

## **OTOMATİK YOL ÇIKARMA YÖNTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ** (AN OVERVIEW OF THE AUTOMATIC ROAD EXTRACTION METHODS)

**Oktay EKER**

### **ÖZET**

Hava fotoğrafı ve uydu görüntüleri; binalar, yollar ve köprüler gibi insan yapısı objeler, bitki örtüsünün karakteristiği ve konumu gibi yeryüzünün şekli hakkında bir çok bilgi sunmaktadır. Hava fotoğrafı ve uydu görüntüleri olmaksızın gerekli bilginin toplanması ve güncellenmesi çok pahalı ve zaman alıcı bir işlemdir.

Hava fotoğrafı ve uydu görüntülerindeki veriler, çok uzun zamandır klasik yollarla ve operatörler tarafından manuel olarak tespit edilmektedir. Bilgisayar teknolojisi ve dijital görüntü işleme alanlarındaki gelişmeler günümüzde bu işlemlerin otomatikleşmesine olanak sağlamaktadır. Otomatikleşmenin hedefi hızı arttırmak ve değerlendirme masraflarını azaltmaktır. Otomatik detay çıkarma kapsamında yapılan araştırma çalışmaları, öncelikle binaların ve yolların dijital görüntülerden otomatik olarak çıkarılması üzerine yoğunlaşmıştır. Yollar ve binaların, yüzey kaplaması, geometrik şekil, genişlik gibi karakteristik özelliklere sahip olması bu detayların tanımlanabilmesi ve belirlenebilmesini diğer detaylara göre daha kolay bir hale getirmektedir.

Yazının temel amacı, otomatik yol çıkarma konularında bir altyapı oluşturmak için, otomatik yol çıkarma problemini çözmek amacıyla geliştirilen çeşitli algoritmaları fazla ayrıntıya inmeden, genel olarak örnekler vermek ve karşılaştırmak suretiyle tanıtmaktır.

Öncelikle algoritmalar, kullanılan görüntülerin çözünürlüklerine göre düşük, yüksek ve çoklu çözünürlükte kullanılabilen otomatik yol çıkarma algoritmaları olarak sınıflandırılmış ve her sınıfa giren algoritmalar tek tek ele alınmıştır.

### **ABSTRACT**

Aerial and satellite images contain a lot of information about the shape of terrain as well as the location and characteristics of vegetation and man-made objects such as buildings, roads, bridges, etc. Without aerial or satellite images, the collection and update of required information would be a very expensive and time consuming process.

For a long time, the information in aerial photographs and satellite images, has been extracted manually. Increasing computer power and the progress in digital image analysis makes it nowadays possible to automate this task. The goal of the automation is to increase the speed and to lower the costs of feature extraction. Automatic building extraction and road extraction algorithms have investigated in most of the papers about automatic feature extraction, because the definition and determination of these features are more easy than the other features.

In this paper, automatic road extraction algorithms are described generally and some examples are given to give a brief information about this subject.

Firstly the algorithms are classified according to the resolution of the used images in three classes; Road extraction in low, high and multi-resolution. Then the methods belong to each classes are described separately.

## 1. GİRİŞ

12-23 Temmuz 2004 tarihlerinde İstanbul'da gerçekleştirilen ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Kongresinde dijital hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden yarı otomatik ve otomatik detay çıkartma konuları III ncü Komisyonda ele alınmış ve bu konuları içeren yaklaşık 34 adet bildiri sunulmuştur. Bu bildirilerin büyük bir bölümünde (yaklaşık 18 adet), yarı-otomatik ve otomatik yol çıkarma algoritmaları ele alınmıştır.

Kongre sırasında ticari firmaların açmış olduğu sergilerde yapılan incelemelerde, otomatik detay çıkarma algoritmalarının halen daha profesyonel ve ticari fotogrametrik yazılımlara entegre edilememiş olduğu gözlenmiştir. Sadece; Inpho firması tarafından geliştirilen InJect yazılımının dijital görüntüler üzerinden otomatik olarak 3 boyutlu bina modellerini çıkarabildiği tespit edilmiştir.

## 2. OTOMATİK YOL ÇIKARMA YÖNTEMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Son 20 yıldır, otomatik yol çıkartma işlemi ile ilgili olarak literatürde birçok farklı yaklaşım yayımlanmıştır. Bunlar birbirlerinden amaçları, elde edilebilir bilgileri ve yollar hakkındaki kabulleri açısından bazı farklılıklar göstermektedir. Bu yaklaşımları sınıflandırmak ve analiz etmek için çeşitli kriterler öngörülebilir, ancak yol çıkarma işlemi üzerindeki en etkili iki faktör, görüntülerin çözünürlüğü ile çıkarma işlemi başlatıp takip edecek bir operatör ihtiyacının olup olmamasıdır.

