

# Hava Lazer Tarama Verilerinden Fourier Dönüşümü Kullanılarak Bina Detaylarının Belirlenmesi

F. Karsli <sup>1,\*</sup> and O. Kahya <sup>2</sup>

<sup>1</sup>KTU, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl. 61080 Trabzon – (fkarsli@ktu.edu.tr)

<sup>2</sup>DHMI, Trabzon Hava Limanı, Trabzon - (oguzhankahya@gmail.com)

**Anahtar Kelimeler:** Fourier Dönüşümü, Lazer Tarayıcı, Kent Modelleme, CBS, Bina Çıkarımı.

**ÖZET:**

Hava lazer tarama verilerinden ve görüntülerden objelerin otomatik çıkarımı son yıllarda önemli bir araştırma konusu olmuştur. Yüksek kalitede sayısal arazi ve yüzey modellerinin üretiminde temel uygulamaların ötesinde, lazer tarama verileri iki ve üç boyutlu Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) konularının geniş bir bölümü için güçlü bir kaynak olduğunu ispatlamıştır. Bu konular arasında, üç boyutlu kent modellerinin topografik veri tabanlarının bütünlük bir parçası olarak iki ve üç boyutlu bina modellerinin otomatik üretimi özel bir ilgi alanı olmuştur. Bu çalışmada, Fourier dönüşümünün hava lazer tarama verilerinden üretilen görüntülerden elde edilen binaların belirlenmesi işleminde bir görüntü iyileştirme aracı olarak kullanımı ele alınmıştır. Bu amaçla, seçilen dört filtreleme penceresi ile iyileştirilen görüntülerden binaları belirleme işleminde uzay ve frekans düzlemi filtreleme tekniklerinden yararlanılmıştır. Frekans düzleminde Gaussian ve Wiener filtreleme teknikleri seçilirken, uzay düzleminde Sobel ve Unsharp filtreleme teknikleri seçilmiştir. Ters Fourier dönüşümünden elde edilen yeni görüntülerden kenar belirleme algoritmalarından Canny, Sobel ve Prewitt algoritmaları kullanılarak bina detayları çıkarılmaya çalışılmıştır. Fourier dönüşümü kullanılan frekans düzlemi filtreler, kernel fonksiyonu ve pencere boyutu bakımından uzay düzlemindeki filtreler ile karşılaştırılmıştır. Frekans düzleminde filtreleme işleminin yapılmasının nedeni, genellikle iki tane iki boyutlu Fourier dönüşüm fonksiyonu ile bir filtre kernelinin çarpım işleminin, görüntü düzleminde yapılan katlama işleminden hesap yönünden daha hızlı olmasıdır. Bu durum, özellikle filtre boyutunun arttığı durumlarda söz konusudur. Fourier dönüşüm kullanımının, görüntülerin iyileştirilmesinde ve görüntülerden elde edilen binaların saptanmasında büyük bir avantaja sahip olduğu elde edilen sonuçlarla ortaya konmuştur. Filtre boyutu arttığında, frekans düzleminde filtreleme hesaplama zamanı bakımından uzay düzlemindeki filtrelemeye daha etkilidir. Çalışma sonucunda, Fourier dönüşümünün binaların belirlenmesi ve otomatik olarak çıkarılması konusunda bir görüntü iyileştirme aracı olarak kullanılabilirliği sonucuna ulaşılmaktadır.

**ABSTRACT:**

The automatic extraction of objects from airborne laser scanner data and images has been a topic of research for decades. Beyond its primary application for the generation of high quality digital terrain and surface models, laser scanner data has proven to be a rather powerful source for a wide range of 2D-3D GIS object tasks. Among these tasks, the automatic generation of 2D-3D building models as an integral part of 3D city models of topographical databases has found special interest. This paper presents the Fourier transform as an image enhancement tool for determination of building from the images generated by laser echoed signal (range images). For that purpose, spatial and frequency domain filtering techniques have been utilized for extraction building enhancing the images with selected filtering method. Whilst Gaussian and Wiener filtering method were selected in frequency domain, Sobel and Unsharp were selected for spatial domain. It has been determined the building details from the generated images which were obtained from inverse Fourier transform using edge detectors such as Canny, Sobel and Prewitt. Frequency domain filters using Fourier Transformation were compared with spatial domain filters in the way of kernel function and windows. The reason for doing the filtering in the frequency domain is generally because it is computationally faster to perform two 2D Fourier transforms and a filter multiplies than to perform a convolution in the image (spatial) domain. This is particularly so as the filter size increases. Results showed that the using Fourier Transformation has a great advantage on enhancement of images and detect building from the images. Filtering in the frequency domain is more efficient computationally than spatially domain filtering when the filters are big. The conclusion proved that Fourier transformation can be used as an image enhancement tool to automatically detect and extract buildings.

