmak için kullanılır. İki boyutlu alçak geçiren süzgeçler kullanarak imge yumuşatma işlemlerine örnekler olarak; matbaacılık alanında makine tabanlı otomatik metin algılama için karakter tanınması, kozmetik alanında imgedeki ince cilt çizgilerinin giderilmesi ve uydu/hava görüntüleme alanında imgedeki büyük özelliklerin ortaya çıkarılması işlemleri verilebilir [1].

Şekil 1a'da düşük çözünürlüğe sahip bir metinden alınmış karakterler verilmiştir [1]. İnsanlar bu karakterleri okurken zorluk çekmeyecektir ama makine tanıma sistemleri karakterdeki boşluklar nedeniyle bu karakterleri tanımda zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu imgenin bir alçak geçiren süzgece uygulandığında elde edilecek imge Şekil 1b'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, boşluklar kapanarak otomatik metin algılama için yararlı bir duruma getirilmiştir.

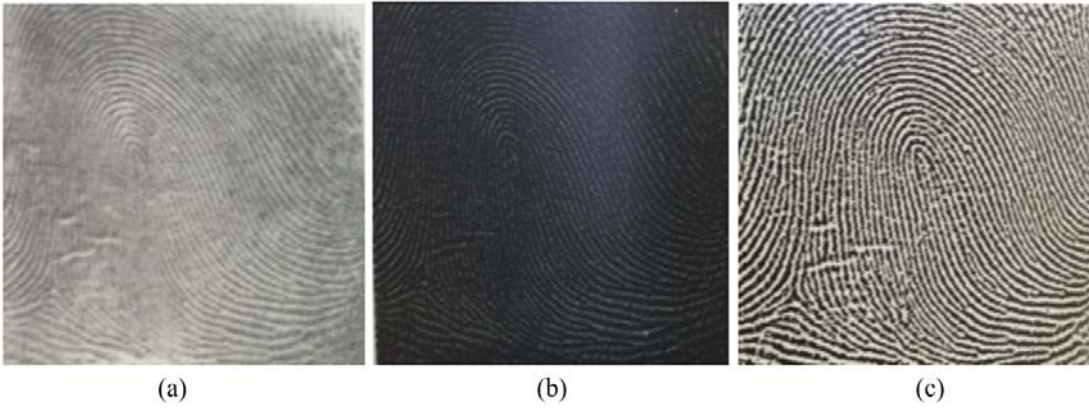
İki boyutlu yüksek geçiren süzgeçler ise bir imgedeki kenarları keskinleştirmek için kullanılır. İki boyutlu bir yüksek geçiren süzgeç için uygulama örneği Şekil 2'de verilmiştir [1]. Bu örnekte görüldüğü gibi kenar keskinleştirme işlemi, parmak izlerinin belirginleştirilmesi için yararlı olabilmektedir.

### 2.2. İki Boyutlu Kaiser-Hamming Penceresi (Two Dimensional Kaiser-Hamming Window)

Sürekli veya ayrık zamanlı olarak tanımlanabilen bir boyutlu bir pencere fonksiyonu (veya basitçe pencere), genliği belirli bir zaman aralığı için sıfır olmayan ve o aralık dışında ise sıfır olan zamana bağlı bir fonksiyondur [30, 31]. Bir boyutlu sayısal süzgeçlerin tasarlanmasında, bir boyutlu ayrık zamanlı pencere fonksiyonları kullanılmaktadır. Bir boyutlu ayrık zamanlı bir pencere fonksiyonu  $w(n)$  olarak gösterilir.



**Şekil 1.** İki boyutlu bir alçak geçiren süzgeç örneği a) orijinal imge b) alçak geçiren süzgeçlenmiş imge [1]  
(A two-dimensional low-pass filter example (a) original image (b) low-pass filtered image [1])

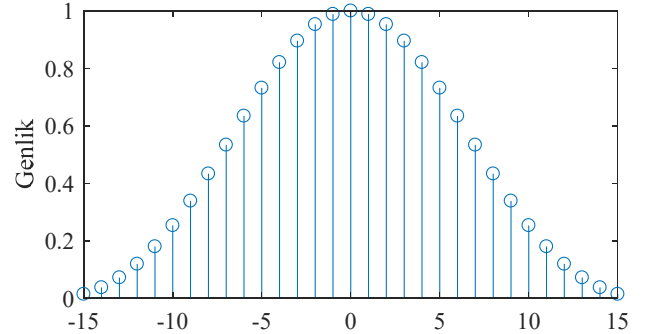


**Şekil 2.** İki boyutlu bir yüksek geçiren süzgeç örneği a) orijinal parmak izi imgesi b) yüksek geçiren süzgeçlenmiş imge c) yüksek geçiren süzgeçlenmiş imgeye eşikleme uygulayarak elde edilen imge [1]  
(A two-dimensional high-pass filter example (a) original fingerprint image (b) high-pass filtered image (c) image obtained by thresholding high-pass filtered image [1])

Ayrık zamanda sıfır olmayan zaman aralığı penceresinin uzunluğu olarak adlandırılır ve  $N$  ile gösterilir. Tipik bir boyutlu ayrık zamanlı bir pencere fonksiyonunun zaman karakteristiğine örnek olarak, Şekil 3'te  $N = 31$  pencere uzunluğu için çizilmiş olan genlik-ayrık zaman karakteristiği verilmiştir. Dikdörtgen ve üçgen pencere gibi bazı pencereler haricinde genelde pencere karakteristikleri bu şekildedir. Bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresi,  $w_{kh}(n)$ , tek boyutlu sayısal süzgeçlerin tasarımı için önerilmiş olup Eş. 1'de verildiği gibi tanımlanmıştır [29].  $N$  pencere uzunluğu olmak üzere  $|n| \leq (N-1)/2$  zaman aralığı için

$$w_{kh}(n) = 0,5 \frac{I_0\left(\alpha_{kh} \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{I_0(\alpha_{kh})} + 0,27 - 0,23 \cos 2\pi \left(\frac{n}{N-1} + 0,5\right) \quad (1)$$

Eş.1'de görüldüğü üzere bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresi farklı genlik-zaman karakteristikleri verebilecek iki bağımsız parametreye sahiptir. Bunlar, pencere uzunluğu ( $N$ ) ve ayarlanabilir biçim parametresidir ( $\alpha_{kh}$ ). Bir boyutlu sayısal süzgeç tasarımı için birçok pratik uygulamada  $N$  değeri 21 ile 151 arasında,  $\alpha_{kh}$  parametresi ise 0 ile 7 arasındaki aralıkta iyi sonuç vermektedir [29]. Burada  $I_0(\cdot)$  ise sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonunu göstermektedir.



**Şekil 3.**  $N = 31$  pencere uzunluğu için çizilen tipik bir normalleştirilmiş pencere fonksiyonu (A typical normalized window function plotted for a window length of  $N = 31$ )

Bu çalışmada iki boyutlu pencere türetilmesinde bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresinin seçilmesinin iki sebebi vardır. İlk sebep bu pencerenin iki bağımsız parametreye sahip olmasıdır ki, böylelikle sabit bir pencere uzunluğunda bu pencere birçok farklı pencere karakteristiği sunabilmektedir. Tek bağımsız parametreye sahip pencereler ise sabit bir pencere uzunluğunda sadece bir pencere karakteristiği sunmaktadırlar. İkinci sebep ise aynı koşullar altında literatürdeki diğer pencerelere göre daha iyi pencere karakteristiği sunabilmesi, dolayısıyla özellikle süzgeç uygulamaları için daha iyi performans sağlayabilmesidir

[29]. Literatürde bir boyutlu iyi bir pencere fonksiyonundan türetilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun da iki boyutlu süzgeç uygulamaları için diğer pencerelere göre daha iyi bir karakteristik sunacağı belirtilmiştir [24]. İki boyutlu FIR sayısal süzgeç tasarımı için çeşitli yapılar vardır [32]. Speake ve Mersereau, yaptıkları çalışma sonucu pencere tabanlı iki boyutlu sayısal süzgeçler için dairesel yapının daha uygun olacağını belirtmişlerdir [25]. Yeni tasarlanacak iki boyutlu sayısal süzgeçler için bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresinden dairesel ve simetrik iki boyutlu pencere fonksiyonlarının elde edilmesi gerekmektedir. Eş. 2’de tanımlanan Huang metodu [24] kullanılarak tek boyutlu pencere fonksiyonu, iki boyutlu pencere fonksiyonuna dönüştürülebilir.

