

---

SERİ

**B**

CİLT

**39**

SAYI

**3**

**1989**

---

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
**ORMAN FAKÜLTESİ**  
D E R G İ S İ



# ROUTES: YOL GÜZERGÂHLARININ ÖN ETÜDÜ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI <sup>1)</sup>

Stephen E. REUTEBUCH<sup>2)</sup>

## Kısa Özet

Bu makalede, ROUTES bilgisayar programının analitik bir tanımı yapılmaktadır. ROUTES programı, hasat-transport ve planlamanın ön etüdü için hazırlanan PLANS yazılım paketinden entegre edilmiş bir bölümdür. ROUTES bilgisayar programı taşıtlı seyahat için önemli olan güzergâh etüdüde, yamaç eğimi ve yol eğiminin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu program ile planlayıcılar, büyük ölçekli topografik haritalar üzerinde yol güzergâhını seri bir şekilde belirleyebilmektedirler. Program, planlanmış yol boyunca, yamaç ve yol eğimlerini belirlemek ve profil noktalarını elde etmek için PLANS paketi içindeki MAP bilgisayar programının ürünü olan bir sayısal arazi modelini kullanır.

ROUTES programının çalışmasıyla ilgili ayrıntılı bilgiler istenildiğinde yazarından temin edilebilmektedir.

## 1. GİRİŞ

Tamamen sayısal arazi verileri kullanarak, topografik haritalar üzerinde güzergâhların projelendirilmesi için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bir plançı, ROUTES programını kullanmak suretiyle, dağlık araziler için nakliyat yollarının ön etüdünü yaparken alternatifleri seri bir şekilde geliştirebilir ve değerlendirebilir.

Bir yol sisteminin geliştirilmesi genellikle güzergâhların seçimi ile başlamaktadır. Güzergâh; bir yol çizgisinin, bir harita ya da hava fotoğrafı üzerine izdüşümlenmiş şekli ya da araziye uygulanmış eğimli bir hat olarak tanımlanmaktadır. Güzergâh, içerisinde eğim ya da güzergâh doğrultusu bakımından ön etüdüler ya da kesin arazi etüdüleri sırasında küçük değişiklikler yapılması mümkün olan, dar bir araziyi temsil etmektedir (PEARCE 1960).

1) Bu yazı, I.Ü. Orman Fakültesi, Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotometri Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi Mesut HASDEMİR tarafından dilimize çevrilmiştir.

2) Forestry Sciences Laboratory, 4043 Roosevelt Way, NE, Seattle Washington 98 105 USA

Yayın Komisyonuna Sunulduğu Tarih : 25.09.1990

Güzergâh seçimi, genellikle planlanan sahanın hava fotoğraflarının ve topografik haritalarının elde edilmesiyle başlamaktadır. Haritalar üzerinde güzergâhların projelendirilmesi için uygulanan manuel teknikler yıllardır kullanılmakta olup, geniş bir literatüre sahiptir (HOLMES 1982, PEARCE 1960, USDA FOREST SERVICE 1984). Plancı, eldeki maddi kaynakları, pahalı arazi tetkiklerine tahsis etmeden önce, muhtemel yol güzergâhlarının seçimi ile uğraşmakta ve bunun için haritayı bir geometrik model gibi kullanmaktadır.

Planlayıcı, geometrik modelde belirli bir yol güzergâhını tesbit etmek ve eğimler, uzaklıklar, yamaç eğimleri, kazı ve doldurular gibi yol niteliklerini belirlemek için bir dizi koordinat noktası ölçer. Bu nitelikler, alternatif güzergâhların karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Güzergâhların haritaya dayandırılarak seçimi, kontrolü yapılacak olan muhtemel güzergâhların arazi elitülerinin kaç malolacağı ve öncelik sıralarının belirlenmesinde plancıya büyük kolaylık sağlamaktadır. İşlem tümüyle titiz bir şekilde icra edildiğinde, arazi çalışmalarından günler, hatta haftalar tasarruf edilebilmektedir. Öyle ki alternatif güzergâhlar arasında geniş bir araştırma yapılırsa, bu tasarrufun daha da artması olasıdır. Zira birkaç olasılık detaylı bir şekilde incelendiğinde yol sistemi daha düzenli olarak belirlenebilmektedir. Bu tasarruflar, en iyi eğim ve doğrultuyla ilgili olup, yol yapım ve bakım maliyetleri ile nakliyat araçlarının çalışma ve bakım maliyetlerinin düşük olmasıyla sağlanmaktadır. Alternatif güzergâhların etrafı bir şekilde incelenmesi ile, verilen kararların değeri artmaktadır.