## 1. GİRİŞ

Hava lazer tarayıcı, arazi üzerindeki noktaların üç boyutlu koordinatlarını elde etmede farklı algılayıcıları bütünlük olarak kullanan yeni bir teknolojidir. Bu sistem algılayıcının konumunu belirlemede hassas GPS araçlarını, algılayıcının davranışını belirlemede INS sistemini ve algılayıcı ile hedef noktalar arasındaki mesafeyi belirlemede ise Lidar lazer huzmelerini bir arada kullanır. Bu sistem aktif bir sistemdir; çünkü veriler gündüz ve gece süresince toplanabilir. Lidar verileri yüksek doğruluklu olup yoğun verilerdir [6].

Bina detaylarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler; binaların dışındaki objelerin elimine edilmesinde verilerin adım adım sınıflandırılmasını esas almaktadır. Bazı yöntemler, lazer tarama verilerinin yanı sıra hava görüntülerini de kullanırlar [2, 8]. Sınıflandırma işlemi piksel tabanlıdır, fakat bölümlenme işlemi bölgelerin elde edilmesi için bazı işlem safhalarında normal olarak uygulanır. Lazer tarama verilerinin bölümlenmesi konusu [3, 5] de ayrıntılı olarak incelenmiştir. Binaların yeniden saptanması için temel olacak bir güncelleme mevcut ise bina saptama safhasından vazgeçilebilir [1, 2, 7].

Fourier dönüşümü, Fourier veya frekans düzlemindeki bir görüntüyü çözümlemede kullanılan önemli bir görüntü işleme aracıdır. Fourier düzlemindeki görüntüde, her bir nokta uzaysal düzlemdeki görüntüyü içeren belirli bir frekansı temsil eder [4]. Fourier dönüşümü, ya gerçek ve sanal kısım ile ya da büyüklük ve faz ile iki görüntüyü gösterebilen karmaşık yapıda bir sonuç görüntü üretir. Görüntü işlemede çoğunlukla, sadece Fourier dönüşümün büyüklüğü gösterilir ki, bu da uzaysal düzlem görüntünün geometrik

yapısına ait çoğu bilgiyi içerir. Ancak, Fourier görüntüsünün frekans düzlemindeki bazı işlemlerden sonra uzaysal düzleme transfer edilmesi durumunda, Fourier görüntüye ait büyüklük ve faz bilgileri muhafaza edilmelidir. Fourier düzlemindeki görüntü uzaysal düzlemdeki görüntüden çok daha büyük boyuttadır. Bundan dolayı sonuçların yeterli doğrulukta olması için dönüşüm değerleri hesaplanır ve değişen değerler saklanır. İki boyutlu bir görüntünün Fourier dönüşümünü takiben uzaysal düzleme dönmek için ters Fourier dönüşümü uygulanması gerekir. Fourier dönüşümü;

$$F(\omega, \psi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(\omega x + \psi y)} dy dx \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada  $f(x, y)$  orijinal sürekli fonksiyonu,  $F(\omega, \psi)$  ise  $x$  ve  $y$  bileşenlerine karşılık gelen  $\omega$  ve  $\psi$  frekans bileşenlerinden oluşan Fourier fonksiyonudur. Ters Fourier dönüşümü ise;

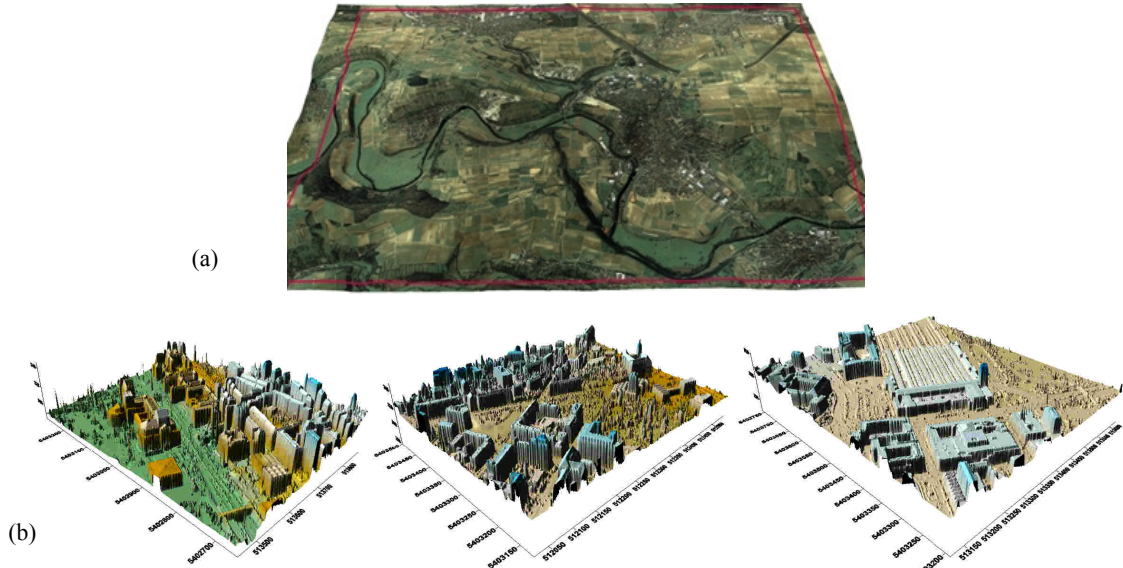
$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega, \psi) e^{j2\pi(\omega x + \psi y)} d\psi d\omega \quad (2)$$

şeklinde yazılır.