Görüntü çözünürlüğünün, yollar ve diğer objelerin tanımlanabilmesinde güçlü bir etkisi vardır. Sayısal görüntüler, sonsuz dünyanın sınırlı sayıdaki görüntü pikselleri üzerine iz düşürülmüş halidir. Yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerindeki ayırt edilebilir bir çok detay, görüntü çözünürlüğü düşükçe ayırt edilemez. Örneğin; 0.2m çözünürlüğündeki görüntüde kolaylıkla ayırt edilebilen yol kenarları, araçlar ve hatta yol işaretleri, görüntü çözünürlüğü 2m veya daha düşük olduğunda teşhis edilememektedir. Yollar; yüksek çözünürlüklü görüntülerde çok çeşitli şekillerde tanımlanabilirken, düşük çözünürlüklü görüntülerde, binalar gibi diğer çizgi detaylardan güçlkle ayırt edilebilecek şekilde çizgisel yapıda görünürler.

Yol çıkarımı için diğer önemli bir faktör de yol çıkarma algoritmaları ile insan arasındaki etkileşimin olup olmamasıdır. Bir operatörün müdahalesini gerektiren algoritmalara yarı-otomatik algoritmalar denir. Tam otomatik algoritmaların aksine, yarı-otomatik algoritmalar bir operatör tarafından etkileşimli olarak seçilen kaynak (seed) noktalarını temel alır. Yarı otomatik algoritmalar bu kaynak noktalarını gerçek yola en çok benzeyen çizgi ile birleştirilerek yolun tamamının çıkarılmasına olanak sağlarlar. Bu işlemi gerçekleştirirken en küçük kareler yöntemi, korelasyon analizi ve kalman filtreleri gibi yöntemleri kullanırlar. Ölçülen bu kaynak noktaları, yarı otomatik algoritmaların sorunlarını oldukça azaltır. Tam otomatik algoritmalarından farklı olarak, yarı-otomatik algoritmalar, yol bulma işlemleri ile uğraşmazlar ve genelde yol izleme algoritmaları olarak adlandırılırlar.

Otomatik ve yarı-otomatik yol çıkarma algoritmaları, kullanılan görüntülerin çözünürlüklerine göre düşük, yüksek ve çoklu çözünürlükte (multi-resolution) kullanılabilen algoritmalar olarak sınıflandırılmış ve her sınıfa ait örnek algoritmalar hakkında bilgi verilmiştir.

### a. Düşük Çözünürlükte Otomatik Yol Çıkarma Yöntemleri

Yukarıda belirtildiği gibi, düşük çözünürlüklü görüntülerde yollar çizgisel yapıda görünürler ve görüntüdeki diğer detaylardan ayırt edilmeleri oldukça zorlaşır. Küçük detayların görülememesi nedeniyle yollar, homojen yüzeylerdeki çizgiler şeklinde temsil edilirler.

İlk bakışta bu şekildeki bir basitleştirme avantaj olarak değerlendirilebilir fakat gerçekte, bu şekildeki bir temsilde, yollar görüntüdeki diğer çizgi detaylarla kolaylıkla karıştırılabilir /3/. Bununla birlikte, kapalı ve gölgeli görüntü parçalarındaki yol izlemeye, yolun tanımlanabilmesi için yeterli iz olmaması ve yol genişliklerinin tespit edilememesi nedeniyle, düşük çözünürlüklü görüntüler üzerinden otomatik algoritmalarla yol çıkarmada güçlükler yaşanmaktadır.

Zayıf yönlerine rağmen, düşük çözünürlükte otomatik yol çıkarmanın bazı üstün yanları da mevcuttur. Görülemeyen küçük yol detayları bir soyutlama yoluyla ihmal edilebilmektedirler. Soyutlama; altyapıların ihmal edilmesi ve değişik görüntü parçalarının birleştirilmesi yoluyla gerçekleşir. Yolların farklılık yaratan özel durumları daha az dikkate alındığından bu şekildeki bir soyutlama yolun tanımlanmasına yardımcı olur /8/. Düşük çözünürlükte otomatik yol çıkarma, çizginin çıkarılması genel problemini büyük ölçüde çözer /3/. Öte yandan, yüksek çözünürlüklü görüntülerde daha fazla bilgi olmasına rağmen, bu bilgilerden faydalanabilmek için daha fazla işleme gerek vardır. Diğer bir deyişle, yüksek çözünürlüklü görüntülerden otomatik yol çıkarma, düşük çözünürlüklü görüntülerden otomatik yol çıkarmaya kıyasla daha karışık algoritmalar gerektirir ve daha fazla zaman alır /9/.