$$n = \sqrt{n_1^2 + n_2^2} \quad \text{için} \quad w(n_1, n_2) = w(n) \quad (2)$$

Eş. 2’de n değeri ayrık zaman değerini ifade ederken, n<sub>1</sub> ve n<sub>2</sub> ise zaman olması gerekmeyen ayrık değişkenlerdir. Sonuç olarak, bu çalışmada tasarlanacak iki boyutlu sayısal süzgeçlerin dayanağı olan iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi Eş. 3’de verildiği gibi NxN uzunluklu olarak tanımlanabilir.

$$w_{kh}(n_1, n_2) = 0,5 \frac{I_0 \left( \sqrt{1 - \left( \frac{2\sqrt{n_1^2 + n_2^2}}{N-1} \right)^2} \right)}{I_0(\alpha_{kh}) + 0,27 - 0,23 \cos 2\pi \left( \frac{\sqrt{n_1^2 + n_2^2}}{N-1} + 0,5 \right)} \quad (3)$$

### 2.3. İki Boyutlu Sayısal Süzgeçler ve Pencereler ile Tasarımı

(Two Dimensional Digital Filters and Their Design with Windows)

İki boyutlu sayısal süzgeçler, sonsuz dürtü yanıtı (IIR-Infinite Impulse Response) ve sonlu dürtü yanıtı olarak (FIR-Finite Impulse Response) sınıflandırılabilir. İmge işleme uygulamalarında genelde FIR sayısal süzgeçler kullanılmaktadır. Sayısal süzgeçler frekans alanında transfer fonksiyonlarıyla veya frekans yanıtlarıyla, zaman alanında ise dürtü yanıtı fonksiyonlarıyla ifade edilirler. Eş. 4’te N<sub>1</sub>xN<sub>2</sub> uzunluklu (veya N<sub>1</sub>-1xN<sub>2</sub>-1 dereceli) iki boyutlu bir FIR sayısal süzgecin transfer fonksiyonu verilmiştir [30]. Burada h(n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>) süzgecin dürtü yanıtıdır.

$$H(z_1, z_2) = \frac{\sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} h(n_1, n_2) z_1^{N_1-1-n_1} z_2^{N_2-1-n_2}}{z_1^{N_1-1} z_2^{N_2-1}} \quad (4)$$

Eş. 5’te ise N<sub>1</sub>xN<sub>2</sub> uzunluklu iki boyutlu bir FIR sayısal süzgecin frekans yanıtı verilmiştir [23].

$$H(\omega_1, \omega_2) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} h(n_1, n_2) e^{-j(n_1\omega_1 + n_2\omega_2)} \quad (5)$$

Bu çalışmada, iki boyutlu pencere fonksiyonu tabanlı iki boyutlu FIR sayısal süzgeçlerin tasarlanmasıyla

ilgilenebilir. İki boyutlu pencere fonksiyonu, w(n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>), ideal iki boyutlu sayısal süzgecin dürtü yanıtı, h<sub>id</sub>(n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>), ile çarpılarak pratik iki boyutlu sayısal süzgecin dürtü yanıtı Eş. 6’daki gibi bulunur [3, 30].

$$h(n_1, n_2) = h_{id}(n_1, n_2)w(n_1, n_2) \quad (6)$$

İdeal iki boyutlu sayısal süzgeçlerin dürtü yanıtı, h<sub>id</sub>(n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub>), ise kendi frekans yanıtlarından, H<sub>id</sub>(ω<sub>1</sub>, ω<sub>2</sub>), Eş. 7 bulunabilir [3].

$$h_i(n_1, n_2) = \frac{1}{(2\pi)^2} \iint_{-\pi}^{\pi} H_{id}(\omega_1, \omega_2) e^{j\omega_1 n_1} e^{j\omega_2 n_2} d\omega_1 d\omega_2 \quad (7)$$

Eş. 6’da verilen eşitliğin iki boyutlu z-dönüşümü alındığında Eş. 4’deki transfer fonksiyonu elde edilir. Böylelikle, gerekli iki boyutlu sayısal süzgeç tasarlanmış olur. İki boyutlu bir sayısal süzgecin tipini belirleyecek süzgeç genlik yanıtı, M(ω<sub>1</sub>, ω<sub>2</sub>), Eş. 5’te tanımlanan süzgecin frekans yanıtından, H(ω<sub>1</sub>, ω<sub>2</sub>), bulunur ve Eş. 8’deki gibi ifade edilir.

$$M(\omega_1, \omega_2) = |H(\omega_1, \omega_2)| \quad (8)$$

Bu çalışmada imge iyileştirme için iki boyutlu alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeçler kullanılacağı için bu süzgeçlerin tasarımında kullanılacak ideal iki boyutlu süzgeçlerin karakteristikleri aşağıda verilmiştir. İdeal iki boyutlu alçak geçiren sayısal süzgecin genlik yanıtı Eş. 9’da tanımlandığı gibidir.

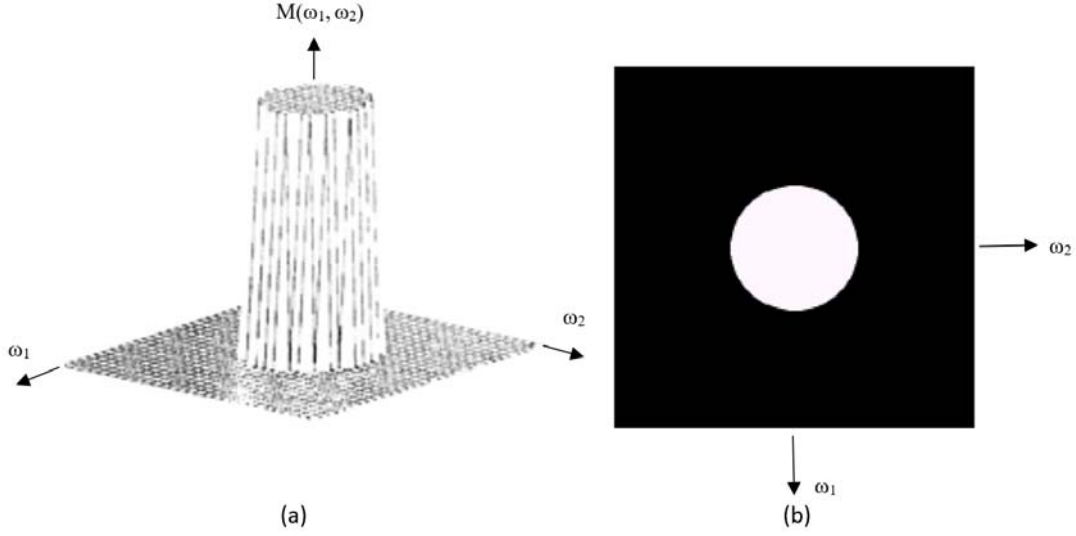
$$M(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 1 & \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2} \leq \omega_c \\ 0 & \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2} > \omega_c \end{cases} \quad (9)$$

Burada ω<sub>c</sub> geçirme bandı ve durdurma bandını ayıran geçiş frekansı olup, kesim frekansı olarak isimlendirilir. Eş. 9’a ait grafik Şekil 4’te verilmiştir. Sağdaki şekilden görüldüğü üzere, beyaz renkle ifade edilen geçirme bandı bir daire oluşturmaktadır. İşte bu dairenin yarıçapı ise ω<sub>c</sub> kesim frekansını vermektedir. İdeal iki boyutlu yüksek geçiren sayısal süzgecin genlik yanıtı ise Eş. 10’da tanımlanmıştır. Bu eşitlikten görüldüğü gibi, alçak geçiren süzgecin yaptığı işlemin tersini yapmaktadır. Bu eşitliğe ait grafik Şekil 5’te verilmiş olup, sağdaki şekilde geçirme bandı siyah renkle gösterilen dairedir.