Bu çalışmanın amacı, frekans düzlemindeki Lidar verileri ile üretilen iyileştirilmiş görüntülerden Fourier dönüşümü ile bina detaylarının çıkartılmasıdır. Fourier dönüşüm aşamasında, amaç frekans düzleminde görüntünün iyileştirilmesi ve ters Fourier dönüşümü alınarak binaların yeni görüntülerden üretilmesidir. Fourier dönüşümün avantajı, çok hızlı, kolay ve geniş alanda görüntü işleme uygulamalarında (görüntü iyileştirme, analiz, yenileme ve sıkıştırma vb.) kullanılabilir olmasıdır. Özet olarak, çalışmada lazer yansımaya sinyalleri ile üretilen yüksek dereceli görüntülerinden nasıl yararlanılacağı, görüntü iyileştirme için frekans düzlem filtrelemenin nasıl çalıştığı, Fourier dönüşüm kullanılarak yüksek dereceli görüntülerdeki bina detaylarının nasıl saptanacağı ve ortaya çıkarılacağı araştırılmıştır.

## 2. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

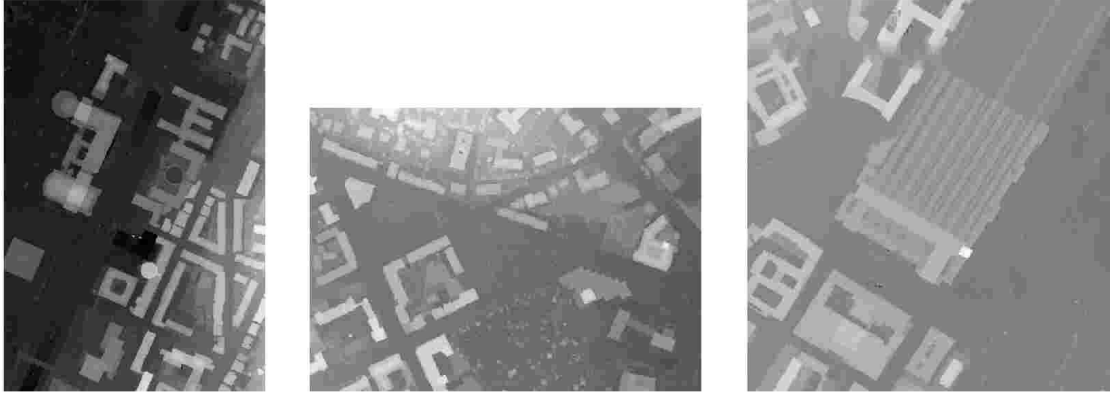
Bu çalışmada Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (ISPRS) III'cü komisyonu tarafından 2000-2004 yılları arasında filtreleme tekniklerinin değerlendirilmesi işleminde kullanılan Stuttgart şehri (Almanya) içeren lazer tarama verileri kullanılmıştır. Lazer tarayıcı üzerine yapılan OEEPE2 projesi çatısı altında Vaihingen/Enz test alanı ve Stuttgart şehrinin Optech ALTM tarayıcısı ile taranmasından elde edilen veriler FOTONOR AS programı ile kullanılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 1. (a) Çalışma alanının ortofoto haritası; (b) 3 boyutlu görüntüler sırasıyla Bölge 2, Bölge 3 ve Bölge 4

Yoğun içeriklerinden (açık alan, bitki örtüsü, bina, yol, demiryolu, nehir, köprü, enerji hattı, su kanalları vb.) dolayı üç farklı bölge/alan seçilmiştir (Tablo 1). Tablo 1, seçilen test bölgelerine ilişkin detay özellikleri ayrıca sunmaktadır. Bölgeler için nokta yoğunlukları sırasıyla  $0.67 \text{ nokta/m}^2$ 'dir (nokta sıklığı 1.0-1.5 m). Surfer 8.0 programıyla nokta bulutlarından üretilen Bölge 2, Bölge 3 ve Bölge 4 test alanlarına ait 3 boyutlu görüntüler ve çalışma alanına ait ortofoto harita Şekil 1'de gösterilmiştir.

Lazer verilerinin hazırlanması aşamasında, arazi üzerindeki objeleri (ağaç, köprü, bina, vb.) temsil etmesinden dolayı ilk lazer yansımaya verileri kullanılmıştır. Öncelikle hava lazer tarama verileri Surfer 8.0 yazılımı yardımıyla Kriging enterpolasyon metodu kullanılarak  $1 \times 1 \text{ m}$  aralıklı grid yapısına dönüştürülmüştür. Daha sonra elde edilen bu görüntüler çalışmanın amacına uygun olarak kullanılmak üzere Matlab yazılımına aktarılmıştır (Şekil 2). Filtreleme, Fourier dönüşümü ile görüntü iyileştirme ve kenar belirleme işlemleri Matlab programı içinde yer alan Görüntü İşleme Modülü ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca değerlendirme yapabilmek amacıyla çeşitli filtreleme ve görüntü iyileştirme teknikleri uygulanmıştır.