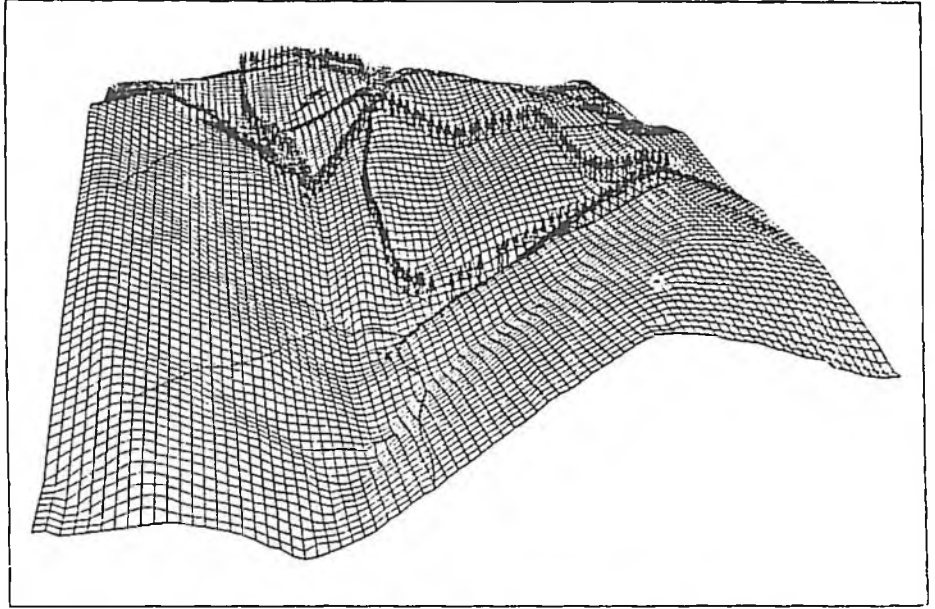
Alternatif yol güzergâhlarının etrafı bir şekilde araştırılması sonucu elde edilen bu faydalara rağmen, bazı plancılar bu uygulamadan kaçınmaktadır. Bunun nedeni ise, bu işin gerektirdiği iş hacminin bazen mevcut personel kapasitesinin üzerinde olmasıdır. Bazen de, alternatif güzergâhların belirlenmesi için yeterli zaman bulunmamaktadır.

Plancı, bilgisayar yardımıyla, harita ya da fotoğraflardan elde ettiği arazi verilerini sayısal şekle dönüştürmek suretiyle birçok alternatif yol güzergâhını seri olarak geliştirebilmekte ve değerlendirebilmektedir. Şekil-1, gridlenmiş bir sayısal arazi modelini (Digital Terrain Model DTM) göstermektedir.

Proje alanına ait sayısal arazi modelinin oluşturulmasından sonra plancı, onun üzerine çok sayıda güzergâh ilave edebilmektedir. Bilgisayar; sayısal arazi modelinden arazi koordinatlarını otomatik olarak çıkarabilmekte, güzergâhlar boyunca eğimleri, uzunlukları, yükseklikleri ve yamaç eğimlerini hesap edebilmekte ve güzergâh planı ile profil noktalarını, bunların manuel olarak yapılması durumunda gerekli olan sürenin çok az bir kısmında elde edebilmektedir.