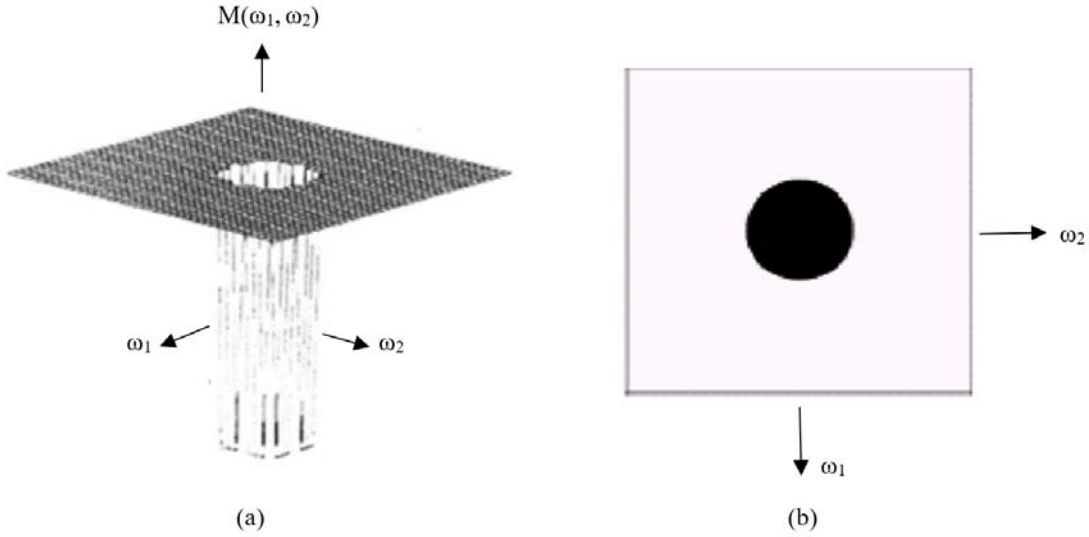
$$M(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 0 & \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2} \leq \omega_c \\ 1 & \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2} > \omega_c \end{cases} \quad (10)$$

### 3. BENZEŞİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Bu bölümde benzeşim analizi için kullanılan yöntem ve imgeler tanıtıldıktan sonra önerilen yöntemle tasarlanan iki boyutlu alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeçlerin imge yumuşatma ve keskinleştirme uygulamalarında kullanımına yönelik örnekler sunulacaktır.



**Şekil 4.** İdeal iki boyutlu alçak geçiren süzgecin (a) üç boyutlu genlik yanıtı ve (b) onun resimsel genlik yanıtı gösterimi (Siyah renk = 0, beyaz renk = 1) ((a) Three-dimensional amplitude response of the ideal two-dimensional low-pass filter and (b) its pictorial amplitude response representation (Black color = 0, white color = 1))



**Şekil 5.** İdeal iki boyutlu yüksek geçiren süzgecin a) üç boyutlu genlik yanıtı ve b) onun resimsel genlik yanıtı gösterimi ((a) Three-dimensional amplitude response of the ideal two-dimensional high-pass filter and (b) its pictorial amplitude response representation)

### 3.1. İmge İyileştirme için Benzeşim Yöntemi (Simulation Method for Image Enhancement)

Kısım 3.2. ve 3.3.'te verilen benzeşim sonuçları, Şekil 6'da gösterilen frekans bölgesinde süzgeçleme yöntemiyle elde edilmiştir. Bu yöntem bir imgenin Fourier dönüşümünün iki boyutlu bir sayısal süzgeçle değiştirilip daha sonra ters Fourier dönüşümünün alınarak işlenmiş bir imge elde edilmesinden oluşur. İlk aşama olarak  $N_1 \times N_2$  sayısal boyutlu  $x(n_1, n_2)$  imgesinin iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü Eş. 11 ile hesaplanır.

$$X(\omega_1, \omega_2) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{N_2-1} x(n_1, n_2) e^{-j\left(\frac{\omega_1 n_1}{N_1} + \frac{\omega_2 n_2}{N_2}\right)} \quad (11)$$

Bu eşitlikte yer alan ayrık frekans değişkenleri  $\omega_1 = 2\pi f_1$  ve  $\omega_2 = 2\pi f_2$  olup,  $f_1 = 0, 1, 2, \dots, N_1-1$  ve  $f_2 = 0, 1, 2, \dots, N_2-1$  aralığındadır.

İkinci aşama olarak öncelikle Eş. 3 ile tanımlanan  $N \times N$  uzunluklu iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi kullanarak Eş. 6 ile tanımlanan  $N \times N$  boyutlu süzgeç dürtü yanıtı bulunur. Bu dürtü yanıtının  $N_1 \times N_2$  boyutlu iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü alınarak Eş. 5 ile tanımlanan frekans yanıtı bulunduktan sonra Eş. 8 ile tanımlanan  $N_1 \times N_2$  boyutlu sayısal süzgecin genlik yanıtı,  $M(\omega_1, \omega_2)$ , bulunur.  $N_1 \times N_2$  boyutlu sayısal süzgecin genlik yanıtı ile Eş. 11 ile tanımlanan  $N_1 \times N_2$  boyutlu orijinal imgenin spektrumu

kullanarak süzgeçlenmiş imgenin spektrumu Eş. 12'deki gibi elde edilir.

$$Y(\omega_1, \omega_2) = M(\omega_1, \omega_2)X(\omega_1, \omega_2) \quad (12)$$

Son aşama olarak Eş. 13 ile tanımlanan iki boyutlu ters ayrık Fourier dönüşümü kullanarak  $N_1 \times N_2$  boyutlu süzgeçlenmiş imge elde edilir. Bu eşitlikte yer alan  $n_1$  ve  $n_2$  uzamsal değişkenleri  $n_1 = 0, 1, 2, \dots, N_1-1$  ve  $n_2 = 0, 1, 2, \dots, N_2-1$  aralığındadır.

$$y(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{f_1=0}^{N_1-1} \sum_{f_2=0}^{N_2-1} Y(2\pi f_1, 2\pi f_2) e^{j2\pi(\frac{f_1 n_1}{N_1} + \frac{f_2 n_2}{N_2})} \quad (13)$$

Bu çalışmadaki iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi tabanlı iki boyutlu sayısal süzgeçleri tasarlamak için ve ayrıca Şekil 6'da aşamalar halinde verilmiş ve Eş. 11, 12 ve 13 ile tanımlanmış uygulama işlemlerini yapmak için Mathworks firmasına ait Matlab 2016a lisanslı yazılım programı [33] kullanılmıştır. Tasarım ve uygulamalarla ilgili işlemlerin yapılması için Matlab programlama dilinde kodlar yazılmıştır.

Bu çalışmada imge üzerindeki etkileri gözlemlenmek amacıyla, imge işleme alanında sıklıkla kullanılan iki test imgesi orijinal imge olarak kullanılmıştır. Şekil 7'de görülen bu imgeler 256x256 piksel çözünürlükte olup, Lenna imgesi düşük seviyeli detaya sahip bir imge iken kameraman imgesi ise daha yüksek seviyeli detaya sahip imge olarak literatürde

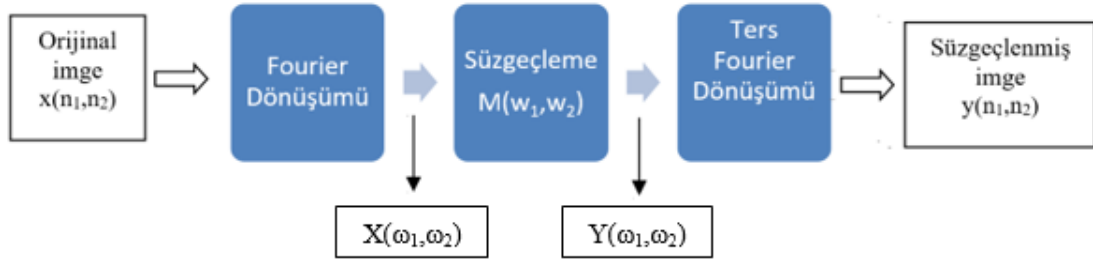
kullanılmaktadır. Süzgeçleme aşamasında ise bu çalışmada önerilen iki boyutlu Kaiser- Hamming penceresi tabanlı tasarlanan iki boyutlu alçak geçiren ve yüksek geçiren süzgeçler kullanılmıştır.