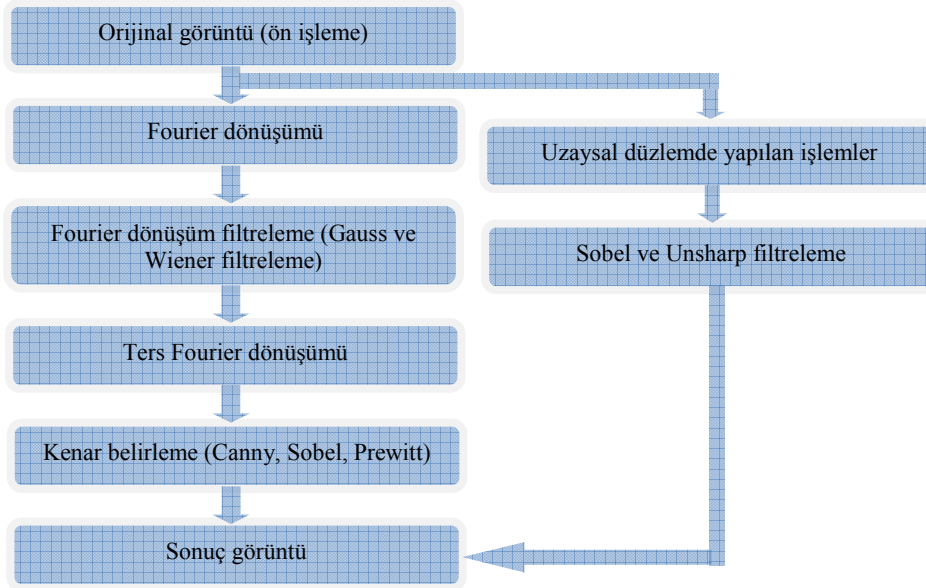


Şekil 2. Bölge 2, Bölge 3 ve Bölge 4' e ait gri düzeyli görüntüler

Bölge	Detayların Özellikleri
Bölge 2	Büyük binalar, düzensiz şekilli binalar, köprü ve tünelli yollar.
Bölge 3	Yoğun binalar ve aralarında kalan yeşil alanlar.
Bölge 4	Tren istasyonu ve az yoğunluklu arazi noktaları.

Tablo 1. Çalışma alanları içerisinde yer alan tanımlayıcı özellikler

### 3. METODOLOJİ



Şekil 3. Çalışmanın akış diyagramı

Bu çalışma Şekil 3'te gösterildiği üzere yedi aşamadan oluşmuştur. Özetle,

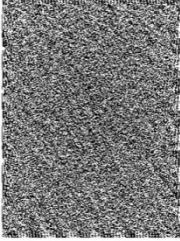
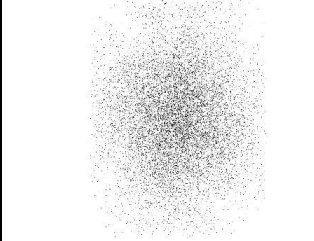
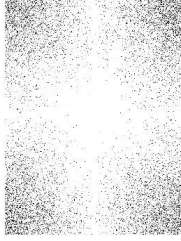
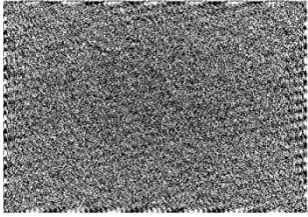
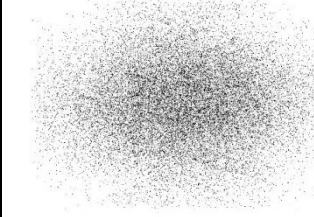
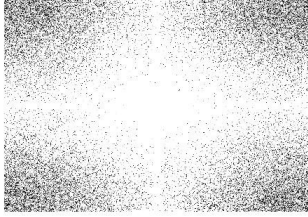
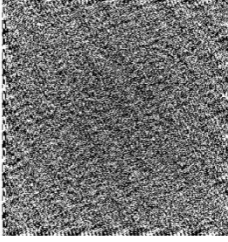
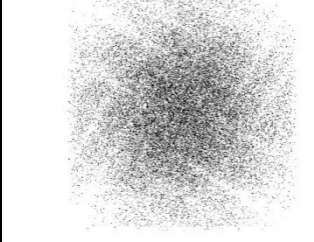
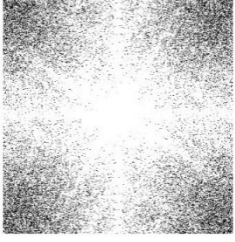
- Ham Lidar verileri Surfer 8.0 yazılımı yardımıyla Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak  $1 \times 1$ m aralıklı grid yapısına dönüştürülür.
- Görüntü iyileştirme ve restorasyonu için orijinal görüntüye Fourier dönüşümü uygulanır. Bu aşamada elde edilen görüntüler karmaşık yapıdadır.
- Frekans düzleminde Gauss ve Wiener filtreleme teknikleri görüntüdeki gürültü etkilerini azaltmak için dönüştürülmüş görüntüye ayrı ayrı uygulanır. Ayrıca, uzaysal düzlemde 2D uzaysal filtreleme (Sharp ve Unsharp) teknikleri orijinal görüntülere uygulanır. Her iki düzlemde (frekans ve uzaysal) elde edilen filtreleme sonuçları karşılaştırılır.
- Yeni görüntüler ters Fourier dönüşümü ile elde edilir.
- Yeni görüntülere ait bina detayları Canny, Sobel ve Prewitt kenar belirleme algoritmaları ile saptanır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılır.

