Erzincan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
2018, 11(2), 263-276

Erzincan University
Journal of Science and Technology
2018, 11(2), 263-276

ISSN: 1307-9085, e-ISSN: 2149-4584 DOI: 10.18185/erzifbed.377483

Perspektiften Kaynaklanan Bozulmaların Geometrik Olarak Düzeltilmesi İçin Bir Yöntem

Erdal GÜVENOĞLU

Maltepe Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş / Received: 11/01/2018, Kabul / Accepted: 25/06/2018

Öz

Resim, grafik, sahne dekoru ve mimarlık gibi alanlarda derinliğin, bütünlüğün, devamlılığın, biçim ve çizgilerle ya da fotoğraf makinesi aracılığıyla bilimsel olarak ifade edilmesine perspektif adı verilmektedir. Gerçekçi görüntüler elde edilebilmek için sayısal görüntüleme aygıtları nesneye paralel olmalıdır. Ancak nesneler konumları yüzünden her zaman bu paralelliği göstermez. Bu durum görüntü üzerinden yapılan ölçmeler ile gerçek ölçüler arasında farka neden olur. Doğru ölçümlerin yapılabilmesi ancak perspektif görüntülerin düzeltilmesi ile mümkündür. Bu çalışmada, kullanıcı tarafından işaretlenen dört farklı nokta yardımıyla perspektif görüntülerin düzeltilmesini sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin test edilebilmesi için bir yazılım aracılığı ile görüntüler perspektif olarak bozulmuş ve tekrar düzeltilmiştir. Aynı testler kaynağı belli olmayan perspektif bozulmuş görüntüler üzerinde de gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geometrik Düzeltme, Perspektif görüntü, Regresyon analizi, Lineer dönüşüm

A Method for Geometrically Fixing the Distortions Originate from Perspective

Abctract

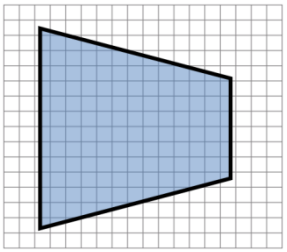
Scientific expression of depth, integrity and permanence by means of shapes and lines or camera in areas such as image, graphic, scene decor and architecture is called perspective. Digital imaging devices should be parallel to object to obtain realistic images. However, objects do not seem to be parallel because of their position. This situation causes differences between the measurements performed on image and real object. Accurate measurement is possible only when images are rectified. In this study, a method is proposed to correct perspective images by the help of four different points marked by the user. In order to test the proposed method, images are perspective distorted and corrected again through software. The same tests were also carried out on perspective distorted images obtained from an unknown source and successful results were obtained.

Keywords: Geometric Rectification, Perspective Image, Regression analysis, Linear transformation

1. Giriş

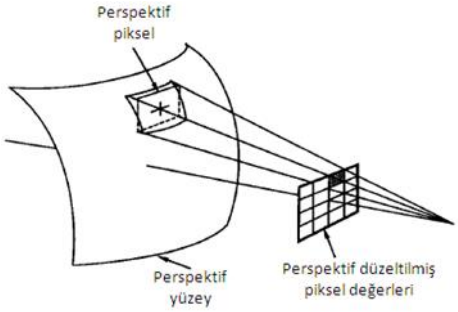
İğne deliği kameralar kullanılarak elde edilen görüntüler, 3D uzayın 2D uzaya iz düşürülmesi anlamına gelir. Bu görüntülerin hemen hepsinde kamera bakış açısına bağlı olarak bir perspektif bozulma meydana gelmektedir (Fangi, Gagliardini ve Malinverni, 2001). Perspektif bozulma, gerçek şekil ile görünen şekil arasındaki farktır. Görüntülerde, kameraya yakın olan nesneler daha büyük, uzak olan nesneler ise daha küçük görünmektedir. Dolayısı ile karenin görüntüsünde, karenin uzak kenarı yakın kenarından daha kısa görünmekte, buna bağlı olarak da daha az piksel ile temsil edilmektedir. Görüntüyü temsil için olması gerekenden daha az sayıda piksel kullanılması ise görüntüde bulanıklığa neden olmaktadır. Şekil 1' de perspektif bozulma nedeniyle uzak kenarlarda meydana gelen piksel kayıpları görülebilmektedir.

*Sorumlu Yazar: erdalguvenoglu@maltepe.edu.tr



Şekil 1. Perspektif olarak bozulmuş görüntü.

Nesnenin gözlemciye göre olan duruş açısı ve uzaklığının etkileri perspektif görüntünün oluşmasına neden olmaktadır. Perspektif görüntüler biçim ve orantı bakımından 3 boyutlu bir gerçeklik izlenimi yaratmaktaysa da resim üzerinden ölçü almak ve otomatik kıyaslama yapmak bakımından bir tür bozulmadır. Şekil 2' de perspektif bozulmaya uğramış bir görüntünün düzeltilmesi temsili olarak gösterilmektedir (Weng, Cohen ve Herniou, 1992).



Şekil 2. Perspektif bozulmanın düzeltilmesi.

Perspektif görüntülerin düzeltilmesi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda Hough dönüşümü, homografi matrisi, projeksiyon profili histogramı ve uzak ufuk noktasından faydalanılarak perspektif düzeltmelerin yapıldığı görülmektedir. Literatürde yer alan başlıca yöntemler aşağıda verilmiştir.

Görüntü elde etme aygıtına ait herhangi bir kalibrasyon parametresi bilinmiyorken görüntü içerisinde dörtgen paternlere sahip olduğu bilinen bölgelerin geometrik bozulmalarını düzelten bir yöntem Wang ve arkadaşları tarafından önerilmiştir (Wang, Klette ve Rosenhahn, 2005). Yöntem, aynı zamanda perspektif görüntüleri de düzeltebilmektedir. Yöntemin çalışabilmesi için görüntüdeki paternlerin mutlaka dikdörtgen olması gerekmektedir. Öncelikle Hough dönüşümü kullanılarak dikdörtgen olması gereken alanların köşe koordinatları belirlenir. Ölçüleri kullanıcı tarafından verilen bir gridi temsil eden homografik dönüşüm matrisi yardımıyla minimize edilmiş alanların taşınması sağlanarak düzeltme tamamlanır. Bu yöntem gerçekte dikdörtgen olduğu bilinen görüntülerin düzeltilmesinde başarıyla kullanılabilirken, gerçekte dikdörtgen olmayan görüntüleri dikdörtgene dönüştürerek ayrıca bir bozulmaya neden olur.

Perspektif bozulmaların ortadan kaldırılması ile ilgili yapılan pek çok çalışmada, giriş görüntüleri üzerinde bir kalibrasyon işlemi yapılmaktadır. Kalibrasyon, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile onu ölçen cihazın verdiği sonuç arasındaki ilişkiyi bulma işlemidir (Taşdemir, Ürkmez, Yakar ve İnal, 2009). Başka bir ifadeyle, ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile bu büyüklüğü ölçen cihaz tarafından verilen sonuç arasındaki ilişkiyi belirleme sürecidir (Taşdemir, Ürkmez ve İnal, 2011). Parametrelerinin kullanıcı tarafından girildiği düşünülen bir çalışma Boufama ve Habed tarafından yapılmıştır (Boufama ve Habed, 2005). Yöntem, kalibrasyon, kalibrasyon parametrelerinin kaydedilmesi ve düzeltme olarak üç aşamadan meydana gelmektedir. ilk aşamada, giriş görüntüsünde işaretlemeler yapılarak kalibrasyon parametreleri belirlenmektedir. Sonraki aşamada elde edilen doğru kamera parametreleri kaydedilmektedir. Son aşamada, Hough dönüşümü yardımıyla bozulma miktarı tespit edilerek görüntü pikselleri 2D uzayına taşınmaktadır. Yöntem, aynı kamera için kalibrasyonun tekrar yapılmasına gerek duymamakla birlikte, farklı kameralarda kalibrasyonun tekrar yapılması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Huang ve Boufama tarafından önerilen yarı otomatik kalibrasyon metodunda ise giriş görüntüsü önce ikili görüntüye dönüştürülmekte ve köşe koordinatları belirlenmektedir (Huang ve Boufama, 2002). Köşe koordinatları

düzeltme işleminin hangi oranda yapılacağını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bozulma miktarının belirlenmesinde köşe noktaları arasında kalan bölge de Hough dönüşümü kullanılmaktadır. Yöntem, düzeltilmiş yüzeyin modelini ve görüntü sahnesinin oluşturulmasını sağladığından pek çok görüntü üzerinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Fakat birleşik görüntüler basit kameralardan elde edildiğinden, panaromik görüntülere ihtiyaç duyulduğunda özel tarayıcı ve kameralar kullanılmalıdır.