### 3.2. İki Boyutlu Alçak Geçiren Süzgeç Tasarımı için Benzeşim Örnekleri (Simulation Examples for Two Dimensional Lowpass Filter Design)

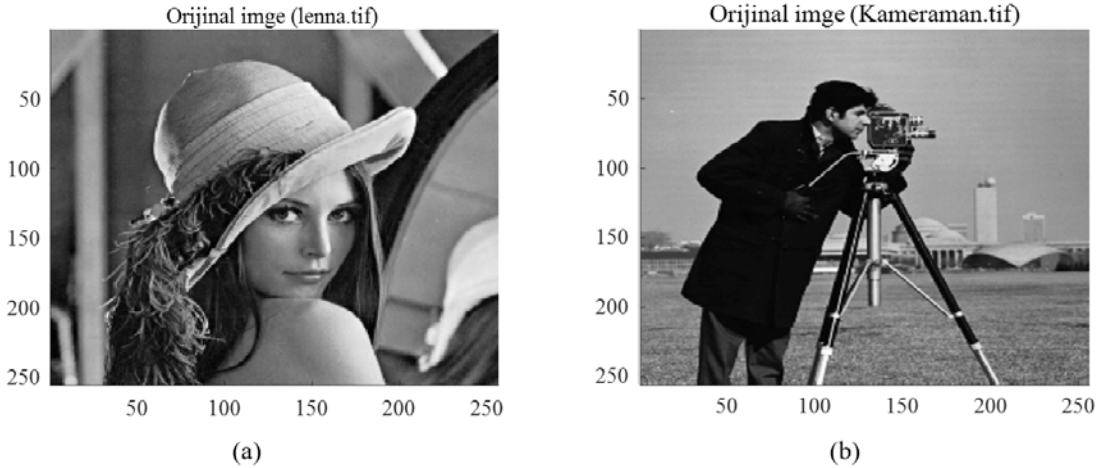
İki bağımsız parametreye sahip iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi parametrelerinin ( $N$  ve  $\alpha_{kh}$ ) imge üzerindeki yumuşatma etkilerini belirleyebilmek için parametrelerden biri sabit tutulup, diğesinde farklı değerler alınarak uygulama yapmak gerekmektedir. İlk iki uygulama örneği pencere (veya süzgeç) uzunluğunun, sonraki iki uygulama ise  $\alpha_{kh}$  parametresinin etkisini gözlemlenmek için verilmiştir.

Şekil 8 ve 9'da iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi kullanarak  $\alpha_{kh} = 3$  için sırasıyla  $N = 21$  ve  $61$  uzunlukları için tasarlanmış  $0,3\pi$  kesme frekanslı (veya yarıçaplı) alçak geçiren süzgeçlerin üç boyutlu genlik yanıtları ve resimsel logaritmik genlik yanıtları ile süzgeçlenmiş imgeler ve bu süzgeçlenmiş imgelerin resimsel logaritmik genlik spektrumları verilmiştir. Genlik yanıtındaki frekans değerleri  $-\pi$  ve  $\pi$  aralığındaki normalize değerler olup,  $\pi$  değeri örnekleme frekansının yarısına karşılık gelmektedir.

Şekil 8 ve 9'da süzgeç genlik yanıtlarında açıkça görüldüğü üzere, süzgeç uzunluğunun artmasıyla iki boyutlu süzgecin geçirme bandı ve durdurma bandı arasındaki geçiş bandı,

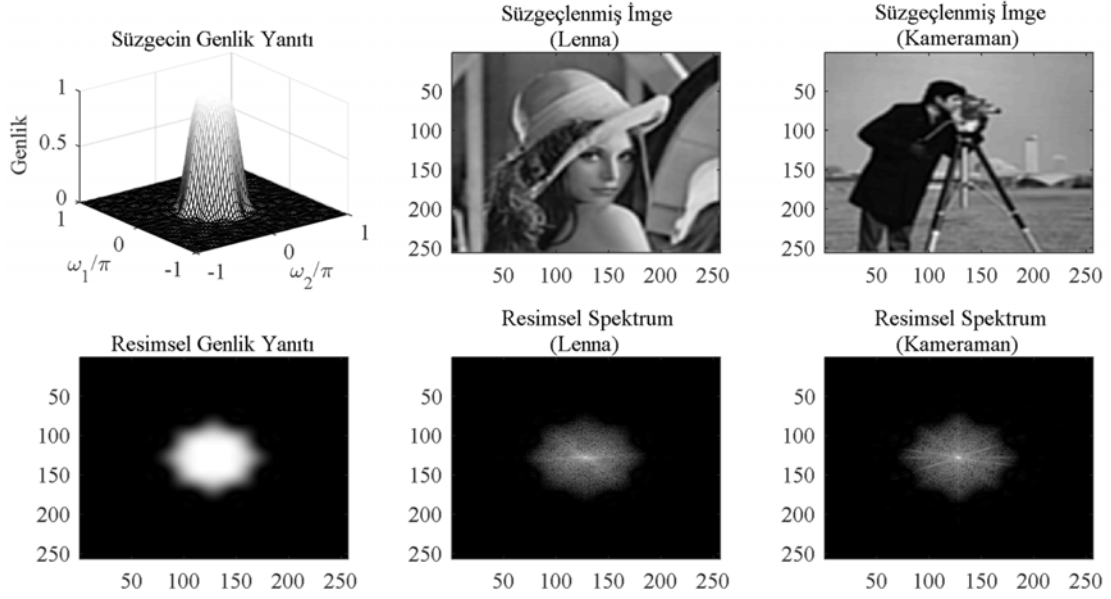


Şekil 6. Frekans bölgesinde süzgeçleme aşamaları (Filtering stages in the frequency domain)

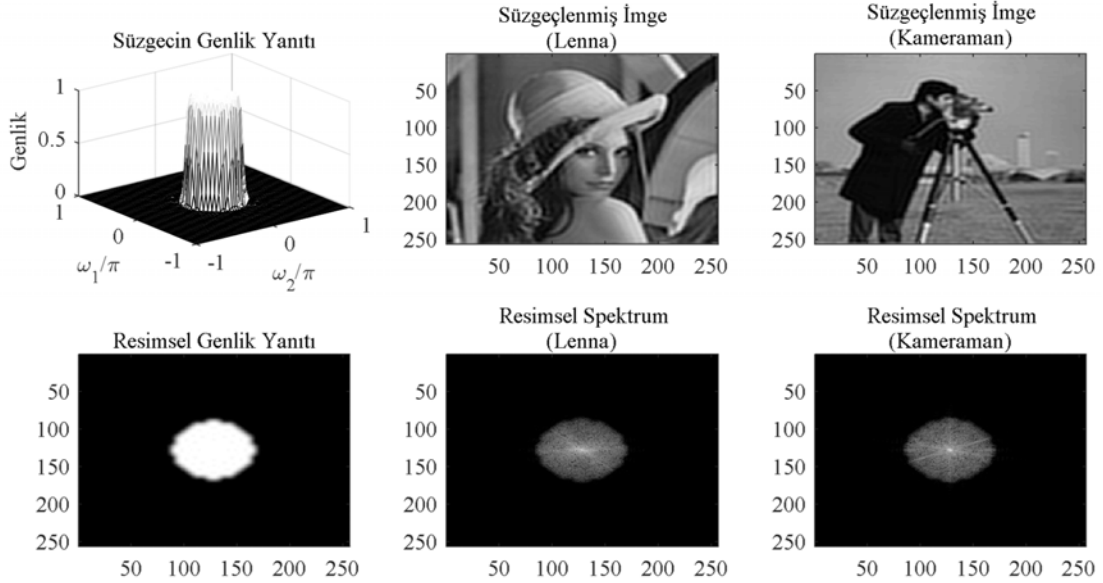


Şekil 7. Orijinal a) Lenna ve b) kameraman imgeleri (Original images of (a) Lenna and (b) cameraman)





**Şekil 8.**  $\alpha_{kh} = 3$ 'te  $N = 21$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu alçak geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional low-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $N = 21$  at  $\alpha_{kh} = 3$  and the filtered images with their pictorial spectrums)



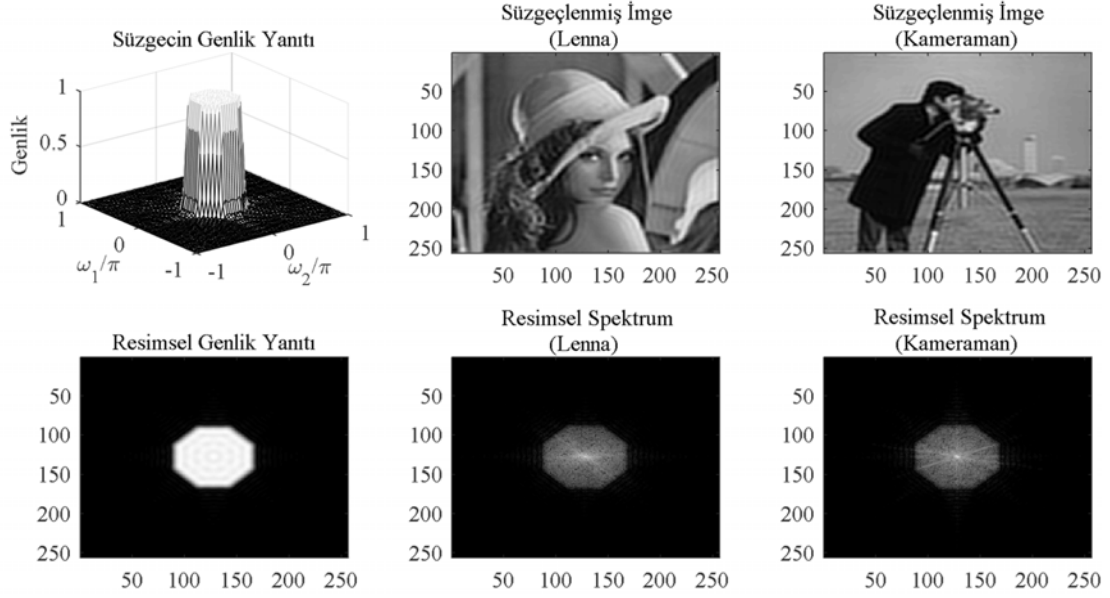
**Şekil 9.**  $\alpha_{kh} = 3$ 'te  $N = 61$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu alçak geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional low-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $N = 61$  at  $\alpha_{kh} = 3$  and the filtered images with their pictorial spectrums)