#### (1) Kalıp Eşleştirme Yöntemi

Bajcsy ve Tavakoli tarafından 1976'da geliştirilen otomatik yol çıkarma yönteminde, yaklaşık 57mx79m çözünürlükte piksellere sahip görüntüler kullanılmıştır. Düşük çözünürlük nedeniyle, sadece 3 veya daha fazla şeritli ana yollar tespit edilebilmiştir. Algoritma tarafından ilk önce bir eşik (threshold) işlemi gerçekleştirilir, beklenen yol yoğunluğuna sahip noktalara 1, diğerlerine 0 değeri verilir. Sonra, bir yolun bulunduğu işaret eden, önceden tanımlanmış, 52 adet kalıp ile eşleşen görüntü parçaları taranır. Eşleşen parçalar, yol noktaları arasındaki mesafeler ve eğriliklerdeki sabitler kullanılarak yol parçaları ile birleştirilir. En sonunda algoritma, çizgileri bir piksel genişliğine kadar inceltir ve yolun anlamlı bir uzunluğa sahip olması gerektiğini kabul ederek kısa çizgileri atar /1/.

Yöntem, düşük eğrilik, uzunluk ve genişlik gibi yola has bilgileri kullanır. Yol yüzeyinin eşit yoğunluğa sahip olduğu kabulü, bir görüntüdeki farklı yollar ve farklı görüntülerdeki yollar için geçerli olmamaktadır.

#### (2) Dinamik Programlama Yöntemleri

Fischler'in 1981 yılında geliştirdiği yöntemde, başlangıçtaki zayıf eşik işlemi, mutlak yol yoğunluğu değerini sabitleyen, DYO (Duda Yol Operatörü) gibi çoklu yol ve köşe bulan işlemciler ile değiştirilmiştir. Bu çalışmada işlemciler iki sınıfa ayrılmaktadır: Birinci çeşit işlemciler, yolların dış hatlarıyla hassas olarak ilgilenmeksizin, yolun belirlenmesinde yüksek doğruluk sunarlar; İkinci çeşit işlemciler, doğru ve kesin tanımlamayı amaçlamazlar, fakat detayların çizgiselleştirilmesinde yüksek hassasiyet sunarlar. Birinci çeşit işlemcilerin uygulanmasıyla, çok sayıda atlama hatası yapma pahasına bile olsa yüksek olasılıkla yol parçalarına ait olan görüntü detayları elde edilir. Elde edilen yol parçaları, ikinci çeşit

işlemcinin sonuçları kullanılarak birleştirilen yol hipotezleri olarak kullanılır. İç birleştirme, bir dinamik programlama algoritması olan  $F^*$  algoritması kullanılarak gerçekleştirilir /3/.

Yakın zamanlarda, dinamik programlamaya dayanan benzer yaklaşımlar uygulanmıştır /10/. Grün ve Li Wavelet Dönüşümü ile yol keskinleştirmeyi bir ikinci çeşit işlemci çeşidi olarak kullanmışlardır. Ayrıca; sabit genişlik, düşük eğrilik, bağlantı yüzey homojenliği ve komşu araziyle kontrastlık gibi parametrelerle tanımlanan genel yol modelini ortaya koymuşlardır. Model bir dinamik programlama algoritması içine oturtulmuş ve yol eğriliği gibi sabitler atanarak kontrol edilmiştir /5/. Her iki yöntem de yarı otomatiktir, böylece birinci çeşit işlemcinin yol tanımlama görevi manuel olarak gerçekleştirilmiş olmaktadır.

### (3) Diferensiyel Geometrik Strateji Yöntemi

1996'da Steger tarafından otomatik çizgi ve yol çıkarımı için farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Yukarıda belirtilen yöntemlerde, sadece yerel gri değeri değişimi kullanılmıştır. Bunun yerine, çizgilerin konumunu alt piksel doğruluğunda tanımlayan bir diferensiyel geometrik yaklaşım önerilmiştir. Her bir piksel için, görüntü fonksiyonunun Gauss yumuşatma fonksiyonu türevi ile ikinci derece Taylor polinomu hesaplanır. Çizgiye dik doğrultudaki yüksek eğrilik ve kaybolan eğim değerlerinin hesaplanması için çizgi noktalarına ihtiyaç vardır. Yöntem, ölçek uzayında bir yapay çizginin çıkarımını analiz etmek suretiyle, çizgi çıkarımı için bir teorik temel sunmaktadır. Görüntü ölçeği ve aranan yolların genişliği arasındaki ilişki belirtilmekte ve uygun görüntü ölçeğinin otomatik hesaplanması için bir yöntem verilmektedir. Ek olarak, maksimum çizgi noktası sayısını koruyan, bağımsız çizgi noktalarını, çizgiler ve bağlantı noktalarıyla ilişkilendiren bir algoritma sunulmaktadır /13/.