Burke (1974) hasat ve transportun planlanması için sayısal arazi modellerinin yapılmasını savunan ilk kişilerden biri olup, Young ile Lemkow (1976) birlikte arazi verilerini sayısal arazi modellerine dayandıran birkaç planlama programı geliştirmişlerdir. Bu ilk çalışmalar, iyi bir şekilde sayısal şekle dönüştürülen ve yüklenen arazi verilerinin yeterli olabileceğini göstermiştir. Ancak bu çalışmalar günün bilgisayar teknolojisi ile sınırlı kalmıştır.

Bilgisayar donanımı sınır tanımamaktadır. 1980'li yılların başında Reutebuch (1981) ve Twito (1982) ayrı ayrı, kablo sistemlerinin planlanmasında, makineleştirilmiş bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Hesaplama donanımında herhangi bir sınırla karşılaşmamışlardır. Aynı zamanda her iki yazar, yol güzergâhlarının belirlenmesi probleminde sayısal arazi modelinin kullanılmasının olumlu sonuç vereceğinden söz etmiştir. Mifflin (1980), Lemkow (1977) tarafından geliştirilen bilgiler doğrultusunda, yol güzergâhlarının geçirilmesi ile ilgili olarak bir sayısal arazi modeli geliştirilmiştir. Mifflin'in programı, çok sayıda kontrol noktalarının belirlenmesi ile yol güzergâhının genel doğrultusunu ortaya çıkarmaktadır. Bu kontrol noktaları arasında sabit eğimli bir hat bul-



Şekil 1 : Gridlenmiş Bir Sayısal Arazi Modelinin Perspektif Görünüşü

mak için bir algoritma denenmiştir. Mifflin, kurplarla, sayısal arazi modeli ve harita arasındaki uyumsuzlukla, sayısal arazi modeli alanı dışına çıkan güzergâhlarla, kontrol noktalarına ulaşılması ve dik eğimli güzergâhın hakim olduğu mesafe boyunca düz arazilerin geçilmesi ile bağlantılı çeşitli problemleri çözüme kavuşturamamıştır. Bütün bu problemler, güzergâhın doğrultusunu belirlemede, kullanıcının görme yeteneklerinden ve deneyinden çok bir algoritmadan kaynaklanmaktadır.

Bu makalede belirtilen güzergâh projelendirme programı, Lemkow (1977) tarafından ileri sürülen görüşleri geliştirmektedir. Mifflin'in karşılaştığı problemler, algoritma dışında, iyi bir kullanıcı tarafından güzergâh doğrultusunun kontrol edilmesi suretiyle bertaraf edilmiştir.

## 2. ROUTES PROGRAMI

Yazar tarafından geliştirilen ROUTES programı ile planıcı, sayısal arazi verilerine dayanan yol güzergâhlarını oldukça seri bir şekilde geliştirebilmekte ve değerlendirebilmektedir. Program, Hewlett-Packard 9020 bilgisayarında BASIC 2.0 dilinde geliştirilmiştir. Bunun yanısıra programın icra edilebilmesi için küçük bir hesap makinasına, bir yazıcıya, bir uyumlu printere gereksinime vardır. Program; Amerikan Ormancılık Servisi, Pasific Northwest Araştırma İstasyonu, Orman Mühendisliği Sistemleri Araştırma Ünitesi tarafından geliştirilen PLANS (Nakliyat Analiz Sistemi Ön Etüdü) program dizisinin bir bölümünü kapsamaktadır.

ROUTES programını kullanmak için planıcı, proje sahasına ait topografik haritayı elde etmeli ve bu sahanın sayısal arazi modelini oluşturmalıdır. ROUTES programına veri kaynağı olabilecek topografik haritanın eşyükselti eğriler arası uzaklık maksimum 40 feet (12,192 m) ve ölçeğ de maksimum 1/1000 olmalıdır.