### 4. UYGULAMA

Uygulama için, Fourier dönüşümü ile frekans uzayında iyileştirilen görüntülerden bina detaylarının çıkarılmasının amaçlandığı bu çalışmada seçilen üç farklı özellikteki bölgeye ait Lidar verisinden elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntüler ham lazer verilerinden Surfer 8.0 yazılımı ile oluşturulmuştur.

#### a) Görüntülere Fourier dönüşümünün uygulanması

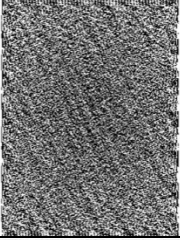
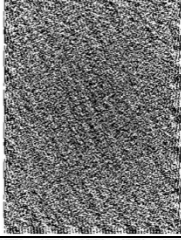
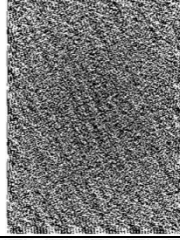
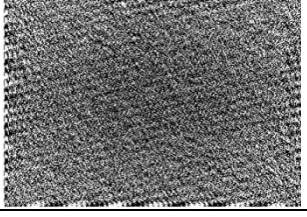
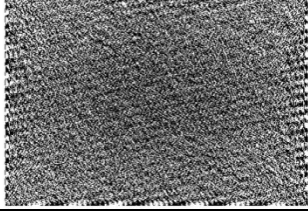
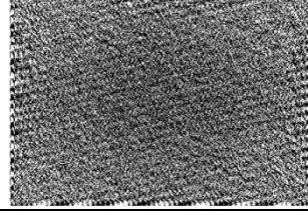
Ham lazer verisi kullanılarak elde edilen görüntüler Fourier dönüşümüne tabi tutulmuş ve şekil 4'de gösterilen Fourier spektruma dönüştürülmüş görüntüler, logaritmik fonksiyon ile görsel olarak iyileştirilmiş spektrum ve Fourier spektrumda merkezleştirilmiş görüntüler elde edilir. Elde edilen bu görüntüler daha sonra ters Fourier dönüşümü ile uzaysak düzleme dönüş için giriş verisi olarak kullanılmaktadır.

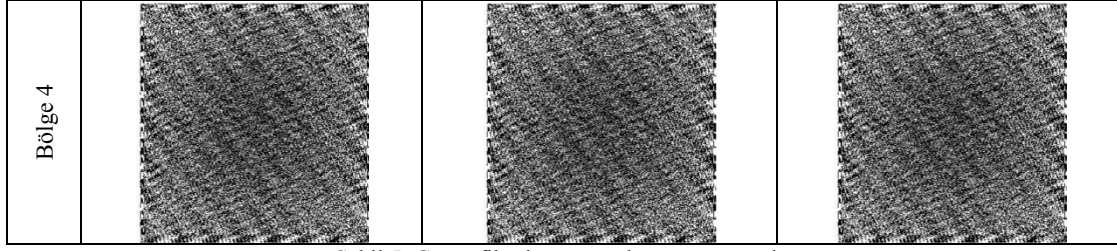
	Fourier Spektrumuna dönüştürülmüş görüntüler	Logaritmik fonksiyon ile görsel olarak iyileştirilmiş spektrum	Fourier Spektrumda merkezleştirilmiş görüntüler
Bölge 2			
Bölge 3			
Bölge 4			