### (4) Düşük Çözünürlükte Otomatik Yol Çıkarma Yöntemlerinin Özeti

Yukarıda açıklanan son yaklaşım, çizgi bazlı otomatik yol çıkarımındaki en güvenli yöntemi göstermektedir. Bu yöntem, tam otomatik bir yöntemdir. Yöntem keyfi kalınlıktaki çizgi çıkarımına ölçeklendirilebilir ve böylelikle yüksek çözünürlüklü görüntülere de uygulanabilir. Ayrıca; bağlantılar gibi yol özelliklerinin üstün yanlarını kullanmaz. Bundan dolayı, engellemeler, gölgeler veya zayıf kontrastlıklardan etkilendiğinden çıkarılan yollarda boşluklar görülebilir.

Bu genellikle, dinamik programlamaya dayalı algoritmalar için bir problem değildir. Dinamik programlama algoritmaları, yolları ormanlık ve yerleşim yerlerinde başarıyla izlemektedir. Bu başarı algoritmaların yarı-otomatik doğası sayesinde gerçekleşmektedir. Yolları tanımlamaya yarayan kaynak noktaları hakkında az ve eksik bilgi verilirse, dinamik programlama algoritmaları verilen noktalar arasında yolu takibe zorlanır. Eğer noktalar yola ait değilse veya farklı yollar üzerindeyse, algoritmalar noktalar arasında farklı bir yol takip edecektir. Ayrıca bu algoritmalar, tespit edilen yol hipotezlerini kabul etmeye veya reddetmeye yarayan kalite bilgisi vermezler. Garanti ettikleri, sadece görüntü içerisinde modellerine en iyi uyan birleştirici güzergahtır. Böylelikle dinamik programlama algoritmalarının potansiyel olarak yarı otomatik olduğu söylenebilir.

#### **b. Yüksek Çözünürlükte Otomatik Yol Çıkarma Yöntemleri**

Düşük çözünürlükteki duruma benzer olarak, yüksek çözünürlükte otomatik yol çıkarma yöntemlerinin hem üstün hem de zayıf yönleri vardır. Bir yönden, yol detaylarının

karakteristik özelliklerinin varlığı yolun bulunması için daha çok ipucu verirken diğer yönden, bu özellikler otomatik yol çıkarma algoritmalarının karmaşıklığını attırmaktadır.

Yollar çok çeşitli ve farklı özelliklere sahiptirler. Örneğin, yol kenarları kontrastlığın değişmesine neden olabilir, fotoğraf çekimi sırasında yol üzerinde farklı boyutlarda nesnelere bulunabilir (örneğin farklı boyuttaki otomobiller), yol yüzey kaplamasının cinsi ve kalınlığı farklılıklar gösterebilir. Algoritmanın karmaşıklığını düşük seviyede tutmak için değerlendirmeye alınacak yol özellikleri dikkatlice ve özenle belirlenip seçilmelidir.

Yolu belirleyecek özniteliklerin seçiminin yanı sıra, bu özniteliklerin yol çıkarma hipotezine hangi seviyede katkıda buldukları diğer bir deyişle ağırlıklarının ne olduğu da önemlidir. Örneğin, eğer bir algoritma yol kenarını değil de fotoğraf çekildiği sırada yol üzerinde bulunan bir otomobili tespit ederse, görüntünün yorumlanan kısmının bir yol parçası olarak kabul edilip edilemeyeceği sorusunun cevaplanması gerekmektedir.

Söz konusu sorunu formüle etmek için iki temel soru yanıtlanmalıdır:

- Yolu tanımlamak için mevcut özniteliklerden hangileri kullanılabilir?
- Belirlenen özniteliklerle ilgili bilgi, yolları tanımlayabilmek için nasıl birleştirilebilir?

İlerleyen paragraflarda anlatılan yaklaşımlar, bu sorulara farklı yanıtlar vermektedirler. Stratejilerine göre bu yöntemler iki ayrı grupta toplanabilirler:

Birinci grup, bir operatör yardımıyla çizilen yolun başlangıç segmentinin çeşitli algoritmalar ile devam ettirilmesini konu alan yol izleme algoritmalarını kullanan yöntemlerdir..

Diğer grup ise, yolun çevresinde ince bir şerit halinde kümelenmiş noktaların arasında bir interpolasyon yapılmasını inceleyen aktif kontur model (snakes) tabanlı algoritmalarını kullanan yöntemlerdir. Bunlar aşağıda özet halinde anlatılmıştır.