Perspektif bir görüntü içerisinde dikdörtgen bölgelerin bulunması ve 2D uzayı arasındaki ilişkisinin belirlenebilmesi, düzeltme işleminin kolaylıkla yapılmasına olanak sağlar. Perspektif bir görüntüdeki dikdörtgensel bölgelerin tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlayan bir yöntem Clark ve Mirmehdi tarafından önerilmiştir (Clark ve Mirmehdi, 2000). Yöntem, kenar belirleme algoritmalarını kullanarak giriş görüntüsündeki objelerin sınırlarını çizmektedir. Hough dönüşümü yardımı ile belirlenen sınırlar içerisindeki dikdörtgen alanların bozulma miktarı belirlenmektedir. Bozulma miktarı belirlenmiş bölgeler 2D uzayına taşınarak düzeltme işlemi tamamlanmaktadır.

Günümüzde mobil teknolojilerin yaygınlaşması ile birlikte metin tabanlı uygulamalarda perspektif düzeltme özellikle optik karakter tanıma uygulamalarında önemli hale gelmiştir (Phan, Shivakumara, Tian ve Tan, 2013; Zhou ve Deng, 2014). Perspektif bozulmalar belge görüntüsünde kıvrılmış bölgelerin görüntüleri üzerinde de meydana gelebilmektedir. Ulges ve arkadaşları (Ulges, Lampert ve Breuel, 2005) tarafından gösterildiği gibi perspektif bükülmüş belge görüntülerinin düzeltilmesini sağlayan, metin satırlarının sınırlarını belirlemek için yatay ve dikey çizgiler kullanarak perspektif bozulmaları düzelten bir yöntem de Pilu tarafından önerilmiştir (Pilu, 2001). Giriş görüntüsü ikili görüntüye dönüştürülmektedir. İkili görüntüde metin karakterlerinin orta noktaları tespit edilerek komşu karakterin orta noktasından geçecek şekilde çizgiler çizilmektedir. Bu çizgiler yardımı ile metin satırları belirlenmektedir. En uzak noktalardan geçecek şekilde dikey çizgiler yardımı ile düzeltme bölgesi işaretlenmektedir. Dikdörtgen içerisindeki bölge 2D uzayına taşınarak düzeltme tamamlanmaktadır. Yöntemde, giriş görüntülerindeki metin karakterlerinin mutlaka bilgisayar yardımıyla oluşturulmuş düzenli dil ifadelerinden oluşması gerekmektedir. İçerisinde düzenli metinler bulunan perspektif bozulmuş görüntülerin düzeltilmesini sağlayan bir başka çalışma Clark ve Mirmehdi tarafından yapılmıştır (Clark ve Mirmehdi, 2001). Yöntemde ilk aşamada metinlerin bulunduğu bölgeler yatay ve dikey projeksiyon profili histogramı yardımı ile belirlenmektedir. Ardından metin olan ve olmayan bölgeler yine histogramlar yardımı ile belirlenerek ikili görüntüye dönüştürülmektedir. Metin olan karşılıklı en uzak noktalarından geçecek şekilde doğrular çizilerek uzak ufuk noktasında birleştirilmektedir. Belirlenen düzeltme bölgesi içerisindeki değerler 2D uzayına taşınmaktadır. Yöntem, giriş görüntüsü içerisinde eğer tek bir metin bölgesi var ise oldukça iyi çalışmaktadır. Fakat giriş görüntüsünün farklı bölgelerinde metin görüntüleri var ise düzeltme işlemi başarılı olmayacaktır.

Günümüzde mobil teknolojilerden de yararlanılarak perspektif görüntülerin düzletilebilmesi sağlanabilmektedir (Li, Liu, Fan, Sun ve Satoshi, 2016). Bu çalışmalardan bir tanesi Li ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışma iki varsayım üzerine kurulmuştur. Bunlardan bir tanesi bozulmuş görüntünün dikdörtgensel bir yapıya sahip olduğu ve ikincisi ise kamera iç parametrelerinin bilindiği varsayımıdır. Dolayısı ile her iki varsayımdan hareketle bozuk görüntü üzerinde bir homografi matrisi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu matris ile bozuk görüntünün düzeltilmesi sağlanmaktadır. Buradaki en büyük dezavantaj bozuk görüntünün arka planının

düz bir zemin rengine sahip olması gerçeğidir.

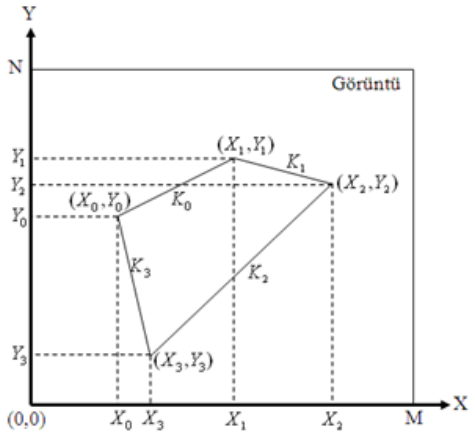
Mohan ve arkadaşları kamera parametreleri bilinen gerçek ölçekli bir görüntüdeki perspektif bozulmayı düzeltmek için homografi matrisinden faydalanmaktadır (Mohan, Avinash ve Murali, 2013). Homografi matrisi, projektif bir uzayda bir noktadan başka bir noktaya dönüşümü sağlayan bir matristir. Yöntemin ilk adımında, düzeltilecek perspektif görüntünün sınırları belirlenmektedir. Sınırları belirlenen perspektif görüntünün köşe noktaları işaretlenmektedir. Kamera parametreleri ve önceden tanımlanan homografi matrisi yardımı ile perspektif görüntü 2D uzayına taşınmaktadır. Homografi matrisi pek çok perspektif düzletmenin temelini oluşturmaktadır (Yan ve Hou, 2016; Takezawa, Hasegawa ve Tabbone, 2016). Yüzeyin durumu ve eğimine bakılmaksızın belli ölçülerde oluşturulan matris yardımıyla tüm görüntüler düzeltilebilmektedir. Yan ve Hou tarafından yapılan çalışmada perspektif bir görüntü üzerine görüntüyü yatay ve dikeyde eşit parçalara bölen bir homografi matrisi kullanılmıştır. Bununla birlikte homografi matrisi ile aynı ölçülerde 2D koordinat düzleminde bir matris daha oluşturulmuştur. Görüntü üzerinde elde edilen homografi matrisinin bölgelerinde bulunan pikseller 2D koordinat düzlemindeki karşılıklarına denk gelen bölgelere doğrudan lineer dönüşüm yardımıyla taşınmıştır. Takezawa ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise homografi matrisinin yanında uzak ufuk noktası yönteminden faydalanılmıştır. Çalışmada öncelikle belge görüntüsünün sınırları uzak ufuk noktası yöntemiyle belirlenmiştir. Ardından sınırları belirlenen belge görüntüsü üzerinde bir homografi matrisi yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu matris yardımıyla görüntü piksellerinin radon döşümü yardımıyla 2D koordinat düzlemine taşınması sağlanmıştır.