Sayısal arazi modeli, PLANS paketi içerisindeki MAP programından oluşturulur. Topografik harita sayısallaştırıcıya kaydedilerek proje alanı belirlenir. Proje sahasındaki eşyükselti eğrilerinin herbiri kopya edilir. Bu verilere dayanarak, MAP programı, proje sahasının gridlenmiş bir sayısal arazi modelini meydana getirir ve ROUTES programı tarafından daha sonra kullanılmak üzere bir dosyada muhafaza edilir.

Amerikan Jeolojik Araştırma Kurumu'nun geliştirdiği sayısal yükseklik modeli (DEM) gibi bazı dış kaynaklardaki sayısal arazi modelleri, PLANS DTM formatına dönüştürülmekte ve ROUTES programı tarafından kullanılabilir. Ancak PLANS paketi sayısal arazi modellerini diğer kaynaklardan PLANS formatına dönüştürmemektedir.

ROUTES programının en tipik çalıştırılma şeklinde; proje sahasının topografik haritası üzerine sayısal arazi modelinin kapladığı alanın sınırları işaretlenerek sayısallaştırıcıya kaydedilir ve sayısal arazi modeli bilgisayara yüklenir. Plancı, sayısallaştırıcı imleci proje alanına ait harita üzerinde hareket ettirdiğinde, ROUTES programı sayısal arazi modeli üzerinde bir alan belirleyici gibi çalışır. İmleç proje alanına ait harita üzerinde hareket ederken otomatik olarak ölçüler alır ve kompas, altimetre, klizimetre gibi ölçüm aletlerinin işlevini yapar.

İmleç hareket ettiğinde proje alanı üzerindeki planimetrik konumu bir X-Y koordinatı şeklinde belirlenir ve sayısallaştırıcı tarafından bilgisayara otomatik olarak hemen gönderilir. Yatay ekseninde imleç için bir nokta belirlendiğinde, ROUTES programı sayısal arazi modeli yardımıyla, sözkonusu noktanın yüksekliğini bulur. Yükseklikle birlikte imlecin birbirini takip eden belli konumlarında, yol boyunca noktalar arasındaki uzaklıklar ve eğimler hesap edilebilmekte ve ekranda görülebilmektedir. Bu temel hesaplamalar ROUTES programının iskeletini oluşturmaktadır.

Plancı, Şekil-2'de gösterilen menü seçeneklerinden birini seçmek suretiyle program akışını kontrol eder. Menü bilgisayar ekranında görüldüğünde plancı, sayısal imleci ilgili numaranın karşısına getirmek suretiyle dokuz seçenekten herhangi birini seçebilir. Plancı, klavye yerine sayısallaştırıcı imleci kullanarak işlem boyunca sayısallaştırıcıda kalabilir. Plancının yol projesini gerçekleştirirken istediği an haritaya bakabilmesi için klavye ile sayısallaştırıcı arasında dönüşümü sağlayabilecek bir ileri geri düğmesine gereksinim vardır.

#### SEÇENEKLERİNİZ ŞUNLARDIR :

1. YOL GÜZERGAHINA AİT PROFİL NOKTALARININ GÖRÜNÜMÜ
2. SAYISALLAŞTIRICI İMLEÇLE MEVCUT YOL GÜZERGAHINI ARA SIRA KONTROL ETME
3. GÜZERGAHA AİT SON DURUMUN ÇIKARILMASI
4. YOL BOYUNCA UZAKLIKLAR VE EĞİMLERİN BULUNMASI
5. YENİ EĞİM SINIRLARININ BELİRLENMESİ
6. BELİRLENMİŞ EĞİM SINIRLARINA GÖRE GÜZERGAHIN OLUŞTURULMASI
7. HERHANGİ BİR GÜZERGAH KISMININ PLOTER ÜZERİNDE GÖRÜNÜMÜ
8. BİR YOL GÜZERGAHININ SİLİNMESİ
9. PROGRAMIN BİTİRİLMESİ

Şekil : 2 ROUTES Programı Kontrol Menüsü

### 3. ROUTES PROGRAMININ KULLANILMASI

ROUTES programı, topografik haritalardan alınan güvenilir ölçümlere göre üç planlama işlemini gerçekleştirir:

1. Kontrol noktaları arasındaki eğim ve uzaklıkların bulunması
2. Plancının belirlediği eğimlere göre eğim hattının projelendirilmesi
3. Mevcut yollar boyunca eğimlerin, uzaklıkların ve yamaç eğimlerinin belirlenmesi.