### (1) Yol İzleme Yöntemleri

Quam ve Lynn tarafından 1978 yılında geliştirilen yol izleyicisi, yol yoğunluk profilinin korelasyonunu kullanmaktadır. Eğer yolun başlangıç noktası, yönü ve bu noktadaki kalınlığı verilirse, görüntü fonksiyonu yol boyunca analiz edilir. Çapraz kısımlar; tahmin edilen yol noktalarında ve çapraz korelasyonda beklenen yol profiliyle çıkarılır. Çapraz korelasyon sonucunda bulunan hata miktarları, analiz edilen noktaları kabul veya reddetmede kullanılır. Gerçek yol konumu korelasyon kayıklığından hesaplanır. Korelasyonun tepe noktası zayıf ise, yol güzergahı üzerinde yeni noktalar belirlenir ve yöntem tarafından yapılan inceleme baştan tekrarlanır. Bu işlem güzel bir uyum bulana kadar devam eder veya daha önceden bulunan yolun çok ötesine gidilir. Yol yoğunluk profilinin değiştiği gerçeği her zaman dikkate alınmaktadır. Eğer yeni bir yol noktası için araştırma çok ileri giderse, yol profili için yeni bir hipotez oluşturulur ve araştırma tekrar edilir. Eğer uygunluk bulunamazsa izleme durdurulur /15/.

Yöntem, yollar hakkında değişmeyen, tutarlı fakat anomalileri olan bilgiler kullanır. Anomaliler genellikle fotoğraf alımı sırasında yollar üzerinde bulunan otomobillerden veya işaretlerden oluşur. Yöntem ayrıca, yolların genişliklerindeki ve yüzey kaplama maddelerindeki keskin değişikliklere dayanır. Böylelikle, oldukça fazla bilgi dikkate alınmış olur. Yine de, bu kadar çok bilgi her zaman istenilen sonuçları verecek anlamına gelmez. Çapraz korelasyon tekniği, korelasyon hatalarının nedenleri hakkında anlamlı bilgi sağlamaz. Bu nedenle yöntem, anomalilerin varlığını açıklayamaz ve onları yol dışındaki noktalardan ayırt edemez. Yol eğriliğindeki keskin değişiklikler olası olmadığından, algoritma kısa anomalileri yolun konumunu tahmin ederek birleştirir. Buna rağmen, eğer bir anomali, gölgelere, otomobillere vb. engellere bağlı olarak artarsa, algoritmanın yolu izleme konusunda

başarısız olma olasılığı oldukça yüksektir. Çünkü anomalilerde izlenen bir yolun, benzer bir profil içeren binalar ve diğer yollar gibi yakın nesnelere atlama olasılığı her zaman mevcuttur.

Tanımlanan problemleri çözmek amacıyla, McKeown ve Denlinger tarafından 1988 yılında farklı yol özelliklerine dayalı birkaç bağımsız yol izleyicisi önerilmiştir. Seçilen yol izleyicisinin, yol özelliklerinden bazılarına bağlı olarak başarısız olması durumunda, izleme ilkinden farklı özelliklerdeki bir algoritmaya sahip bir başka yol izleyicisi tarafından devam etmektedir /9/.

Tasarlanan "Otomatik Yol İzleyicisi" (OYİ) isimli algoritma, iki adet yol izleyicisi kullanmaktadır. Birincisi; Quam ve Lynn tarafından geliştirilen yöntemdeki gibi korelasyon bazlı bir izleyicidir. Diğeri, kenar bazlı bir izleyicidir. Bu izleyici, yolların oldukça az bir eğrilikte ve düz kenarları olduğunu kabul eder. Eğer bir yolun başlangıç noktası, yönü ve kalınlığı verilirse, yolun yönü boyunca birleşmiş kenar noktalarını arar. Bu yöntemde kenar noktalarının seçiminde aşağıdaki kabuller yapılmaktadır:

- Görüntü gradyen kuvveti, sabitlenmiş bir eşik değerinden daha büyüktür.
- Nokta, kenara dik yönde yerel maksimumdadır.
- Komşu piksellerin kenar açıları merkez pikselle 30 derece içerisindeydir /12/.

Her bir basamakta birkaç kenar noktası alınır ve değerleri hesaplanır. En büyük değere sahip nokta kenar noktası olarak seçilir. Minimum bir eşik değerinden hiçbir noktanın değeri yüksek değilse, tahmin etme işlemi yüzey izleyicisinde olduğu gibi yapılır. Tahmin geçerli bir nokta bulmaksızın çok ileri giderse, izleyici iptal edilir.