Görüntü bozulmaları sadece perspektif görüntü bozulmalarından ibaret değildir. Bazı durumlarda görüntü elde edilen aygıttan veya objenin görüntülenme açısında dolayı da bozulmalar meydana gelebilmektedir. Kaynağı belli olmayan bozulmuş görüntülerin düzletilmesi için kamera parametrelerini ya da görüntünün eğimlerini tahmin edilmesi gerekebilmektedir (Spitschan ve Ostermann, 2017). Bu eğimlerin ve kamera parametrelerinin tahmin edilmeye çalışılması gerçekleştirilecek bir sisteme ek hesaplama yükü getirmektedir.

Bu makalede, perspektiflik nedeniyle bozulmaya uğramış ve kaynağı belli olmayan görüntülerin düzeltilerek daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayan yeni bir yöntem sunulmuştur. Yöntemin en büyük katkısı homografi matrisinin belli ölçü içerisinde olmaması, homografi matrisinin elle arzu edilen bir biçimde tasarlanabilmesi, bozulmuş belgenin eğiminin ek işlem gerektirmemesi için düzeltme sırasında hesaplanması ve belge arka planının tek düze bir renge bağlı olmaması olarak ifade edilebilmektedir.

2. Materyal ve Metot

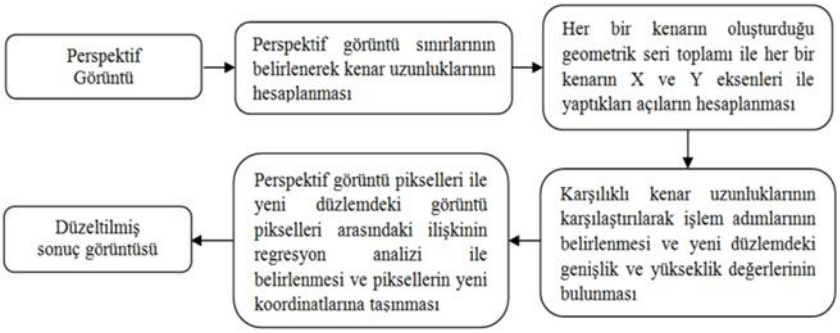
Giriş görüntüsünde işaretlenen köşe koordinatları $(X_0, Y_0),(X_1, Y_1),(X_2, Y_2), (X_3,Y_3)$ olmak üzere Şekil 3' te gösterilmektedir.



Şekil 3. Kalibrasyon noktaları ve koordinatları.

Bu noktaların belirlediği şekil herhangi bir dörtgen olmakla birlikte aslında bir

dikdörtgenin köşeleri olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda düzeltilmiş görüntüde karşılıklı kenarların birbirine eşit ve iç açıların 90° olacağı bellidir. Önerilen yöntem, Şekil 4' de blok diyagramı verilen adımlardan oluşmaktadır.



Şekil 4. Yöntemin blok diyagramı.

Sınırları belirlenen geometrik şeklin kenar uzunlukları sırasıyla K_0, K_1, K_2 ve K_3 Pisagor teoremi ile hesaplanmaktadır. Her kenar X ve Y eksenleri ile bir açı meydana getirmektedir. α, X düzlemi ile yapılan açıyı ve θ, Y düzlemi ile yapılan açıyı göstermek üzere her bir kenarın X ve Y düzlemi ile yapmış olduğu açılar Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Kenarların yatay ve dikey eksenler ile yaptıkları açıların hesaplanması.

Kenar	**Kenarların X ve Y eksenleri ile yaptığı açılar**	
K_0	$\alpha_0 = \frac{X_1 - X_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}$	$\theta_0 = \frac{Y_1 - Y_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}}$
K_1	$\alpha_1 = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}$	$\theta_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}$
K_2	$\alpha_2 = \frac{X_2 - X_3}{\sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}}$	$\theta_2 = \frac{Y_2 - Y_3}{\sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}}$
K_3	$\alpha_3 = \frac{X_3 - X_0}{\sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}}$	$\theta_3 = \frac{Y_3 - Y_0}{\sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}}$

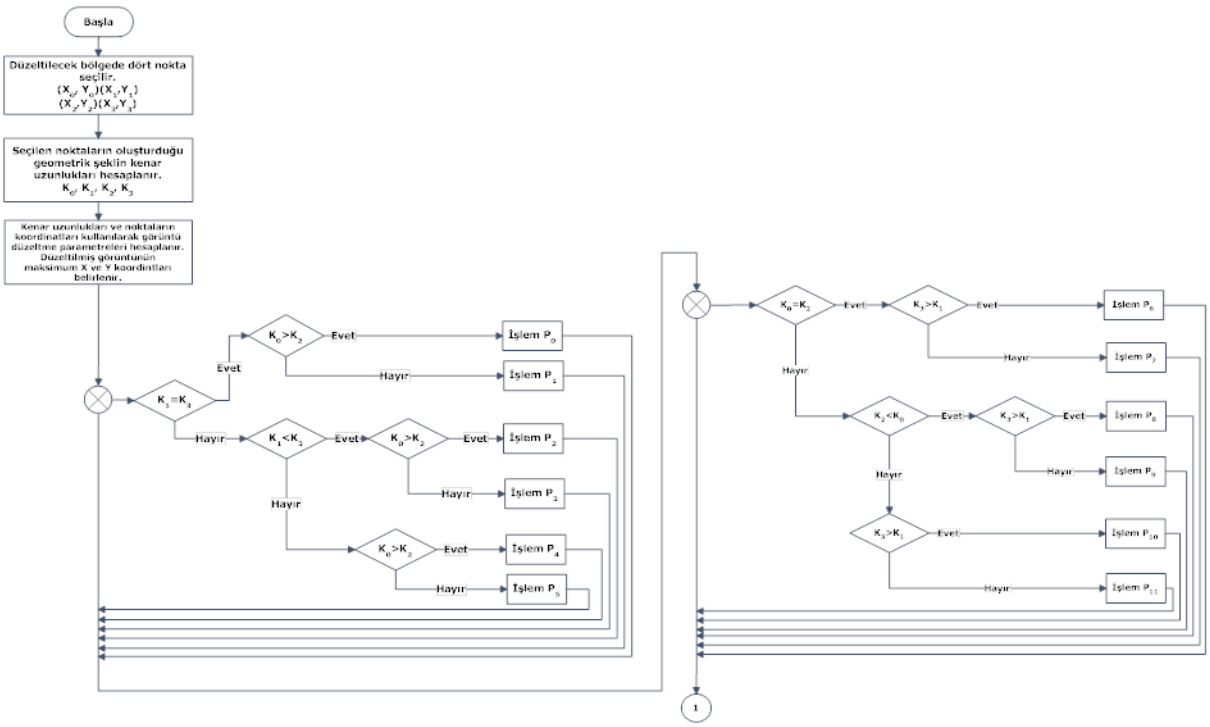
Oluşan kenar uzunlukları, her bir kenarın X ve Y eksenleri ile yapmış oldukları açılar ve yeni düzlemdeki maksimum genişlik ve yükseklik değerleri hesaplanır. Düzeltilmiş görüntünün dikdörtgen olduğu varsayıldığından perspektif görüntü ile düzeltilmiş görüntü arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilişki ilgili kenarın hangi yöne ve kaç derece döndürüleceğinin tespit edilebilmesi ile mümkündür. Doğru üzerindeki noktaların X ve Y düzlemleri ile olan koordinat değerleri düzgün bir artış gösterdiğinden geometrik bir seri meydana getirmektedir. Geometrik seri toplamı elde edilen bir doğru parçası maksimum 90° döndürülebilmektedir.