**Kontrol noktaları arasındaki eğimin bulunması :** Plancı, güzergâh geçirme işlemine, genellikle planlanan alana ait topografik haritalar üzerindeki kontrol noktalarını belirlemek suretiyle başlar. Kontrol noktaları denilince; sırtlar, dere çatlakları, boyun noktaları ve bunların mevcut yollarla birleşme yerleri ile, bataklık, kayalık ve arazinin çok dalgalı olduğu yerler gibi kaçınılması gereken noktalar anlaşılmalıdır.

Kontrol noktaları arasındaki uzaklık ve eğimlerin hesap edilmesindeki aşamalar şu şekildedir. Eğim ve uzaklıkların bulunması için 4. menü seçeneği kullanılmaktadır (Şekil 2). İmleç güzergâhın başlangıcına getirilir. İmleç başlangıç noktasının üzerinde ortalandığında imleç tuşuna (\*) basılır. Plancı imleci tahmini yol güzergâhı boyunca kolay bir şekilde hareket ettirir. İmleç herbir kontrol noktasına geldiği anda 1. imleç tuşuna basılır. Bu suretle, kontrol noktaları arasındaki uzaklık ve eğim ile yolun başlangıcından olan uzaklık ve eğimler belirlenir. İmleç güzergâhın sonuna geldiğinde imleç tuşuna (#) basılır ve güzergâh boyunca eğim ve uzaklıkları içeren bir tablo elde edilir.

**Eğim hattının projelendirilmesi :** Güzergâh için elde edilen eğimlerin belirlenmesinden sonra, plancı, istenilen eğim sınırlarını tesbit etmelidir. Bu işlem, değişik eğim sınırlarının denemesini gerçekleştiren 5. menü seçeneği aracılığıyla yapılmaktadır. 6. menü seçeneğindeki eğimli hattın projelendirilmesi işi (Şekil 2), daha sonra topografik haritalar üzerinde güzergâh tasarımı yaparken kullanılabilir. Bu teknik, bir kişinin, birinci kontrol noktasından ikinciye ve diğerlerine, bir yamaçta aşağı ya da yukarı doğru giderek, arazide abney tesviye aletiyle yaptığı eğim belirleme tekniğiyle benzer niteliktedir.

İmleç, güzergâhın başlangıcında iken, 1., 2. ya da 3. imleç tuşu basılır. Şayet güzergâh bir sonraki kontrol noktasına doğru yükseliyorsa, 1. imleç tuşuna, güzergâh inişli çıkışlı ise 2. imleç tuşuna ve sürekli iniyorsa 3. imleç tuşuna basılır.

Plancının imleci birinci kontrol noktasından ikinci kontrol noktasına doğru genel doğrultuda hareket ettirdiğinde, imlecin pozisyonu otomatik olarak bilgisayara gönderilir ve sayısal arazi modeli yardımıyla yükseklikler ve eğimler bulunur. Hesap edilen bu eğim, yol güzergâhı için belirlenen eğimle karşılaştırılır. Bilgisayardan gelen ses, imlecin eğim doğrultusunda hareket edip etmediği konusunda plancıyı uyarır. Şayet imleç, yamaç üzerinde oldukça düşük bir yerde ise, zayıf bir ses ile plancı, eğimin yukarıya çekilmesi yani imleci yukarıya doğru hareket ettirmesi için ihtar edilir. İmleç yamaçta oldukça yüksek bir yerde ise, kuvvetli bir ses gelir ve plancının imleci düşük bir eğimle hareket ettirmesi istenir. İmleç eğim hattında ise orta tonda ve pürüzsüz bir ses gelir ve imlecin konumuna ait koordinatlar kaydedilir.