OYİ nin kontrol sürecinde, her bir yol izleyicisinin uyumsuz olarak sadece bir basamak ilerlemesine olanak tanınır. OYİ nde, yol farklılığının olup olmadığı sorgulanır. Eğer 7.5m den daha geniş bir farklılık tespit edilirse, her bir izleyicinin bağlı iyiliği hesaplanır. Yüksek güven değerine sahip izleyiciyi seçilir ve diğer izleyici, ilkinin pozisyonundan tekrara başlatılır. Eğer iki izleyicide de hesaplanan güven değeri düşük ise tüm işlem iptal edilir.

OYİ nin performans sonuçları, oldukça iyi bir düzeydedir. Kenar izleyicisi, yüzey izleyicisine anomaliler boyunca, yollara ilişkin az bilgi olmasına rağmen yardımcı olmuş ve bu da sistemin performansını artırmıştır. McKeown ve Denlinger, OYİ ye diğer izleme yöntemlerinin de entegre edilmesiyle tüm sistem performansının daha da geliştirilebileceğini iddia etmişlerdir.

Bu yöntemin en önemli eksikliği, çok sayıdaki parametrenin manuel ayarlama gerektirmesidir. Maksimal yol ayrılığı, yüzey izleyici için kabul edilen çapraz korelasyon hatası, kenarların minimum büyüklüğe sahip gradyeni sadece birkaç örnektir. Parametreler arasındaki ilişkinin kesin olarak belirtilmemiş olması, sonuç üzerindeki etkilerinin analizini zorlaştırmaktadır ve görüntü alanı değiştiğinde, örneğin yerleşim yerinden kırsal alana geçişte parametrelerin yeniden ayarlanmasını gerektirmektedir.

## (2) Aktif Kontur Model (Snakes) Tabanlı Yöntemler

Aktif kontur model tabanlı yöntemler kullanılarak çok sayıdaki parametre sayısı azaltılabilmektedir /7/. Çizgisel detayların çıkarımına ilişkin diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, aktif kontur model tabanlı yöntemlerin temel üstünlüğü, detayların geometrik özelliklerinin detayları belirlemede ve araştırmaya yön vermede doğrudan kullanılmasıdır.

Otomatik yol çıkarma işlemlerinde, aktif kontur model tabanlı yöntemler, yol kenarlarının ve merkez hatlarının belirlenmesinde başarıyla uygulanmaktadır. Bir yandan bağlantı, az eğrilik ve sabit genişlik gibi yol özelliklerine karşılık gelen geometrik sınırlandırıcılar aktif kontur model ile işbirliğine sokulur ve bu işlem tanımlanmış yol özelliklerini aktif kontur

model ile karşılayacak iç güçleri harekete geçirir. Diğer yandan, fotometrik sınırlandırıcılar, aktif kontur model ile görüntüler arasındaki ilişkiyi belirlemede kullanılırlar. Örneğin aktif kontur model yol kenarlarının belirlenmesi için uygulandığında, fotometrik sınırlandırıcılar, aktif kontur modelin eğriliği boyunca bir yerel maksimum belirlemede görüntü gradyen büyüklüğüne ihtiyaç duyar /14/.

İç ve dış güçler belirlendiğinde, yol çıkarma işlemi aktif kontur modelin konumunu optimize ederek gerçekleştirilir. Başlangıçta aktif kontur model, aranan yolun eğriliğinde ayarlanır. Sonra, iç ve dış güçlerin uyum sağladığı aktif kontur modelin şekline ve konumuna uymak için çeşitli hesaplamalar yapılır. Güçlerin uyumu, aktif kontur model ile yerleştirilen görüntü detayının, ona yakın diğer şeylerden daha çok yol özellikleriyle maksimum uyumunu garantilemektedir. Böylelikle, eğer aktif kontur modelin başlangıç konumu aranan yolunkine bağlı olarak yakınsa, optimizasyon işlemi yolun çıkarılmasını garantiler. Dahası aktif kontur modeller otomatik olarak anomalileri dikkate almazlar ve yolları gölgeler ve engeller içinden izleyebilmektedirler /4/. Çok görüntü kullanımında aktif kontur modelin optimizasyonu, farklı görüntüler ile değerlendirildiğinde yolların çıkarılmasını geliştirebilir /6/.

Bir önceki bölümde dikkat çekilen parametrelerin hiçbirisine burada gerek yoktur. Bununla birlikte; geleneksel aktif kontur model tabanlı yöntemler araştırılan yolların doğru başlangıç tahminine ihtiyaç duyarlar. Başlangıç tahminini basitleştirmek için Neuenschwander tarafından 1996 yılında geliştirilmiş bir yaklaşım ortaya konmuştur. Ziplock aktif kontur model adı verilen bu yöntemde, bir yolun iki uç noktasının (başlangıç ve son) belirtilmesiyle yol çıkarım başlangıç tahminin karmaşıklığı azaltılmıştır /11/.