yani süzgecin geçiş genişliği, azalmıştır. Bu durum Kaiser-Hamming penceresi tabanlı bir boyutlu süzgeçlerdekine benzerdir. Yine Şekil 8 ve 9'da süzgeç uzunluğunun artmasıyla imgelerin yumuşamasının artmakta olduğu görülmüştür. Bu gözlemin olması teorik açıdan şu şekilde açıklanabilir: Süzgeç uzunluğunun artması, süzgeç genlik yanıtında salınım karakteristiğine hemen hemen etki

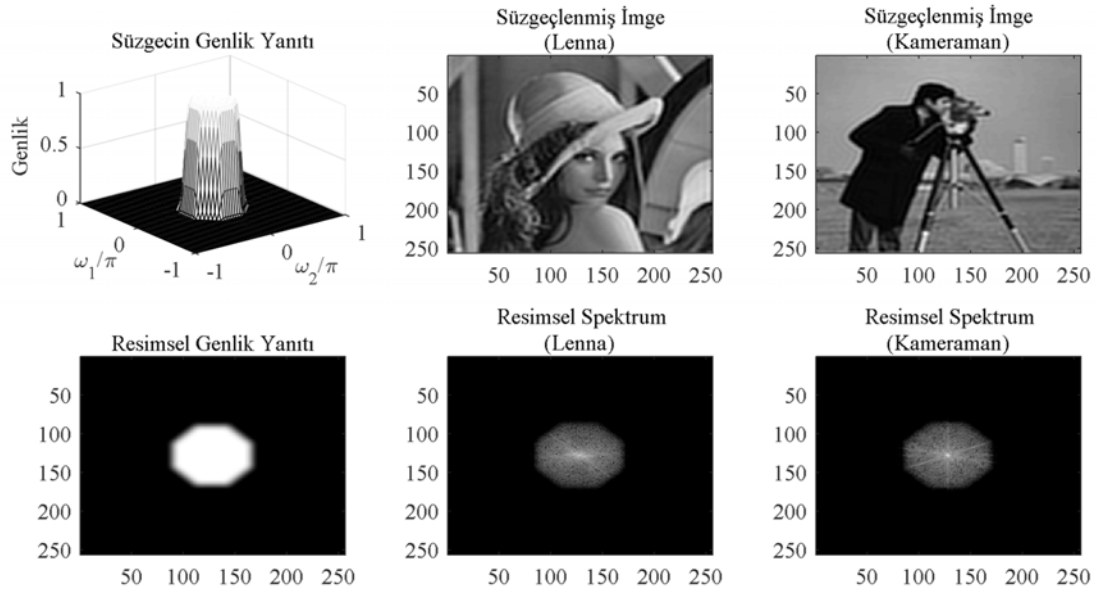
etmezken geçiş genişliğinin azalmasına sebep olmakta, süzgeç geçiş genişliğinin azalması ise hem geçirme hem de durdurma bandının genişlemesine sebep olmaktadır. Bu durum ise süzgeçlenmiş imgelerin spektrumlarından görüleceği üzere, alçak geçiren bir süzgeç için fazladan bazı alçak frekanslı bileşenlerin süzgeçten daha iyi geçirilmesi ve bazı yüksek frekanslı bileşenlerin daha da sönümlenmesi

anlamına gelmektedir. İşte bu sönümlenme, imgede yüksek frekanslı bileşenlere denk gelen imge keskinliklerinin daha da azalarak daha yumuşamış bir imgenin oluşmasına sebep olmaktadır. Şekil 10 ve 11’de iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi kullanarak  $N = 51$  için sırasıyla  $\alpha_{kh} = 0$  ve  $\alpha_{kh} = 5$  değerleri için tasarlanmış  $0,3\pi$  kesme frekanslı alçak geçiren

süzgeçlerin üç boyutlu genlik yanıtları ve resimsel logaritmik genlik yanıtları ile süzgeçlenmiş imgeler ve bu süzgeçlenmiş imgelerin resimsel logaritmik genlik spektrumları verilmiştir. Bu şekillerdeki süzgeç genlik yanıtlarında açıkça görüldüğü üzere, sabit bir uzunlukta  $\alpha_{kh}$  değerinin artmasıyla süzgecin geçiş genişliği artmış ve



**Şekil 10.**  $N = 51$ 'de  $\alpha_{kh} = 0$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu alçak geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional low-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $\alpha_{kh} = 0$  at  $N = 51$  and the filtered images with their pictorial spectrums)



**Şekil 11.**  $N = 51$ 'de  $\alpha_{kh} = 5$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu alçak geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional low-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $\alpha_{kh} = 5$  at  $N = 51$  and the filtered images with their pictorial spectrums)

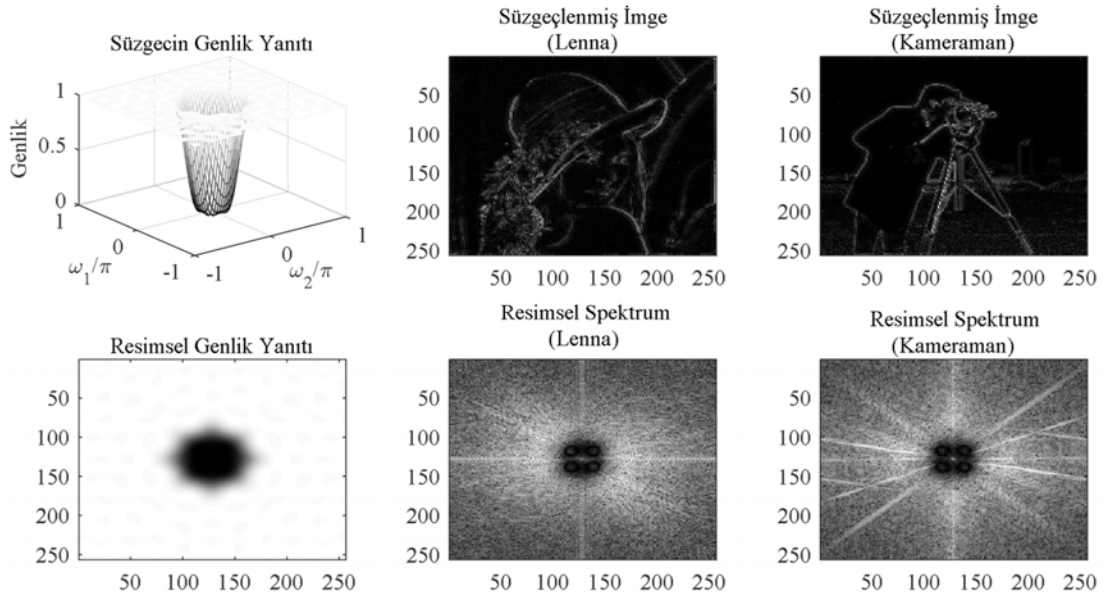
ayrıca hem geçirme bandında hem de durdurma bandında istenmeyen salınımların daha da azaldığı görülmüştür. Bu durum Kaiser-Hamming penceresi tabanlı bir boyutlu süzgeçlerde de aynıdır. Yine aynı şekillerde  $\alpha_{kh}$  değerinin artmasıyla imgelerin yumuşamasının azalmakta olduğu görülmüştür. Bu gözlemin nedeni şu şekilde açıklanabilir:  $\alpha_{kh}$  değerinin artması, süzgeç genlik yanıtında hem geçirme bandında hem de durdurma bandında daha küçük salınımlara sahip bir karakteristiğe ve ayrıca geçiş genişliğinin artmasına sebep olur. Dolayısıyla geçirme bandında daha küçük bir salınım ise daha iyi bir geçirme bandı zayıflatmasına, bu ise alçak geçiren bir süzgeç için düşük frekanslı bileşenlerin olduğundan daha az sönümlenmesi anlamına gelir. Ayrıca süzgeç geçiş genişliğinin artması ise hem geçirme bandının hem de durdurma bandının daralmasına sebep olur. Bu durum ise alçak geçiren bir süzgeç için bazı yüksek frekanslı bileşenlerin daha az sönümlenmesi anlamına gelir. Bu nedenle bir imgede alçak frekanslı bileşenlerin iyileştirilmesi ve durdurma bandındaki daraldan dolayı bazı yüksek frekanslı bileşenlerin daha az sönümlenmesi sonucu, bir imgede yüksek frekanslı bileşenlere denk gelen imge keskinlikleri daha da artarak daha az yumuşamış bir imgenin oluşmasına sebep olmaktadır.