Çalışmada, karşılıklı kenarların uzunlukları karşılaştırılarak gerçekleştirilecek işlem sayısı azaltılmıştır. $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$ karşılıklı kenar uzunluklarının karşılaştırılması ile yapılacak olan işlem basamaklarını, R karşılıklı iki kenar arasındaki açıyı, q her bir kenarın X ve Y düzlemi ile yapmış olduğu geometrik serinin toplamını ve N yeni görüntü düzleminin maksimum büyüklüğünü göstermek üzere, mümkün olan işlem basamaklarına ait denklemler Tablo 2' de gösterilmektedir.

Tablo 2. Önerilen yöntemin mümkün işlem basamakları denklemleri.

İşlem No	Karşılıklı Kenarlar Arasındaki Açı	Kenar Geometrik Seri Toplamı	Yeni Düzlemin Kenar Uzunluğu	İşlem No	Karşılıklı Kenarlar Arasındaki Açı	Kenar Geometrik Seri Toplamı	Yeni Düzlemin Kenar Uzunluğu
P_0	$R_{K_0}=1$ $R_{K_2}=\frac{K_2}{K_0}$	$q_{K_0}=1$ $q_{K_2}=1$	$N_{K_0}=K_0$ $N_{K_2}=K_0$	P_6	$R_{K_3}=1$ $R_{K_1}=\frac{K_1}{K_3}$	$q_{K_1}=1$ $q_{K_3}=1$	$N_{K_3}=K_3$ $N_{K_1}=K_3$
P_1	$R_{K_2}=1$ $R_{K_0}=\frac{K_0}{K_2}$	$q_{K_2}=1$ $q_{K_0}=1$	$N_{K_2}=K_2$ $N_{K_0}=K_2$	P_7	$R_{K_1}=1$ $R_{K_3}=\frac{K_3}{K_1}$	$q_{K_3}=1$ $q_{K_1}=1$	$N_{K_1}=K_1$ $N_{K_3}=N_{K_1}$
P_2	$R_{K_0}=1$ $R_{K_2}=\frac{K_2}{K_0}$	$q_{K_0}=\frac{(K_0-1)}{(K_0-\frac{K_1}{K_3})}$ $q_{K_2}=q_{K_0}$	$N_{K_0}=\frac{\ln(\frac{K_1}{K_3})}{\ln(q_{K_0})}+1$ $N_{K_2}=N_{K_0}$	P_8	$R_{K_3}=1$ $R_{K_1}=\frac{K_1}{K_3}$	$q_{K_3}=\frac{(K_3-1)}{(K_3-\frac{K_2}{K_0})}$ $q_{K_1}=q_{K_3}$	$N_{K_3}=\frac{\ln(\frac{K_2}{K_0})}{\ln(q_{K_3})}+1$ $N_{K_1}=N_{K_3}$
P_3	$R_{K_2}=1$ $R_{K_0}=\frac{K_0}{K_2}$	$q_{K_2}=\frac{(K_2-1)}{(K_2-\frac{K_1}{K_3})}$ $q_{K_0}=q_{K_2}$	$N_{K_2}=\frac{\ln(\frac{K_1}{K_3})}{\ln(q_{K_2})}+1$ $N_{K_0}=N_{K_2}$	P_9	$R_{K_1}=1$ $R_{K_3}=\frac{K_3}{K_1}$	$q_{K_1}=\frac{(K_1-1)}{(K_1-\frac{K_2}{K_0})}$ $q_{K_3}=q_{K_1}$	$N_{K_1}=\frac{\ln(\frac{K_2}{K_0})}{\ln(q_{K_1})}+1$ $N_{K_3}=N_{K_1}$
P_4	$R_{K_0}=(q_{K_0})^{N_{K_0}}$ $R_{K_2}=\frac{K_2}{K_0*R_{K_0}}$	$q_{K_0}=\frac{(K_0-1)}{(K_0-\frac{K_3}{K_1})}$ $q_{K_2}=\frac{1}{q_{K_0}}$	$N_{K_0}=\frac{\ln(\frac{K_3}{K_1})}{\ln(q_{K_0})}+1$ $N_{K_2}=N_{K_0}$	P_{10}	$R_{K_3}=(q_{K_3})^{N_{K_3}}$ $R_{K_1}=\frac{K_1}{K_3*R_{K_3}}$	$q_{K_3}=\frac{(K_3-1)}{(K_3-\frac{K_0}{K_2})}$ $q_{K_1}=\frac{1}{q_{K_3}}$ $q_{K_3}=q_{K_1}$	$N_{K_3}=\frac{\ln(\frac{K_0}{K_2})}{\ln(q_{K_3})}+1$ $N_{K_1}=N_{K_3}$
P_5	$R_{K_2}=(q_{K_2})^{N_{K_2}}$ $R_{K_0}=\frac{K_0}{K_2*R_{K_2}}$	$q_{K_2}=\frac{(K_2-1)}{(K_2-\frac{K_3}{K_1})}$ $q_{K_0}=\frac{1}{q_{K_2}}$ $q_{K_2}=q_{K_0}$	$N_{K_2}=\frac{\ln(\frac{K_3}{K_1})}{\ln(q_{K_2})}+1$ $N_{K_0}=N_{K_2}$	P_{11}	$R_{K_1}=(q_{K_1})^{N_{K_1}}$ $R_{K_3}=\frac{K_3}{K_1*R_{K_1}}$	$q_{K_1}=\frac{(K_1-1)}{(K_1-\frac{K_0}{K_2})}$ $q_{K_3}=\frac{1}{q_{K_1}}$ $q_{K_1}=q_{K_3}$	$N_{K_1}=\frac{\ln(\frac{K_0}{K_2})}{\ln(q_{K_1})}+1$ $N_{K_3}=N_{K_1}$

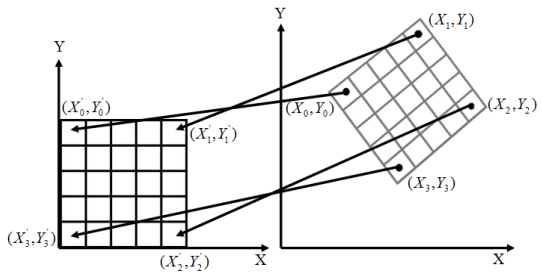
Karşılıklı kenar uzunluklarının karşılaştırılması sonucu Tablo 2' de duruma uygun iki adım gerçekleştirilerek, dört adet *R* açı değeri, dört adet *q* geometrik seri toplamı ve dört adet *N* yeni düzlem nokta koordinatı elde edilmektedir. Görüntü düzeltme parametrelerinin elde edilmesinde izlenen akış diyagramı Şekil 5' de verilmektedir.



Şekil 5. Düzeltme parametrelerinin elde edilmesini gösteren akış diyagramı.

Elde edilen parametreler yardımı ile her bir pikselin 2 boyutlu koordinat sistemine dönüşümü yapılmaktadır. Koordinat dönüşümleri sonucunda bir görüntü üzerinde

ölçülmüş ve koordinat değerleri bir koordinat sisteminde hesaplanmış olan noktaların fiziksel konumları değişmediği halde, koordinat değerlerinin dönüşüm nedeniyle değiştiği söylenebilmektedir (Ünsal, 2009). Şekil 6' da herhangi bir görüntünün koordinat dönüşümü gösterilmiştir.