### (3) Yüksek Çözünürlükte Otomatik Yol Çıkarma Yöntemlerinin Özeti

Yüksek çözünürlükteki görüntülerden görülebilen detayların çok olması, bu detayların otomatik olarak çıkarılması işlemlerini zor ve karmaşık hale getirmektedir. Aktif kontur model tabanlı yöntemler bütün elverişli bilgileri kullanmak yerine otomatik yol çıkarma işlemini paralel kenarların konumlandırılmasına indirgemektedir. Yol yüzeyine ait bilgiler dikkate alınmamaktadır. Optimize edilmiş aktif kontur modeller engellere ve gölgelere maruz kalmış yolların kenarlarını sıklıkla doğru olarak tahmin edebilmektedirler. Bununla beraber bu bölümde sözü geçen yöntemler konumlandırılacak detaylar hakkında az da olsa öznitelik bilgisine ihtiyaç duymaktadırlar. Dinamik programlama yöntemlerine benzer olarak yol modelini en iyi şekilde karşılayan kaynak noktaları arasındaki aralığı izlemektedirler. Doğru bir otomatik yol çıkarma işlemi gerçekleştirebilmek için aktif kontur model bir operatör yada daha üst düzey bir program tarafından başlatılmak zorundadır.

Yol izleme yöntemlerinin doğası yarı otomatik olmakla birlikte, başlangıç için daha az bilgi gerektirmektedir. Aktif kontur model tabanlı yöntemlerin aksine, yol yüzeyini analiz eder ve böylece kenarları görülemeyen veya yol çıkarımı için zayıf belirtiler gösteren yollarda belirlenebilir. Yöntemin zayıf yönü birçok eşik değerinin ve parametrenin manuel olarak ayarlanması gerektiğinden operatör eğitimine ihtiyaç duymasıdır.

#### c. Çoklu Çözünürlükte Otomatik Yol Çıkarma Yöntemi

Yukarıda sunulan yöntemlerin hiçbiri tam güvenilir ve tam otomatik bir yol çıkarımına olanak sağlamazlar. Hepsinin üstün ve zayıf yönleri mevcuttur. Düşük çözünürlükte kullanılan yöntemler basit yol modelleri kullanarak birçok yolu belirleyebilmektedirler, fakat bilgi yetersizliği nedeniyle bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Yüksek çözünürlükte kullanılan yöntemler daha çok bilgiye ulaşabilmekte ve yolları detaylı olarak belirleyebilmektedirler.

Bununla birlikte, görüntüdeki diğer objelerde birçok detayla temsil edildiğinden, bu detayların ayırt edilebilmeleri için otomatik yol çıkarma işlemi karmaşık yöntemler gerektirmektedir.

Her iki çözünürlükte kullanılan yol çıkarma algoritmalarının üstün yönleri çoklu çözünürlüklü yaklaşımda birleştirilmiştir /2/. Bu yöntem, yolların bulunması ve bunların doğrulanması olarak iki aşamalıdır. Yolların bulunması, düşük çözünürlükte kenar çıkarımı ile yapılırken yüksek çözünürlükte ise paralel kenarlar çıkarılır, kenarlar arasında homojen yüzeyler kontrol edilerek dikdörtgenler şeklinde gruplanır. Yakın ve kolineer dikdörtgen setleri yol parçaları şeklinde birleştirilir. Yolları doğrulamak için, her iki çözünürlükteki sonuçlar birleştirilir.

Açık kırsal alan görüntülerinde yapılan uygulamalar birçok yolun doğru şekilde çıkarılabileceğini göstermiştir. Bu yöntemde, yüksek çözünürlükte yapılacak olan detaylı görüntü analizi, düşük çözünürlükte gerçekleştirilen yol bulma işlemleri ile yönlendirilmektedir. Bununla birlikte, kapalı veya gölgeli yol parçaları dikdörtgenlerle modellenemediğinden yorumlamada sıkıntılar ortaya çıkmaktadır.

Çoklu çözünürlükte otomatik yol çıkarma yöntemi, yolların çoğunun düşük çözünürlüklü görüntüde çizgisel detaylar olarak görüldüğü durumlarda uygulanabilmektedir. Bu çoğunlukla kırsal alan görüntülerinde geçerlidir. Kentsel alanlardaki yoğun diğer komşu detaylar genellikle yolların teşhisini zorlaştırmaktadır. Bu tür alanlarda diğer otomatik yol çıkarma algoritmaları uygulanmalıdır.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fotogrametri ve Uzaktan Algılama uygulamalarında en çok zaman alan ve maliyeti en yüksek olan işlemler, vektör veri toplama işlemleridir. Çünkü, bu işlemler bir operatör yardımıyla manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Bilim ve teknolojideki gelişmelere paralel olarak bu işlemlerin de otomatikleştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir.