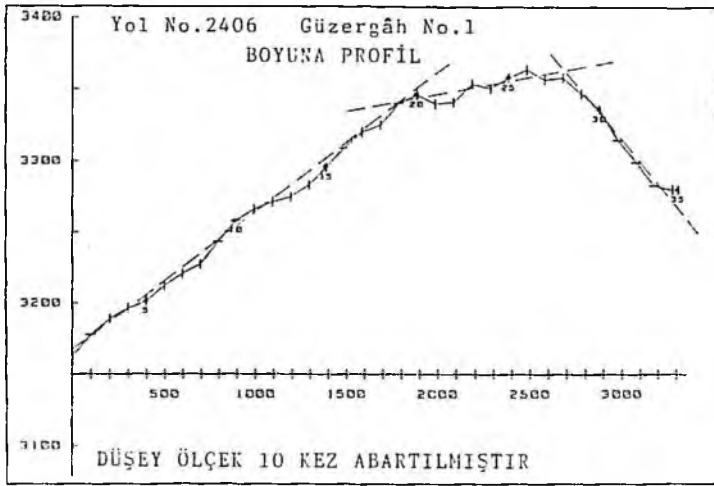
Bu işlem, imlecin ikinci kontrol noktasına ulaşmasına kadar tekrarlanır. Plancı, daha sonra 5. imleç tuşuna basarak istenilen başka bir eğime geçebilir ve tüm güzergâh kısımlarının projelendirilmesine kadar diğer kontrol noktalarına devam eder. Herhangi bir noktanın belirlenmesinde güzergâhın eğimi 1., 2. ya da 3. imleç tuşuna basarak düşürülebilir veya yükseltilebilir.

Güzergâhın sonuna ulaşıldığında (#) işaretli imleç tuşuna basılır. Plancı, program menüsünü

den sırasıyla 1, 2, 3 ve 7 nolu seçenekleri kullanarak güzergâh profili ile güzergâh boyunca belirlenen eğimleri, uzaklıkları, yükseklikleri ve yamaç eğimlerini bir tablo halinde elde edebilir.

**Eğimler ve uzaklıkların bulunması:** Plancı, örneğin, nakliyat süresinin belirlenmesi için mevcut bir güzergâh boyunca eğimleri, uzaklıkları ve yamaç eğimlerini hesap etmek isteyebilir. Bunların hesap edilmesi için de plancı sayısallaştırıcı imleç ile mevcut güzergâhı takip eder (Bkz. yukarıdaki kontrol noktaları arasındaki eğimin bulunması bölümü).

1. menü seçeneği güzergâha ait profili çıkarmaktadır. Güzergâh boyunca büyük eğim farklılığı meydana gelen yerlerdeki noktalar düz bir hatla ortaya çıkarılır (Şekil 3).



Şekil 3 : Mevcut Bir Yol Profilinden Büyük Eğim Farklarının Belirlenmesi

7. menü seçeneği ile, haritanın üzerine işlenmiş olarak güzergâhın plan görünümü elde edilir. Bu işe, haritada büyük eğim farklılıklarının olduğu yerlerin, plancı tarafından doğru bir şekilde işaretlenmesini sağlamaktadır.

Plancı 2. kez 4. menü seçeneğini kullanarak güzergâhı takip eder. İmleç, haritada işaretlenmiş bir eğim hattından geçerken 1. imleç tuşuna basılır ve bir önceki eğim ve uzaklıklar belirlenir. İmleç güzergâh sonuna ulaştığında imleç tuşuna (#) basılır ve güzergâh boyunca geçilen eğim ve uzaklıklar tablo halinde elde edilir.

Program, ayrıca, güzergâhla ilgili olarak, yamaç eğimlerinin klas durumlarını da bir tablo haline getirebilmektedir. Mevcut bir yolun yamaç eğimleri, yol güzergâhının takip edilmesinden sonra doğrudan 3. menü seçeneği kullanılarak elde edilmektedir.