### 3.3. İki Boyutlu Yüksek Geçiren Süzgeç Tasarımı için Benzeşim Örnekleri (Simulation Examples for Two Dimensional Highpass Filter Design)

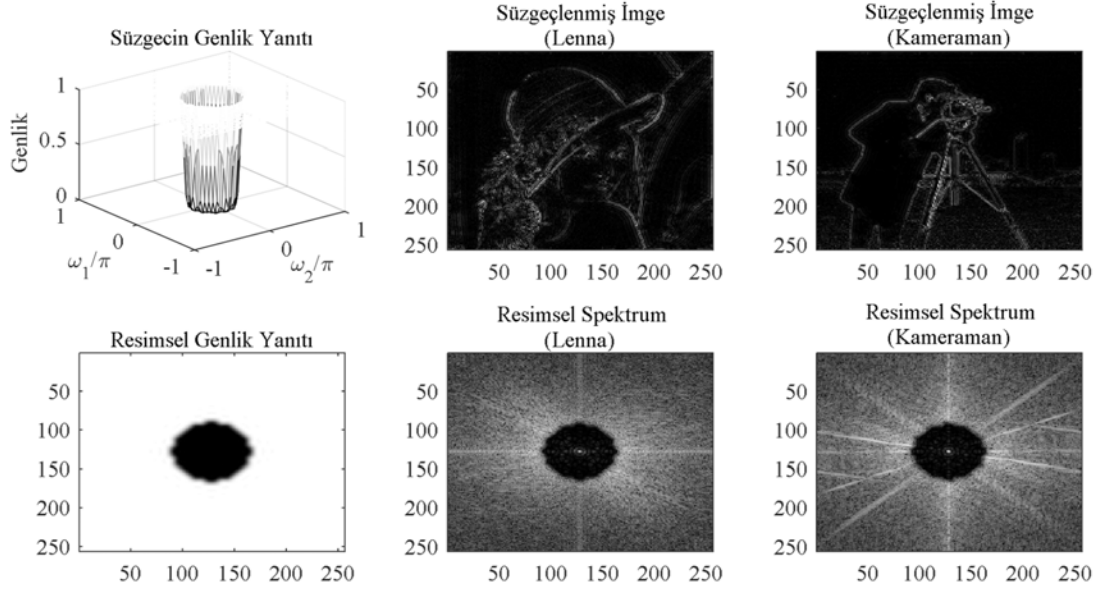
Bu kısımda önerilen iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi ile tasarlanmış iki boyutlu yüksek geçiren süzgeçlerin Lenna ve kameraman imgeleri üzerindeki etkilerini dört uygulama örneği üzerinden inceleyerek N ve  $\alpha_{kh}$  parametrelerinin imge keskinleştirme üzerindeki etkileri belirlenecektir.

Şekil 12 ve 13'te iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi kullanarak  $\alpha_{kh} = 3$  için sırasıyla N = 21 ve 61 uzunlukları için tasarlanmış  $0,3\pi$  kesme frekanslı yüksek geçiren süzgeçlerin üç boyutlu genlik yanıtları ve resimsel logaritmik genlik yanıtları ile süzgeçlenmiş imgeler ve bu süzgeçlenmiş imgelerin resimsel logaritmik genlik spektrumları verilmiştir. Bu şekillerdeki süzgeç genlik yanıtlarında açıkça görüldüğü üzere, süzgeç uzunluğunun artmasıyla süzgecin geçiş genişliği azalmıştır. Bu durum Kaiser-Hamming penceresi tabanlı bir boyutlu yüksek geçiren süzgeçlerdekine benzerdir. Yine aynı şekillerde görüleceği üzere, N uzunluğunun artmasıyla imgedeki keskinleştirmenin artmakta olduğu sonucuna varılmıştır. Bu gözlemin nedeni şu şekilde açıklanabilir: Süzgeç uzunluğunun artması, süzgeç geçiş genişliğinin azalmasına, bu azalma ise hem geçirme hem de durdurma bandının genişlemesine sebep olmaktadır. Bu durum ise yüksek geçiren bir süzgeç için fazladan bazı yüksek frekanslı bileşenlerin geçirme bandına girerek daha az sönümlenmesi anlamına gelmektedir. İşte bu daha az sönümlenme, imgede yüksek frekanslı bileşenlere denk gelen imge keskinliklerinin daha da artarak daha keskinleşmiş bir imgenin oluşmasına sebep olmaktadır.

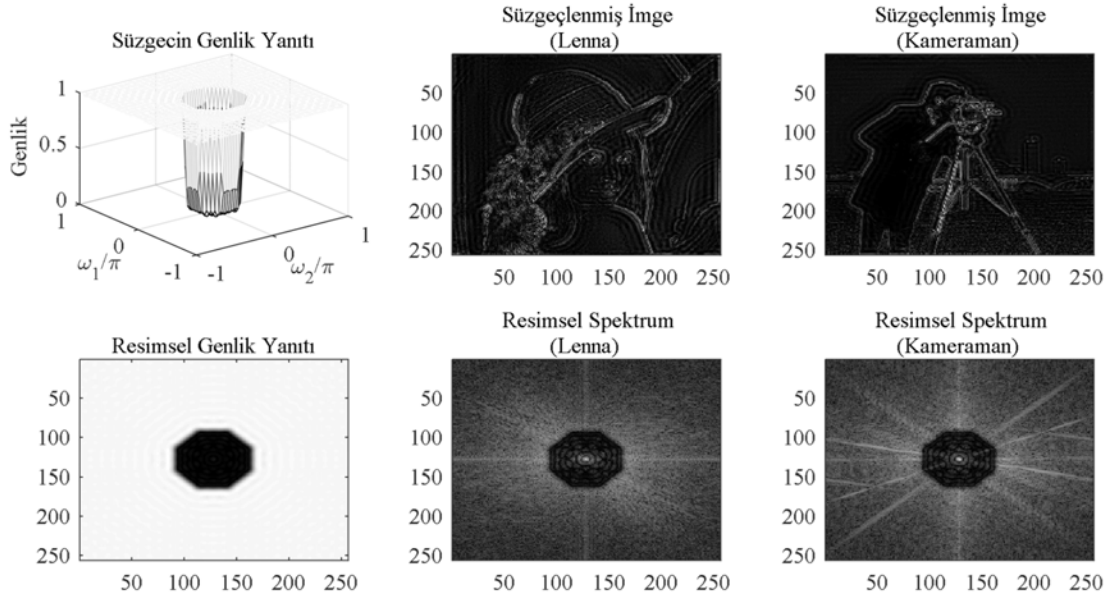
Şekil 14 ve 15'te iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi kullanarak N = 51 için sırasıyla  $\alpha_{kh} = 0$  ve  $\alpha_{kh} = 5$  değerleri için tasarlanmış  $0,3\pi$  kesme frekanslı yüksek geçiren süzgeçlerin üç boyutlu genlik yanıtları ve iki boyutlu logaritmik genlik yanıtları ile süzgeçlenmiş imgeler ve bu süzgeçlenmiş imgelerin iki boyutlu genlik spektrumları verilmiştir. Bu şekillerdeki süzgeç genlik yanıtlarında açıkça görüldüğü üzere, sabit bir uzunlukta  $\alpha_{kh}$  değerinin artmasıyla süzgecin geçiş genişliği artmış ve ayrıca hem geçirme bandında hem de durdurma bandında istenmeyen