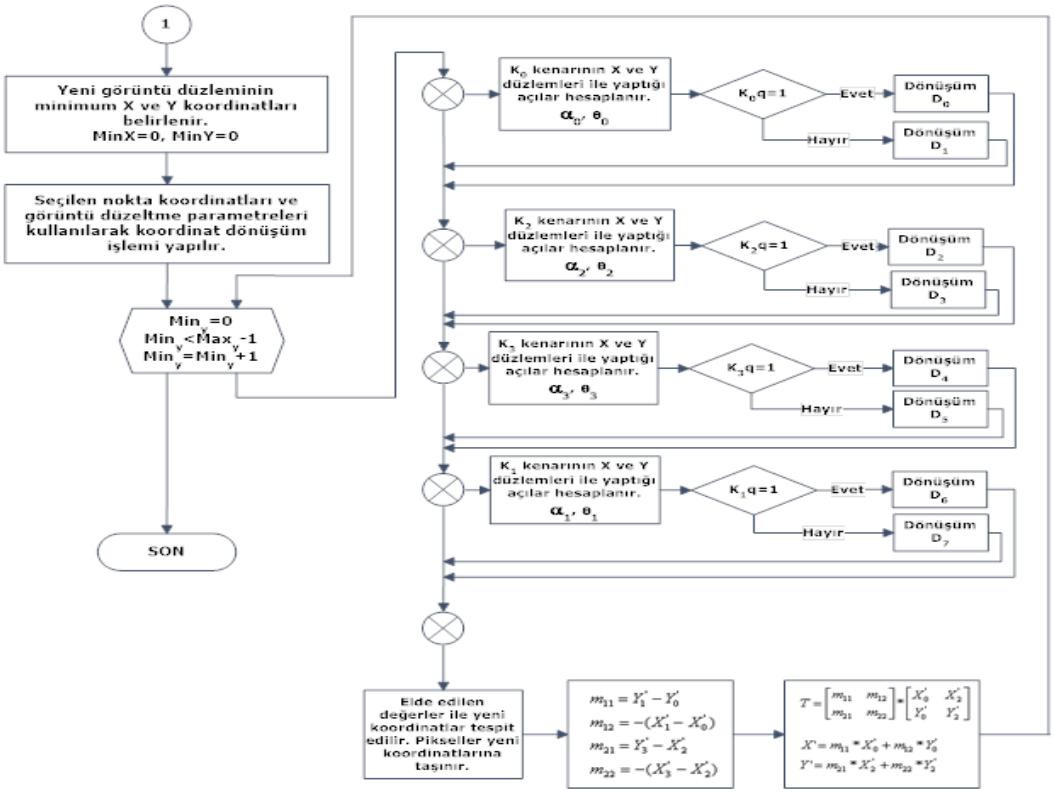


Şekil 6. Koordinat dönüşümü.

Koordinat dönüşümünün yapılabilmesi için mevcut bölge piksel koordinatları ile düzeltme işleminden sonraki piksel koordinatları arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilişkinin tespit edilebilmesinin en kolay yolu regresyon analizinin yapılmasıdır. Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılan bir analiz metodudur. Regresyon analizi daha önceden elde edilen dönüşüm değerleri yardımıyla piksellerin yeni koordinatlarının hesaplanması için kullanılmıştır. Regresyon denklemlerinde, bir bağımlı değişkeni etkileyen birden fazla bağımsız değişken olabilmektedir (Tasdemir, Urkmez ve Inal, 2011). $(X_0',Y_0'),(X_1',Y_1'),(X_2',Y_2'),(X_3',Y_3')$ regresyon analizi sonucu düzeltilmiş görüntünün yeni koordinatları olmak üzere her bir kenarın q geometrik seri toplamlarına bağlı mümkün $D_0,D_1,D_2,D_3,D_4,D_5,D_6,D_7$ regresyon denklemleri Tablo 3' de gösterilmiş ve regresyon analizinde q toplamına bağlı olarak izlenen akış diyagramı Şekil 7' de verilmiştir. Şekil 7' de verilen akış diyagramı Şekil 5' deki akıştan elde edilen düzeltme parametrelerine göre işlem görmekte ve akışın devamıdır.

Tablo 3. Mümkün regresyon denklemleri.

İşlem No	Regresyon Denklemi	İşlem No	Regresyon Denklemi
$D_0 \Rightarrow$	$X_0' = X_0 + \alpha_0 * R_{K_0} * \lvert X_i \rvert$ $Y_0' = Y_0 + \theta_0 * R_{K_0} * \lvert X_i \rvert$	$D_4 \Rightarrow$	$X_2' = X_0 + \alpha_3 * R_{K_3} * \lvert Y_i \rvert$ $Y_2' = Y_0 + \theta_3 * R_{K_3} * \lvert Y_i \rvert$
$D_1 \Rightarrow$	$X_0' = X_0 + \alpha_0 * R_{K_0} * [\frac{1-(q_{K_0})^{X_i}}{1-q_{K_0}}]$ $Y_0' = Y_0 + \theta_0 * R_{K_0} * [\frac{1-(q_{K_0})^{X_i}}{1-q_{K_0}}]$	$D_5 \Rightarrow$	$X_2' = X_0 + \alpha_3 * R_{K_3} * [\frac{1-(q_{K_3})^{Y_i}}{1-q_{K_3}}]$ $Y_2' = Y_0 + \theta_3 * R_{K_3} * [\frac{1-(q_{K_3})^{Y_i}}{1-q_{K_3}}]$
$D_2 \Rightarrow$	$X_1' = X_3 + \alpha_2 * R_{K_2} * \lvert X_i \rvert$ $Y_1' = Y_3 + \theta_2 * R_{K_2} * \lvert X_i \rvert$	$D_6 \Rightarrow$	$X_3' = X_1 + \alpha_4 * R_{K_1} * \lvert Y_i \rvert$ $Y_3' = Y_1 + \theta_4 * R_{K_1} * \lvert Y_i \rvert$
$D_3 \Rightarrow$	$X_1' = X_3 + \alpha_3 * R_{K_2} * [\frac{1-(q_{K_2})^{X_i}}{1-q_{K_2}}]$ $Y_1' = Y_3 + \theta_3 * R_{K_2} * [\frac{1-(q_{K_2})^{X_i}}{1-q_{K_2}}]$	$D_7 \Rightarrow$	$X_3' = X_1 + \alpha_4 * R_{K_1} * [\frac{1-(q_{K_1})^{Y_i}}{1-q_{K_1}}]$ $Y_3' = Y_1 + \theta_4 * R_{K_1} * [\frac{1-(q_{K_1})^{Y_i}}{1-q_{K_1}}]$



Şekil 7. Regresyon analizi ve lineer dönüşümün akış şeması.

Regresyon analizi sonucu elde edilen koordinat değerleri aracılığı ile piksellerin taşınacağı gerçek koordinat değerleri hesaplanmaktadır. Regresyon analizinden elde edilen ve yine karşılıklı kenarlara ait 2x2' lik bir *D* dönüşüm matrisi elde edilmektedir. Bu *D* dönüşüm matrisi;

$$D = \begin{bmatrix} X_0^{'} & X_2^{'} \\ Y_0^{'} & Y_2^{'} \end{bmatrix} \qquad (1)$$

olarak ifade edilmektedir.

İki boyutlu uzayda noktalar, koordinatları yardımıyla ifade edilmektedirler. Noktaların koordinatları X ve Y olmak üzere iki rakamdan oluşmaktadır. Bu rakamlar satır veya sütun vektörü şeklinde ifade edilebilmektedirler. Bir şekli oluşturan bu vektörlere aynı zamanda pozisyon vektörleri adı verilmektedir. İki boyutlu uzayda doğrudan lineer dönüşüm matrisi 2x2'lik bir matris ile ifade edilmektedir. Pozisyon vektörlerinden oluşan matris ile lineer dönüşüm matrisi (*T*) çarpılarak istenen dönüşüm elde edilmektedir. İki matrisin çarpılabilmesi için, birinci matrisin sütun sayısı ile ikinci matrisin satır sayısı eşit olmalıdır. Bu kural nedeniyle, pozisyon matrisi iki sütunluk ise lineer dönüşüm matrisinden önce, iki satırlık ise lineer dönüşüm matrisinden sonra yazılıp çarpma işlemi yapılmalıdır. Çarpma işleminin sonucunda elde edilen matris, lineer dönüşümü yapılan şeklin koordinatlarını vermektedir (Altıntaş, 2004). Elde edilen bu matris aracılığı ile bir görüntünün ölçeklenmesi, bir eksen etrafında döndürülmesi ve koordinat dönüşümü gibi işlemler de gerçekleştirilebilmektedir. Buna göre iki boyutlu uzaydaki lineer dönüşüm matrisin elemanları m_{11}, m_{12}, m_{21}, m_{22} olmak üzere;

$$T = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

biçimde ifade edilmektedir. *T* matrisinin elemanları;

$$m_{11} = Y_1^{'} - Y_0^{'} \quad (3)$$

$$m_{12} = -(X_1^{'} - X_0^{'}) \quad (4)$$

$$m_{21} = Y_3^{'} - X_2^{'} \quad (5)$$

$$m_{22} = -(X_3^{'} - X_2^{'}) \quad (6)$$

olarak elde edilmektedir. Elde edilecek görüntüdeki yeni piksel koordinatları *X'* ve *Y'* koordinatlarını elde edebilmek için *T* dönüşüm matrisi, regresyon analizi sonucu elde edilen *D* dönüşüm matrisi ile çarpılmaktadır.