Şekil 4. Fourier dönüşümü uygulanan görüntüler

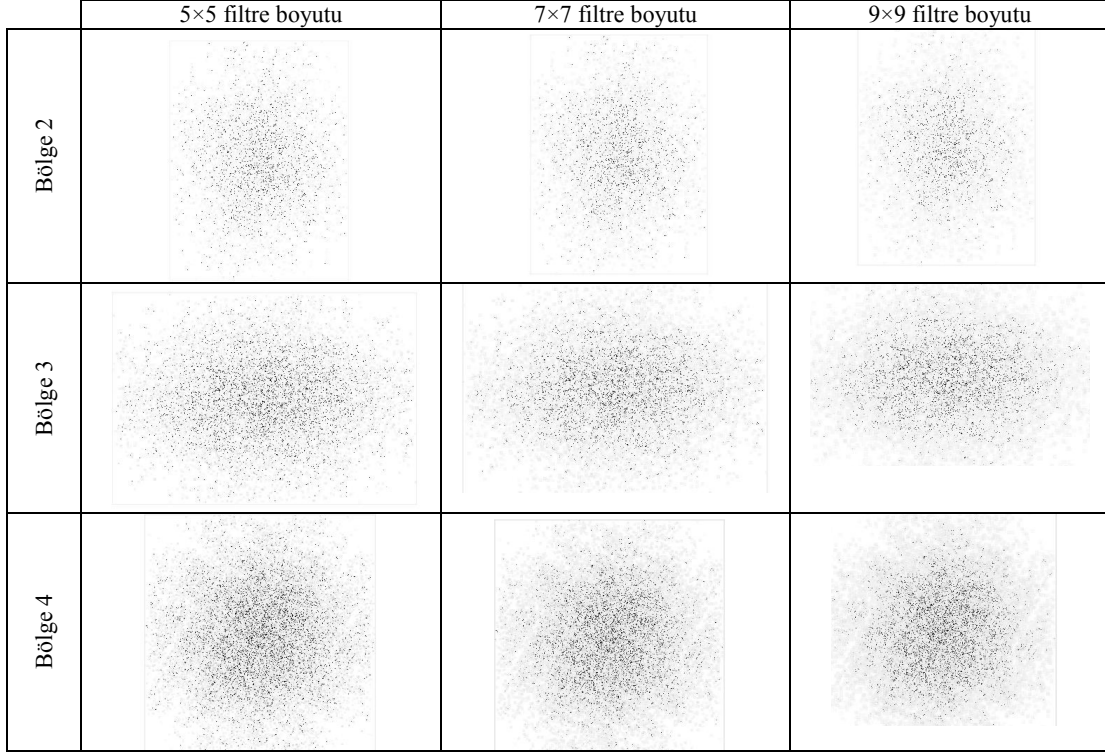
b) Gauss ve Wiener filtreleme tekniklerinin uygulanması

Frekans uzayında dönüşüm için Gauss ve Wiener filtreleme teknikleri kullanılmıştır. Bu bölümde,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$  ve  $9 \times 9$  filtre boyutu ile  $\sigma=0.5$  standart sapmalı Gauss filtreler dönüştürülmüş görüntülere tatbik edilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde görüntü üzerindeki gürültü etkilerinin filtre boyutuna bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Yalnız filtre boyutu arttıkça görüntü kalitesi azalmaktadır.

	$5 \times 5$ filtre boyutu ve $\sigma=0.5$	$7 \times 7$ filtre boyutu ve $\sigma=0.5$	$9 \times 9$ filtre boyutu ve $\sigma=0.5$
Bölge 2			
Bölge 3			



Şekil 5. Gauss filtreleme uygulanmış görüntüler

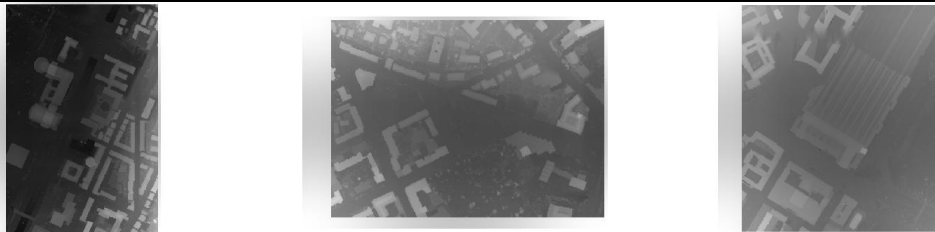


Şekil 6. Wiener filtreleme uygulanmış görüntüler

Şekil 6'da Fourier düzlemindeki dönüştürülmüş görüntüleri Wiener filtresinin uygulanması sonucu elde edilen görüntüler verilmektedir. Fourier spektrumunda dönüştürülmüş görüntüler nokta bulutu gibi görülmektedir.

c) Ters Fourier dönüşümü

Fourier görüntü üzerine uygulandığında orijinal görüntünün elde edilmesini sağlayan bir işlemdir. Bu aşamada, uzaysal düzlemdeki görüntülerin yeniden üretilmesi için frekans düzlemindeki dönüştürülmüş görüntüden elde edilen filtrelenen görüntü üzerine ters Fourier dönüşümü uygulanır. Şekil 7'de 5×5 lik filtre maskesi uygulanan görüntünün ters Fourier dönüşümü alınarak elde edilen görüntüler gösterilmektedir.