**Şekil 12.**  $\alpha_{kh} = 3$ 'te N = 21 için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu yüksek geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional high-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0,3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for N = 21 at  $\alpha_{kh} = 3$  and the filtered images with their pictorial spectrums)



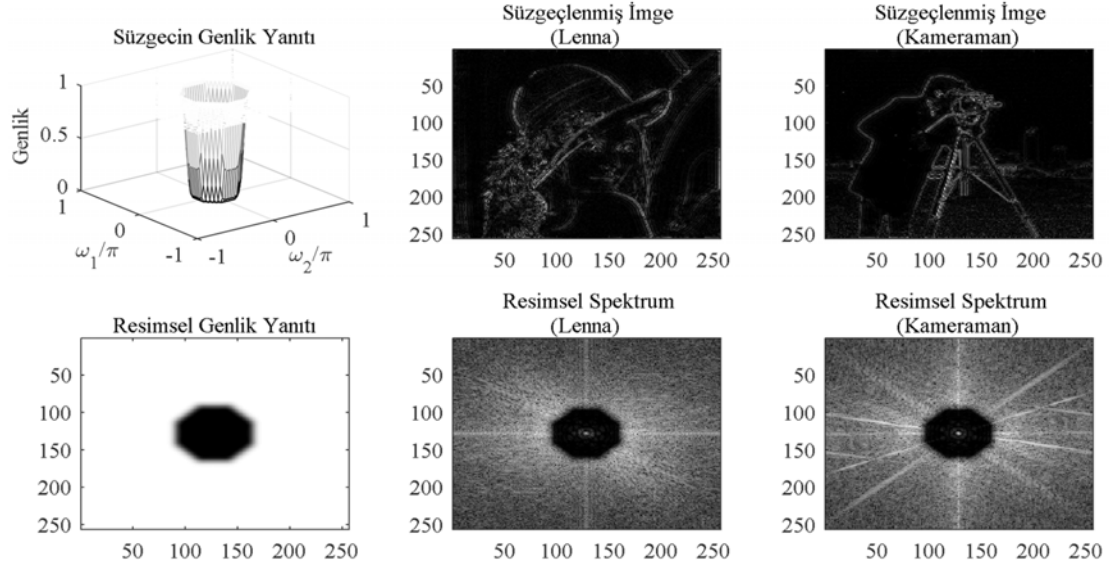
**Şekil 13.**  $\alpha_{kh} = 3$ 'te  $N = 61$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu yüksek geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional high-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $N = 61$  at  $\alpha_{kh} = 3$  and the filtered images with their pictorial spectrums)



**Şekil 14.**  $N = 51$ 'de  $\alpha_{kh} = 0$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu yüksek geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional high-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $\alpha_{kh} = 0$  at  $N = 51$  and the filtered images with their pictorial spectrums)

salınımların daha da azaldığı görülmüştür. Bu durum Kaiser-Hamming penceresi tabanlı bir boyutlu yüksek geçiren süzgeçlerdekine benzerdir. Yine aynı şekillerde  $\alpha_{kh}$  değerinin artmasıyla imgelerin keskinleşmesinin azalmakta olduğu görülmüştür. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir:  $\alpha_{kh}$  değerinin artması, süzgeç genlik yanıtında hem geçirme

bandında hem de durdurma bandında daha küçük salınımlara sahip bir karakteristiğe ve ayrıca geçiş genişliğinin artmasına sebep olmaktadır. Süzgeç geçiş genişliğinin artması ise hem geçirme bandının hem de durdurma bandının daralmasına sebep olur. Bu durum ise yüksek geçiren bir süzgeç için bazı yüksek frekanslı bileşenlerin daha fazla sönümlenmesi



**Şekil 15.**  $N = 51$ 'de  $\alpha_{kh} = 5$  için Kaiser-Hamming penceresi kullanarak tasarlanmış  $\omega_c = 0,3\pi$  kesim frekanslı iki boyutlu yüksek geçiren süzgecin genlik yanıtı ve resimsel genlik yanıtı ile süzgeçlenmiş imgeler ve onların resimsel spektrumları (Amplitude response and its pictorial amplitude response of the two-dimensional high-pass filter, having a cut-off frequency of  $\omega_c = 0.3\pi$ , designed using the Kaiser-Hamming window for  $\alpha_{kh} = 5$  at  $N = 51$  and the filtered images with their pictorial spectrums)

anlamına gelir. Bu nedenle bir imgede yüksek frekanslı bileşenlerin daha fazla sönümlenmesi sonucu, bir imgede yüksek frekanslı bileşenlere denk gelen imge keskinlikleri daha da azalarak daha az keskinleşmiş bir imgenin oluşmasına sebep olmaktadır.

#### 4. SİMGELER (SYMBOLS)

- $\alpha_{kh}$  : Kaiser-Hamming bağımsız biçim parametresi
- $\omega_c$  : İki boyutlu süzgecin kesim frekansı
- $\omega_1, \omega_2$  : rad/s cinsinden iki boyutlu uzayda ayrık frekans değişkenleri
- $f_1, f_2$  : Hz cinsinden iki boyutlu uzayda ayrık frekans değişkenleri
- $h(n_1, n_2)$  : İki boyutlu sayısal süzgecin dürtü yanıtı
- $h_{id}(n_1, n_2)$  : İdeal iki boyutlu sayısal süzgecin dürtü yanıtı
- $H(z_1, z_2)$  : İki boyutlu sayısal süzgecin transfer fonksiyonu
- $H(\omega_1, \omega_2)$  : İki boyutlu sayısal süzgecin frekans yanıtı
- $H_{id}(\omega_1, \omega_2)$  : İdeal iki boyutlu sayısal süzgecin frekans yanıtı
- $I_0(.)$  : Sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonu
- $M(\omega_1, \omega_2)$  : İki boyutlu sayısal süzgecin genlik yanıtı
- $n$  : Bir boyutlu uzayda ayrık zaman değişkeni
- $n_1, n_2$  : İki boyutlu uzayda ayrık zaman/konum değişkenleri
- $N$  : Pencere uzunluğu
- $N_1$  : İmge satır sayısı
- $N_2$  : İmge sütun sayısı
- $w(n)$  : Bir boyutlu pencere fonksiyonu
- $w_{kh}(n)$  : Bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresi fonksiyonu
- $w(n_1, n_2)$  : İki boyutlu pencere fonksiyonu
- $w_{kh}(n_1, n_2)$  : İki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi fonksiyonu

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, Huang dönüşüm yöntemi kullanarak literatürde var olan bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresinden yeni iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresi türetilmiş ve bu pencereden yeni iki boyutlu dairesel simetrik FIR sayısal süzgeçler tasarlanmıştır. Bağımsız iki parametreye ( $N$  ve  $\alpha_{kh}$ ) sahip pencereyle tasarlanan süzgeçler hem alçak geçiren hem de yüksek geçiren tipte süzgeçler olup, her bir tip için farklı  $N$  ve  $\alpha_{kh}$  değerlerinde dörder sayısal süzgeç tasarlanmıştır. Ayrıca tasarlanan bu süzgeçler  $256 \times 256$  çözünürlüğünde farklı seviyeli detaylara sahip Lenna ve kameraman imgelerine uygulanarak önerilen yöntemdeki bağımsız iki parametrenin imge üzerindeki yumuşatma ve keskinleştirme etkileri incelenmiştir. Tasarlanan sekiz farklı sayısal süzgecin iki imge üzerindeki etkilerinin incelendiği benzeşim örneklerinden şu sonuçlar elde edilmiştir: Alçak geçiren bir süzgeç ile imge üzerinde yumuşama işlemleri yapılabilir ve  $N$  uzunluğunun artmasıyla imgedeki yumuşamanın arttığı ve  $\alpha_{kh}$  değerinin artmasıyla ise imgedeki yumuşamanın azaldığı görülmüştür. Yani, yumuşama seviyesi önerilen yöntemdeki  $N$  parametresi ile doğru orantılı olup  $\alpha_{kh}$  parametresi ile ters orantılı özelliğe sahiptir. Bunun yanı sıra yüksek geçiren bir süzgeç ile imge üzerinde keskinleşme işlemleri yapılabilir ve  $N$  uzunluğunun artmasıyla imgedeki keskinleşmenin arttığı ve  $\alpha_{kh}$  değerinin artmasıyla ise imgedeki keskinleşmenin azaldığı bulunmuştur. Yani, keskinleşme seviyesi önerilen yöntemdeki  $N$  parametresi ile doğru orantılı olup  $\alpha_{kh}$  parametresi ile ters orantılı özelliğe sahiptir.

Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresine ait  $N$  ve  $\alpha_{kh}$  parametreleri için uygun

değerlerin seçilmesiyle tasarlanacak iki boyutlu sayısal süzgeçler ile imge üzerinde istenilen seviyede yumuşatma veya keskinleştirme mümkün olacaktır. Huang dönüşümünün özelliğinden dolayı bir boyutlu Kaiser-Hamming penceresinin  $N$  ve  $\alpha_{kh}$  parametresi için süzgeç tasarımında iyi sonuçlar verdiği  $21 \leq N \leq 151$  ve  $0 \leq \alpha_{kh} \leq 7$  aralıkları [29] iki boyutlu Kaiser-Hamming penceresinin parametrelerinin uygun değer seçiminde de kullanılabilir.

İmge onarma gibi uygulamalar için nesnel değerlendirmeler yapılabilirken, bu çalışmanın konusu olan imge iyileştirmede genelde öznel değerlendirme yapılmaktadır. Bu yüzden imge yumuşatma ve keskinleştirme için sonucun tatmin edici olup olmadığı, uygulamada istenen öznel isteğe bağlı olacaktır. Henüz öznel değerlendirmelere karşılık gelebilecek uygun nesnel değerlendirme çalışmalarının bulunmaması nedeniyle, bu çalışmada literatürde bulunan diğer tasarım yöntemleriyle sayısal kıyaslama yapılamamıştır. Buna karşılık önerilen tasarım yöntemi, frekans alanındaki diğer iki boyutlu tasarım yöntemleriyle kıyaslandığında çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu söylenebilir. Hesap karmaşıklığının azlığı ve optimal olmayan tasarım sonuçları, sırasıyla önerilen yöntemin dayandığı pencereleme işleminin doğasından kaynaklanan avantaj ve dezavantajdır. Bununla birlikte önerilen yöntemin doğasından, yani seçilen pencereden kaynaklanan avantajlar ise diğer pencerelere göre daha iyi süzgeçleme performansı gösterebilme özelliği ile iki bağımsız parametreye sahip olmasından kaynaklı elastik olma özelliğidir. Seçilen pencerenin doğasından kaynaklanan dezavantaj için ise iki boyutlu süzgeç karakteristiğine göre pencere parametrelerinin ne olması gerektiğini kestirilebilecek kestirim denklemlerinin olmaması söylenebilir, fakat bu eksiklik alanda ortaya çıkacak nesnel bir değerlendirme aracının var olması durumunda önemli olabilecek bir durumdur.

Bu çalışmada önerilen yöntem, iki boyutlu bant geçiren ve bant durdurucu süzgeç tiplerinin tasarımı ve uygulamaları için de uygulanabilir. Ayrıca, tüm bu iki boyutlu süzgeçler imge iyileştirme dışında imge onarma alanındaki gürültü giderme uygulamalarında da kullanılabilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Gonzalez R.C. ve Woods R.E., Sayısal Görüntü İşleme, 3. Baskıdan Çeviri, Çeviri Editörü: Telatar, Z., Palme Yayıncılık, Ankara, 2014.
- Makandar A. ve Halalli B., Image enhancement techniques using highpass and lowpass filters, *Int. J. Comput. Appl.*, 14, 12-15, 2015.
- Lim J.S., Two-Dimensional Signal and Image Processing, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1989.
- Lu W.S. ve Antoniou A., Two-Dimensional Digital Filters, Marcel Dekker, New York, 1992.
- Koçkanat S. ve Karaboğa N., The design approaches of two-dimensional digital filters based on metaheuristic optimization algorithms: a review of the literature, *Artif. Intell. Rev.*, 44, 265–287, 2015.
- Saramaki T., Computationally efficient circularly symmetric two-dimensional FIR filters, *IEE Proc.: Electron. Circuits Syst.*, 131 (2), 46-50, 1984.
- Dumitrescu B., Trigonometric polynomials positive on frequency domains and applications to 2-D FIR filter design, *IEEE Trans. Signal Process.*, 54, 4282-4292, 2006.
- Lai X. ve Cheng Y., A sequential constrained least-square approach to minimax design of 2-D FIR filters, *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, 54, 994-998, 2007.
- Zhou Q., Zha S., Zhang J., Li X., A Unified Approach for Optimal Design of 2-D FIR Filters Using Second-order Cone Programming, 6<sup>th</sup> Int. Conf. on WiCOM, Chengdu-China 1-3, 23-25 Eylül, 2010.
- Zhao R. ve Lai X., A fast matrix iterative technique for the WLS design of 2-D quadrantly symmetric FIR filters, *Multidimension. Syst. Signal Process.*, 22 (4), 303-317, 2011.
- Zhao R. ve Lai X., Fast two-dimensional weighted least squares techniques for the design of two-dimensional finite impulse response filters, *J. Control Theory Appl.*, 11 (2), 141-146, 2013.
- Zhao R. ve Lai X., Efficient 2-D based algorithms for WLS design of 2-D FIR filters with arbitrary weighting functions, *Multidimension. Syst. Signal Process.*, 24 (3), 417-434, 2013.
- Wang H., A new separable two-dimensional finite impulse response filter design with sparse coefficients, *IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap.*, 62, 2864 – 2873, 2015.
- Zhao R., Lai X., Lin Z., Weighted squares design of 2-D FIR filters using a matrix-based generalized conjugate gradient method, *J. Franklin Inst.*, 353 (8), 1759-1780, 2016.
- McClellan J.H., The Design of Two-Dimensional Digital Filters by Transformations, 7th Ann. Princeton Conf. Inf. Sci., Princeton-USA, 247–251, 22-23 Mart, 1973.
- Mersereau R.M., Mecklenbrauker W.F.G., Quatieri T.F., McClellan transformations for two-dimensional digital filtering: I-Design, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, 23 (7), 405-414, 1976.
- Karam L.J., Two-dimensional FIR filter design by transformation, *IEEE Trans. Signal Process.*, 47 (5), 1474-1478, 1999.
- Shyu J.J., Pei S.C., Huang Y.D., Design of variable two-dimensional FIR digital filters by McClellan transformation, *IEEE Trans. Circuits Syst. I Reg. Papers*, 56 (3), 574-582, 2009.
- Liu J.C. ve Tai Y.L., Design of 2-D wideband circularly symmetric FIR filters by multiplierless high-order transformation, *IEEE Trans. Circuits Syst. I Reg. Papers*, 58 (4), 746-754, 2011.
- Bindima T., Manuel M., Elias E., An Efficient Transformation for Two Dimensional Circularly Symmetric Wideband FIR Filters, 2016 IEEE Region 10

- Conference (TENCON), Singapore, 2838-2841, 22-25 Kasım, 2016.
21. Hu J.V. ve Rabiner L.R., Design techniques for two-dimensional digital filters, *IEEE Trans. Audio Electroacoust.*, 20, 249-257, 1972.
  22. Hu J., Frequency sampling design of two-dimensional finite impulse response digital filters, *Mass. Inst. Tech., Master Tezi*, Boston, 1972.
  23. Ansari R. ve Cetin A.E., Two-Dimensional FIR Filters, Chapter 22 in *The Circuits and Filters Handbook*, Editor: Chen W.K., CRC Press, 1-29, 2009.
  24. Huang T., Two-dimensional windows, *IEEE Trans. Audio and Electroacoustics*, 20, 80-90, 1972.
  25. Speake T. ve Mersereau R., A note on the use of windows for two dimensional FIR filter design, *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, 29, 125-127, 1981.
  26. Kato H. ve Furukawa T., Two-dimensional type-preserving circular windows, *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, 29, 926-928, 1981.
  27. Yu T.H. ve Mitra S.K. A new two-dimensional window, *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process.*, 33, 1058-1061, 1985.
  28. Antoniou A. ve Lu W.S., Design of 2-D nonrecursive filters using window method, *IEE Proc*, 137 (4), 247-250, 1990.
  29. Avci K., Kaiser-Hamming window and its performance analysis for nonrecursive digital filter design, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (4), 823-833, 2014.
  30. Antoniou A., *Digital Signal Processing: Signal, Systems, and Filters*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2005.
  31. Prabhu K.M.M., *Window Functions and Their Applications in Signal Processing*, CRC Press, Boca Raton, 2013.
  32. Dumitrescu B., 2D FIR Filter Design: What Shape is the Best?, 15<sup>th</sup> European Signal Processing Conference, Poznan-Poland, 1024-1027, 3-7 Eylül, 2007.
  33. MATLAB ® 2016. The MathWorks, Massachusetts, USA.