$$T = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_0^{'} & X_2^{'} \\ Y_0^{'} & Y_2^{'} \end{bmatrix} \quad (7)$$

buradan,

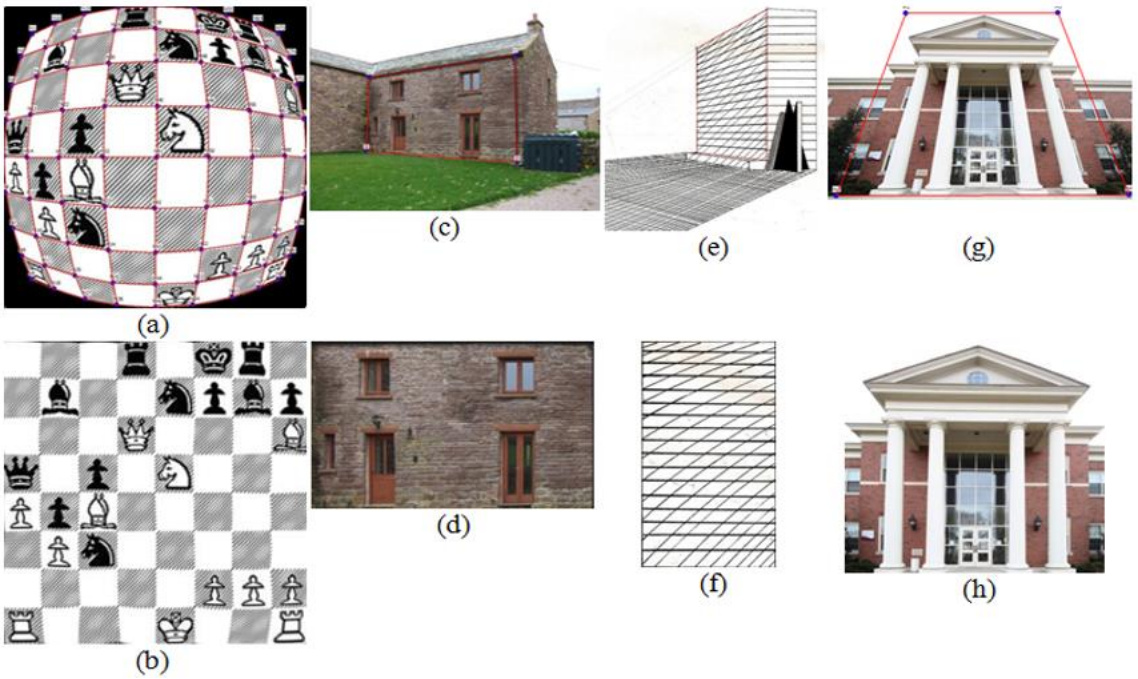
$$X' = m_{11} * X_0^{'} + m_{12} * Y_0^{'} \quad (8)$$

$$Y' = m_{21} * X_2^{'} + m_{22} * Y_2^{'} \quad (9)$$

olarak yeni piksel koordinatları hesaplanmakta ve geometrik şekil içerisindeki pikseller yeni konumlarına taşınmaktadır. Tüm piksel değerleri yeni konumlarına taşınana kadar dönüşüm işlemi devam etmektedir.

3. Bulgular

Öne sürülen yöntemin etkinliği, kaynağı ve parametreleri belli olmayan kameralardan elde edilmiş ve perspektif bozulmuş görüntüler üzerinde denemeler yapılarak gözlemlenmiştir. Şekil 8-a' da yazılım yardımıyla bozulmuş bir görüntü ile birlikte kaynağı ve kamera parametreleri belli olmayan perspektif bozulmuş görüntülerin önerilen yöntem ile düzeltilmiş sonuç görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8. Örnek uygulama görüntüleri (a) Yazılımla bozulmuş görüntü, (b) Düzeltilmiş görüntü, (c) Çiftlik. bmp (d) Düzeltilmiş görüntü, (e) Kule.bmp, (f) Düzeltilmiş görüntü, (g) Okul.bmp, (h) Düzeltilmiş görüntü.

Önerilen yöntemin başarılı olabilmesi için kalibrasyon noktalarının çok dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Başarımın ölçülebilmesi ve değerlendirilebilmesi, gerçek görüntü ile işlenmiş görüntü arasındaki ortalama karesel hatanın (MSE - Mean Squared Error) ve PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio - Tepe sinyal gürültü

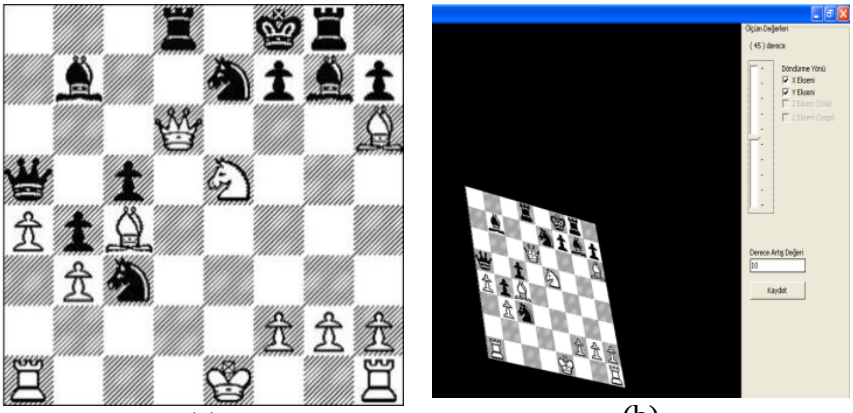
oranı) değerinin elde edilmesi ile sağlanabilmektedir. Elde edilen bu değerler önerilen yöntemin başarısı hakkında fikir elde etmemizi sağlayacaktır. Ortalama karesel hata iki görüntü arasındaki farkı belirtmek için kullanılmaktadır. Ortalama karesel hatanın 0'a yakınlığı, öne sürülen modelin yeterliliğini göstermektedir. M görüntünün yatay boyutunu, N görüntünün dikey boyutunu, S_{ij} orijinal görüntü piksellerini ve Y_{ij} işlenmiş görüntü piksellerini göstermek üzere ortama karesel hata aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$MSE = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}(Y_{ij} - S_{ij})^2 \qquad (10)$$

PSNR, görüntüler arasında en yüksek sinyal gürültü oranının hesaplanması ve orijinal ile işlenmiş görüntü arasındaki kalite ölçümü için kullanılmaktadır. İki görüntü arasında PSNR ölçümü desibel olarak ifade edilmektedir. PSNR değerinin yüksek olması elde edilen görüntünün kalitesinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Karaca, 2007).

$$PSNR = 10\log_{10}\left(\frac{R^2}{MSE}\right) \qquad (11)$$

Yukarıdaki denklemde R değeri 8 bitlik tamsayı (integer) veri tipinde tanımlandığında, hesaplamalarda 255 olarak kabul edilmektedir (Karaca, 2007). Önerilen yöntem, Şekil 9-a' da verilen kaynak görüntü, Şekil 9-b' de ekran görüntüsü verilen OpenGL yazılımı ile belli açılarda eksenler etrafında döndürülerek denenmiştir. Deneylerde, kalibrasyon noktaları elle çok dikkatli bir şekilde seçilerek düzeltme oranının yüksek olmasına çalışılmıştır. Tablo 4' de X,Y ve XY eksenleri etrafında orijinal görüntünün 10° aralıklarla döndürülmesi ile elde edilen düzeltilmiş görüntülerin MSE ve PSNR değerleri verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 9. Kaynak görüntü ve OpenGL yazılımı (a) Kaynak Görüntü (b) OPENGL Yazılımı.