Bölge 2

Bölge 3

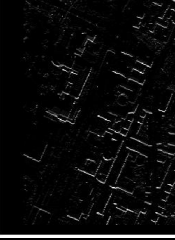
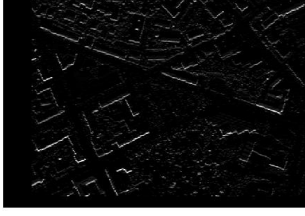
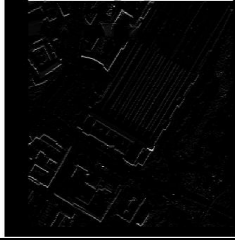



Bölge 4

Şekil 7. Ters Fourier dönüşümü sonucunda elde edilen görüntüler

d) Uzaysal düzlemde filtreleme (Sobel ve Unsharp filtreleme)

Frekans uzayındaki dönüşüm ile elde edilen sonuç görüntülerin, uzaysal düzlemde uygulanan filtrelerle elde edilen görüntüler ile karşılaştırılması amacıyla, çalışmada uzaysal düzlemde seçilen iki farklı filtreleme tekniği kullanılmıştır. Filtre boyutu küçük olduğunda, uzaysal düzlemde filtreleme frekans düzlemine göre daha etkilidir. Burada Sobel ve Unsharp filtreleme teknikleri kullanılmış ve frekans düzlemindeki filtreleme teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 8'de Sobel ve Unsharp filtreler orijinal görüntüye

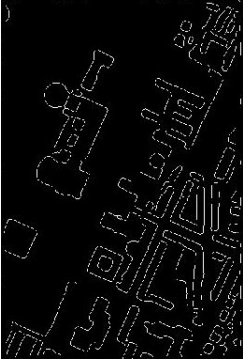
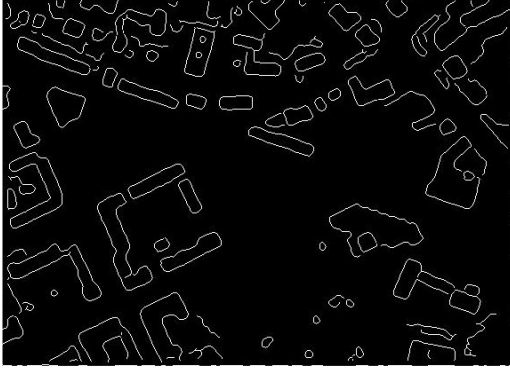
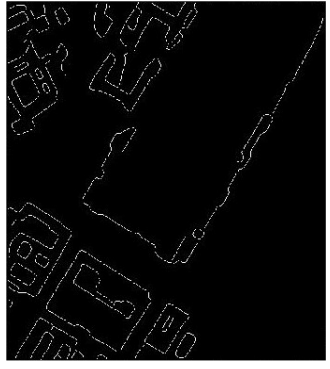

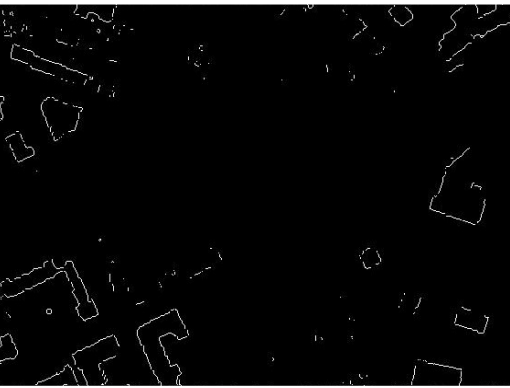
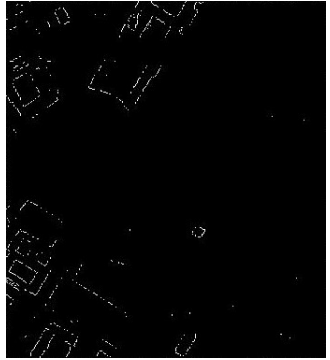
direkt olarak uygulanmıştır. 3×3 sobel maskesi uygulanan görüntülerde yatay ve dikey değişimler kısmen görülmektedir. Unsharp filtreleme tatbik edilen görüntülerde ise keskinlik görülmektedir.

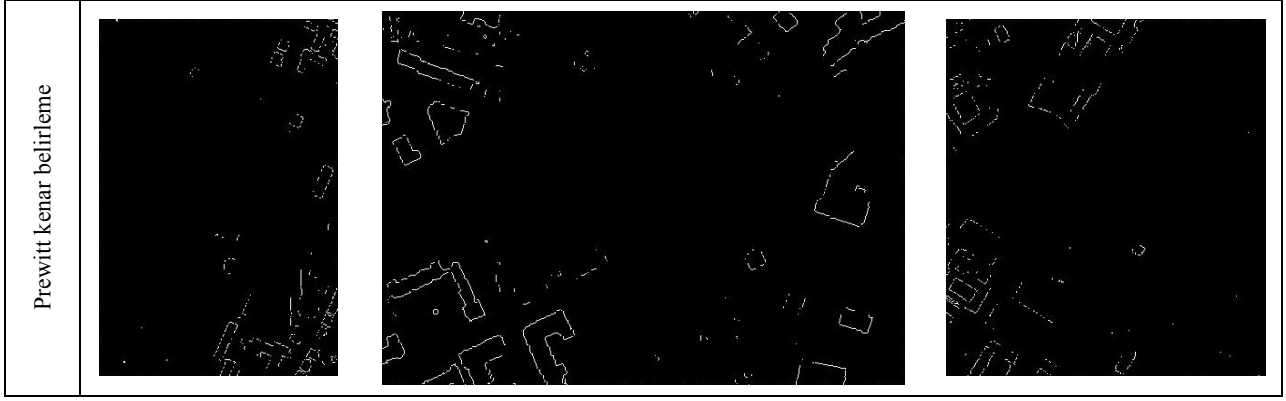
Sobel Filtreleme			
	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4
Unsharp Filtreleme			
	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4