Hedef, veri toplama işleminin tam otomatik olarak gerçekleştirilmesini sağlamaktır fakat şu anda bunun gerçekleştirilmesi uzak görünmektedir. Hedefe ulaşmak için yan çözümler gerçekleştirilmektedir, bu yöntemler operatörün varlığını tamamen ortadan kaldırmamakla birlikte tekrar gerektiren işlemleri otomatize etmeyi başarmışlardır. Bu yöntemlere yarı otomatik yöntemler adı verilmektedir. Literatürde bu yöntemlerle elde edilen başarılarla sıkça rastlanmaktadır. Raster haritalardan veya revizyon kalıplarından otomatik olarak münhanilerin sayısallaştırılması yarı otomatik yöntemlere güzel bir örnek olarak verilebilir.

Hedef her ne kadar uzak görünse de araştırma çalışmaları yavaşlatılmamış, aksine artarak hızlandırılmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar her yıl katlanarak artmaktadır.

Bu yazıda, otomatik ve yarı otomatik vektör veri toplama işlemlerinin bir basamağı olan ve çizgisel detayların toplanmasına ışık tutan yol detaylarının, dijital görüntülerden otomatik ve yarı otomatik olarak toplanmasına olanak sağlayan otomatik yol çıkarma algoritmaları hakkında genel olarak bilgi verilmiş olup, gelişen otomatik ve yarı otomatik detay çıkarma algoritmalarının kavranmasını kolaylaştıracak bir alt yapı oluşturmak amaçlanmıştır.



**K A Y N A K L A R**

- /1/ Bajcsy, R.,Tavakoli, M. : Computer Recognition of Roads from Satellite Pictures, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 6(9): 623-637, 1976.
- /2/ Baumgartner, A., Steger, C., Mayer, H., Eckstein, W. : Multi-Resolution, Semantic Objects, and Context for Road Extraction, Akzeptiert für: Semantic Modelling and Topographic Information, 1997.
- /3/ Fischler, M., Tenenbaum, J., Wolf, H. : Detection of Roads and Linear Structures in Low Resolution Aerial Imagery Using a Multisource Knowledge Integration Technique, Computer Graphics and Image Processing, 15: 201-223, 1981.
- /4/ Fua, P., Leclerc, Y. : Model Driven Edge Detection Machine Vision and Applications, Vol. III, pp. 45-56, 1990.
- /5/ Grün, A., Li, H. : Road Extraction from Aerial and Satellite Images by Dynamic Programming, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 50(4): 11-20, 1995.
- /6/ Grün, A., Li, H. : Linear Feature Extraction with LSB-Snakes from Multiple Images, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. (31) B3/III, pp. 266-272, 1996.
- /7/ Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D. : Snakes: Active Contour Models, International Journal of Computer Vision 1(4): 321-331, 1987.
- /8/ Mayer, H., Steger, C. : A New Approach for Line Extraction and its Integration in a Multi-Scale, Multi-Abstraction-Level Road Extraction System, IAPR TC-7 Workshop: Mapping Buildings, Roads and other Man-Made Structures from Images, Oldenbourg Verlag, Wien, Österreich, 331-348, 1996.
- /9/ McKeown, D., Denlinger, J. : Cooperative Methods for Road Tracking In Aerial Imagery, Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 662-672, 1988.
- /10/ Merlet, N., Zerubia, J. : New Prospects in Line Detection by Dynamic Programmimg, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 18(4): 570-585, 1996.
- /11/ Neuenschwander, W. : Elastic Deformable Contour and Surface Models for 2-D and 3-D Image Segmentation, Hartung-Gorre Verlag,

Konstanz, 1996.

- /12/ Nevatia, R., Babu, K. : Linear Feature Extraction and Description, Computer Graphics and Image Processing 13: 257-269, 1980.
- /13/ Steger, C. : Extracting Curvilinear Structures: A Differential Geometric Approach, Fourth European Conference on Computer Vision, Band I, 630-641.
- /14/ Trinder, J., Li, H. : Extraction of Man-Made Features by 3-D Active Contour Models, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. (31) B3/III, pp. 874-879, 1996.
- /15/ Quam, Lynn H. : Road Tracking and Anomaly Detection in Aerial Imagery, Image Understanding Workshop, pp. 51-55, 1978.