Tablo 4. Düzeltilmiş görüntülerin MSE ve PSNR değerleri.

	MSE			**PSNR**		
Derece	**X**	**Y**	**XY**	**X**	**Y**	**XY**
10°	2.10949	1.96295	2.30866	14.88902	15.20169	14.49719
20°	2.48120	3.58548	3.56892	14.18417	12.58532	12.60542
30°	3.98804	4.20846	4.30698	12.12320	11.88957	11.78906
40°	4.40479	4.69081	5.17727	11.69154	11.41832	10.98979
50°	4.41484	5.48502	5.93520	11.68164	10.73902	10.39644
60°	4.56124	5.29626	6.79807	11.53996	10.89110	9.80694
70°	4.98555	5.16339	6.59459	11.15367	11.00145	9.93892
80°	5.80811	6.10344	2.30866	10.49045	10.27505	14.49719
Ortalama	**4.0941575**	**4.561976**	**4.624794**	**12.21921**	**11.75019**	**11.81512**

Tablo 4' de verilen MSE ve PSNR değerleri incelendiğinde X, Y ve XY eksenlerindeki görüntülerin eğim dereceleri arttıkça, işlenmiş görüntü kalitesinde de bir düşüş olduğu görülmektedir. En yüksek bozulma 80° döndürülen görüntülerde olmuş ve PSNR değerleri düşmüştür. Bunun en temel nedeni, görüntünün en uzak kenarlarındaki piksel değerlerinin, eğimin artmasına paralel olarak sıkışması ve kaybolmasıdır. Eğimin 90° olması bu piksellerin tamamen kaybolması anlamına gelmektedir. 10° ve 80° arasında döndürülen görüntülerden alınan kesitler düzeltilerek orijinal görüntü ile karşılaştırıldığında, eğim derecesinin artmasıyla birlikte görüntü kalitesinde önemsenmeyecek bir oranda düşüş olduğu görülmektedir. Bu oran, kalibrasyon işleminin daha dikkatli ve doğru yapılması ile arttırılabilmektedir. Yöntemde, işlenmiş görüntünün orijinal görüntüye benzerlik oranının belirlenmesi için yapısal benzerlik (SSIM - Structural Similarity) testi uygulanmıştır. SSIM, iki görüntü arasındaki benzerliğin ölçülmesi için kullanılan bir yöntemdir (Wang, Bovik, Sheikh ve Simoncelli, 2004). x orjinal görüntüyü ve y işlenmiş görüntüyü, μ_x ve μ_y, x ve y' nin ortalamalarını, σ_x^2 ve σ_y^2, x ve y' nin varyanslarını, σ_{xy}, x ve y' nin kovaryanslarını, C_1 ve C_2, görüntüleri dengelemek için kullanılan sabit değişkenleri temsil etmek üzere SSIM, denklem (12) ile elde edilmektedir.

$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (12)$$

SSIM ile elde edilen yapısal benzerlik sonuçları Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5' den de anlaşılacağı üzere kalibrasyonun elle yapıldığı deneyler sonucunda ortalama benzerlik oranının ortalama %80 olduğu görülmektedir.

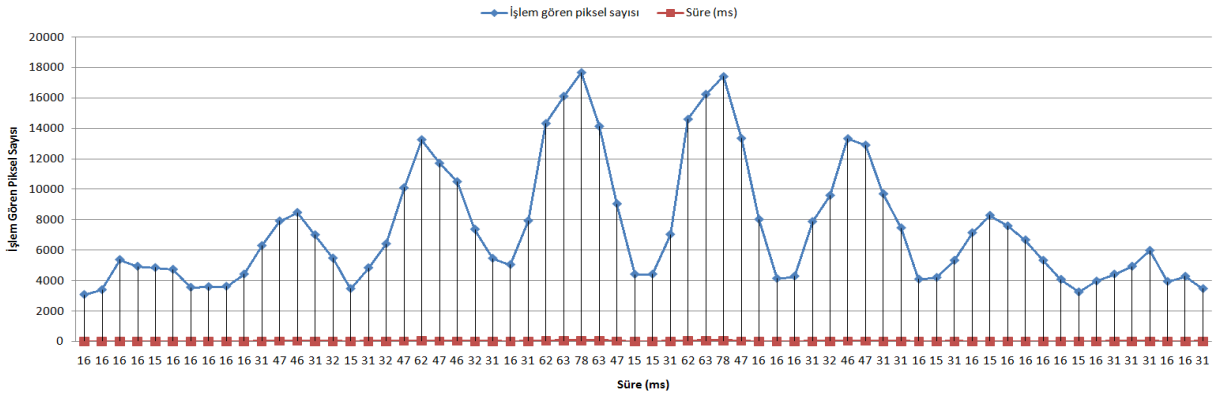
Tablo 5. Benzerlik oranları.

	Benzerlik		
Derece	**X**	**Y**	**XY**
10°	0.95230	0.96379	0.97600
20°	0.92547	0.86816	0.94436
30°	0.88321	0.82484	0.84174
40°	0.87785	0.81846	0.78226
50°	0.82555	0.75937	0.73372
60°	0.78104	0.75823	0.66550
70°	0.72275	0.72728	0.65126
80°	0.62881	0.62497	0.59119
Ortalama	**0.82462**	**0.79314**	**0.77325**

Önerilen yöntemin performans ölçümü Intel Core i7-4700HQ 2.40GHz İşlemcili ve 16 GB belleğe sahip bir bilgisayar üzerinde test edilmiştir. Performans ölçümü kaynağı belli olmayan bir görüntüdeki herhangi bir bölgenin düzeltilmesi ve kullanıcı tarafından belirlenen bir homografi matrisi yardımıyla olmak üzere iki şekilde yapılmıştır. Düzeltme ve performans ölçümleri Şekil 8' de verilen görüntüler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kaynağı belli olmayan görüntüler üzerinde yapılan performans ölçüm sonuçları Tablo 6' da, kullanıcı tarafından belirlenen (Şekil 8-(a)) homografi matrisi yardımıyla elde edilen ölçüm sonuçları ise Şekil 10' daki grafikte verilmiştir.

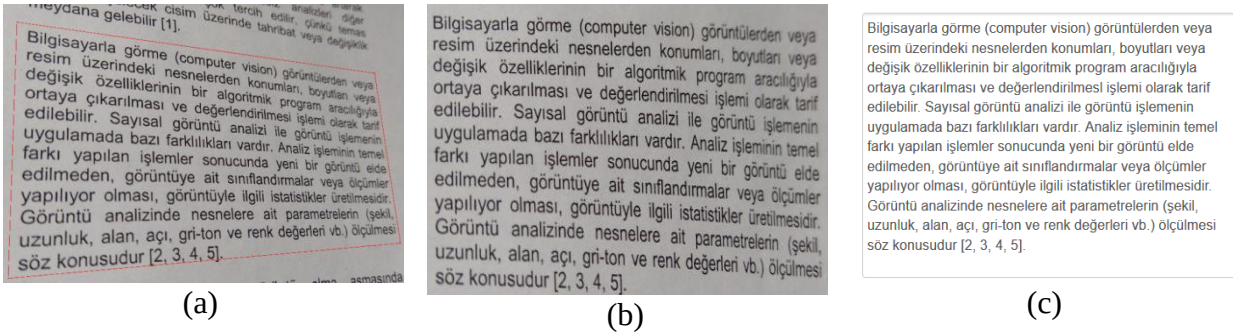
Tablo 6. Kaynağı belli olmayan görüntülerin performans ölçümü.