Şekil 8. Uzaysal düzlemde filtreleme uygulanmış sonuç görüntüler

e) Kenar belirleme

Uzaysal ve frekans düzlemindeki iyileştirmeleri takiben oluşan görüntüler üzerinden çalışmanın esas amacı olan bina detayları kenar belirleme metotları ile saptanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada üç farklı kenar belirleme algoritması kullanılmış ve ortaya çıkarılan sonuç görüntüler şekil 9'da gösterilmiştir. Bu üç kenar belirleme algoritması ürettikleri sonuçları bakımından karşılaştırıldığında, Canny kenar belirleme algoritmasının diğerlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

	Bölge 2	Bölge 3	Bölge 4
Canny kenar belirleme			
Sobel kenar belirleme			



Şekil 9. Canny, Sobel ve Prewitt kenar belirleme algoritmaları uygulanmış görüntüler

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Lidar verilerinden bina detaylarının otomatik çıkarımı için bir yaklaşım tanımlanmıştır. Burada lazer verilerinden yeniden üretilen gri düzeyli görüntüler kullanılarak, lazer tarama verilerinden bina detayları saptanmaya çalışılmıştır. Görüntülerin işlenmesinde Matlab yazılımı kullanılmıştır. Bu aşamada, uzaysal ve frekans düzleminde görüntülere çeşitli görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır. Bunlardan biri filtreleme tekniğidir ve bu çalışmada 4 farklı filtreleme tekniği kullanılmıştır. En uygun filtreleme tekniği olarak, frekans düzlemindeki belirsizlik etkilerinden kaçınmak için Gauss filtresi ( $5 \times 5$  boyutunda ve standart sapması 0.5 olan) kullanılmıştır. Daha sonra, bina çizgilerini saptamadan önce orijinal görüntüyü yeniden üretmek için filtrelenmiş görüntü üzerine Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Frekans düzleminde Gauss filtreleme ile bina detaylarını saptama işlemi için en uygun sonuçlar elde edilmiştir. Canny kenar belirleme operatörü ile ters Fourier dönüşümü uygulanan görüntüden bina detayları çıkartılmıştır. Bu operatör diğerlerinden daha iyi sonuç vermiştir.

Fourier dönüşümü, görüntülerin iyileştirilmesinde ve görüntü üzerinden bina detaylarının saptanmasında çok büyük avantajlara sahiptir. Filtre boyutu arttığında frekans düzlemindeki filtreleme, matematiksel olarak uzaysal filtrelemeye daha etkilidir. Çalışmanın sonunda, bina detayların otomatik olarak saptanması ve çıkarılması işlemlerinde Fourier dönüşümünün bir görüntü iyileştirme aracı olarak kullanılabilir olduğu yargısına varılabilmektedir. Bundan sebeple bina detaylarının saptanması için filtreleme tekniği olarak Fourier dönüşümünün kullanılması önerilebilir. Sonuç olarak, filtreleme işleminden sonra lazer tarama verilerinden üretilen görüntüler bina detaylarının belirlenmesinde kullanılabileceği ifade edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Haala, N.; Brenner, C. Virtual city models from laser altimeter and 2D map data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **1999a**, 65(7), pp. 787-795.
2. Haala, N.; Brenner, C. Extraction of buildings and trees in urban environments. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **1999b**, 54, pp. 130-137.
3. Geibel, R.; Stilla, U. Segmentation of laser altimeter data for building reconstruction: different procedures and comparison. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, The Netherlands, Vol. XXXIII, Part B3, pp. 326-334, **2000**.
4. Gonzalez, R.C.; Woods, R.E. *Digital Image Processing*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley. 716 pp., 1992.
5. Gorte, B.. Segmentation of TIN structured surface models. In: *Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Proceedings CD*, Ottawa, Canada, 5p, **2002**.
6. Luo, Y.; Gavrilova, M. L. 3D Building Reconstruction from LIDAR Data, ICCSA 2006, LNCS 3980, pp. 431-439, Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, **2006**.
7. Vosselman, G.; Suveg, I. Map based building reconstruction from laser data and images. In: Baltsavias et al. (eds): *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*, A.A. Balkema Publishers, Lisse, pp. 231-239, **2001**.
8. Vögtle, T.; Steinle, E. 3D modeling of buildings using laser scanning and spectral information. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, The Netherlands, Vol. XXXIII, Part B3, pp. 927-934, **2000**.