Görüntü	**İşlem gören piksel sayısı**	**Süre (ms)**
Çiftlik.bmp	154665	703
Kule.bmp	709930	813
Okul.bmp	1248880	1297



Şekil 10. Homografi matrisi yardımıyla elde edilen performans ölçümü.

Homografi matrisi kullanılarak Şekil 8-(a) üzerinde yapılan ölçümde her bir bölgenin performans ölçümleri ayrı ayrı yapılmıştır. Toplamda 475975 adet piksel 1.970 ms' de işlem görmüştür. Ayrıca elde edilen sonuç görüntüsü (Şekil 8-(b)) ile orijinal görüntü (Şekil 9-(a)) arasında SSIM yapısal benzerlik testi uygulanmış ve %93.87 oranında bir benzerlik olduğu görülmüştür. Bununla birlikte PSNR 11.10787 ve MSE değeri ise 5.1220 olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini görmek amacıyla perspektif bozulmaya uğramış metin görüntüleri üzerinde de testler yapılmıştır. Perspektif bozulma oranı belli olmayan bir metin görüntüsü önerilen yöntem ile düzeltilmiş ve tesseract OCR sistemi kullanılarak metine dönüştürülmüştür. Şekil 11' de gerçekleştirilen bir testin örneği gösterilmektedir. Düzeltilen görüntüdeki tüm karakterlerin %100 oranında elde edildiği gözlemlenmiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 11. Yöntemin perspektif bozulmuş metinler üzerinde test edilmesi (a)Perspektif bozulmuş görüntü (b) Düzeltilmiş görüntü (c) OCR yazılımından elde edilen sonuç.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu makalede, objektif özellikleri ve elde edildiği kaynağı bilinmeyen görüntülerde meydana gelen perspektif bozulmaların düzeltilmesini sağlayan güçlü bir yöntem sunulmuştur. Önerilen bu yöntemde perspektif bozulmuş görüntü içerisinde yer alan nesnelerin dikdörtgen veya kare olma zorunluluğu yoktur. Dolayısı ile perspektif bozulmuş herhangi bir görüntü içerisinde işaretlenen farklı ölçülerdeki dörtgensel bölgeler kolaylıkla düzeltilebilecektir. Benzer şekilde homografi matrisinin ölçüleri düzeltilecek bölgeye göre kullanıcı tarafından ya da otomatik olarak kolaylıkla oluşturulabilmektedir. Eğimin algılanması gibi bir önişlem gerekmemektedir. Eğimin algılanması düzeltme sırasında yapıldığından ek bir işlem yükü gerektirmemektedir. Kaynağı bilinen veya bilinmeyen bozulmuş görüntülerin düzeltilmesi sonucu elde edilen görüntüler dikkate alındığında gözle algılanabilir piksel kayıplarının olmadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ortam şartlarının zorlandığı, görüntülerin eksenler etrafında belli açılarla döndürüldüğü durumlarda dahi yüksek bir başarım elde edilmiştir. Bu başarım oranı bölge seçiminin

otomatikleştirilmesi durumunda çok yüksek olabilecektir.

5. Kaynaklar

Altıntaş, A. 2004. Dikdörtgen Kesit Alanına Sahip Bir Sargıda Uygun Sarım Tipinin Tespiti İçin Bir Yazılım. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (6), 163-174.

Boufama, B., Habed, A. 2005. Registration and tracking in the context of augmented reality. ICGST International Journal on Graphics, Vision and Image Processing , 5(3), 9-18.

Clark, P., Mirmehdi, M. 2001. Estimating the Orientation and Recovery of Text Planes in a Single Image. Proceedings of the 12th British Machine Vision Conference, Manchester, UK, 421-430.

Clark, P., Mirmehdi, M. 2000. Location and recovery of text on oriented surfaces. SPIE conference on Document Recognition and Retrieval VII, San Jose, CA, United States, 267-277.

Fangi, G., Gagliardini, G., Malinverni, E. 2001. Photointerpretation and Small Scale Stereoplotting with Digitally Rectified Photographs With Geometrical Constraints. Cipa 2001 XVIII International Symposium, Potsdam, Germany, 160-167.

Huang, J., Boufama, B. 2002. A semi-automatic camera calibration method for augmented reality. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Hammamet, Tunisia, 700-705.

Karaca, N. 2007. Alçak Çözünürlüklü Fotoğrafların Görüntülenmesi ve Bunların Optimizasyonu İle İlgili Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.

Li, X., Liu, W., Fan, W., Sun, J, Satoshi, N. 2016. Perspective correction using camera intrinsic parameters. 13th International Conference on Signal Processing (ICSP), Chengdu, China, 854-858.

Mirmehdi, M., Clark, P. 2000. Location and recovery of text on oriented surfaces. Document Recognition and Retrieval VII , 267-277.

Mohan, S., Avinash, N., Murali, S. 2013. Rectification of Perspective distortion using camera parameters -A Perspective Geometry Based Approach. ICGST International Journal on Graphics,Vision and Image Processing, 8(1), 1-7.

Phan, T.Q., Shivakumara, P., Tian, S., Tan, C.L. 2013. Recognizing Text with Perspective Distortion in Natural Scenes. IEEE International Conference on Computer Vision, Sydney, NSW, Australia, 569-576.

Pilu, M. 2001. Deskewing perspectively distorted documents: An approach based on perceptual organization. HPL-2001-100, HP Labs Technical Reports, Bristol.

Spitschan, B., Ostermann, J. 2017. Estimation of radial distortion using local spectra of planar textures. Fifteenth IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA), Agoya, Japan, 472-477

Takezawa, Y., Hasegawa, M., Tabbone, S. 2016. Camera-captured document image perspective distortion correction using vanishing point detection based on Radon transform. 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Cancun, Mexico, 3968-3974.

Tasdemir, S., Urkmez, A., Inal, S. 2011. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. Computers and Electronics in Agriculture (ISI), 76(2), 189–197.

Taşdemir, Ş., Ürkmez, A., İnal, Ş. 2011. A fuzzy rule-based system for predicting the live weight of Holstein cows whose

body dimensions were determined by image analysis. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences (ISI) , 19(4), 689-703.

Taşdemir, Ş., Ürkmez, A., Yakar, M., İnal, Ş. 2009. Sayısal Görüntü Analiz İşleminde Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Belirlenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye, 87-92.

Ulges, A., Lampert, C., Breuel, T. 2005. Document Image Dewarping using Robust Estimation of Curled Text Lines. International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Seoul, Korea, 1001-1005.

Ünsal, F.B. 2009. İki Boyutlu Doğrusal Koordinat Dönüşümleri. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

Wang, X., Klette, R., Rosenhahn, B. 2005. Geometric and photometric correction of projected rectangular pictures. Image and Vision Computing, New Zealand, 223-228.

Wang, Z., Bovik, A., Sheikh, H., Simoncelli, E.P. 2004. Image quality assessment: From error visibility to structural similarity. IEEE Transactions on Image Processing , 13(4), 600-612.

Weng, J., Cohen, P., Herniou, M. 1992. Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(10), 965-980.

Yan, W., Hou, C. 2016. Reducing perspective distortion for stereoscopic image stitching. IEEE International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW), Seattle, WA, USA, 1-6.

Zhou, L., Deng, Z. 2014. Perspective distortion rectification for planar object based on LIDAR and camera data fusion. 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Qingdao, China, 270-275.