ROUTES programıyla elde edilen güzergâh verileri dosyalanır ve ileride tekrar kullanılabilir. Bu özellik, plancının istediği zaman bir yol şebekesi geliştirmeye başlamasına ve önceden her-

hangi bir güzergâh analizi yapmaksızın işleme devam etmesine olanak sağlar. Plancı, yol şebekesine uygun güzergâhlar dışındaki, terkedilen güzergâh kısımlarını ayrı ayrı silebilmektedir.

Plancı herhangi bir proje alanında çalışmayı başlattığında, ROUTES programı, güzergâh verilerinin kaydedilmesi için bir dosya açar. Bir proje veri dosyasına 20 güzergâh ve bir diskete de sekiz dosya kaydedilebilmektedir. Herbir güzergâha, tanınması için 1'den 20'ye kadar bir numara verilmektedir. Eğim hesaplama işlemi sırasında (menü seçeneği 4), sayısallaştırıcı imleçle izlenen yolu ve X-Y koordinatları, proje dosyasındaki güzergâh numarasıyla kaydedilmektedir. Güzergâhın projelendirilmesi sırasında (6. menü seçeneği) kesin güzergâhın X-Y koordinatları kaydedilmektedir. Aynı proje dosyası içinde iki ya da daha fazla güzergâh için aynı güzergâh tanımlama numarası kullanılmışsa, sadece en son izlenen güzergâhın koordinatları kaydedilmektedir.

Program menüsündeki 8. seçenek; plancıya, proje dosyasından, güzergâhları ayrı ayrı seçerek silmesine olanak tanımaktadır. Plancı, program sona erdiğinde, bütün proje veri dosyalarını silebilmektedir.

#### 4. ANALİTİK TANIMLAMA

ROUTES programında kullanılan temel algoritmaların kısa bir tanımı aşağıda yapılmaktadır. Plancılar tarafından bu algoritmalar, eğimlerin ve uzaklıkların bulunmasında ve topografik haritalar üzerinde güzergâhların projelendirilmesinde on yıldan beri kullanılmaktadır.

**Eğim ve uzaklığın bulunması :** Eğim hesaplama programı, kullanıcı tarafından belirlenen bir dizi kontrol noktaları arasındaki uzaklık ve eğimlerin bulunması işini içermektedir. İmleç, güzergâhın birinci bölümünün başlangıcında konumlandırılır ( $X_1$   $Y_1$   $Z_1$ ).  $X_1$  ve  $Y_1$  sayısallaştırıcı tarafından ölçülmekte  $Z_1$  ise sayısal arazi modelinden elde edilmektedir. Plancı, imleci, güzergâh başlangıcından hareket ettirildiğinde, bu XYZ koordinatları imlecin yeni konumuna göre değer almaktadır. İmlecin katettiği uzaklık aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$d_n = d_{(n-1)} + [(X_n - X_{(n-1)})^2 + (Y_n - Y_{(n-1)})^2]^{0.5} \quad (1)$$

Burada:

$n$  = imlecin konumlanma sayısı

$d_n$  = imlecin güzergâhın başlangıcından  $n$ . imleç konumuna kadar hareket ettiği yatay uzaklık miktarıdır.

Güzergâhın başlangıç kısmından imlecin en son konumu arasındaki eğim miktarı da aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$g_n = [(Z_n + Z_1)/d_n] \times 100 \quad (2)$$

Burada

$g_n$  = güzergâhın başlangıcından imlecin  $n$ .konumu arasındaki eğim değeridir.

İmleç, genel doğrultuda 2. kontrol noktasına hareket ettiğinde, imlecin yeni yeri için X,Y,Z koordinatları otomatik olarak elde edilmektedir. İmlecin herbir yeni konumu için bir önceki konumundan olan uzaklığı (1) nolu denklem, güzergâh kısmının başlangıçtan itibaren eğimi ise (2) nolu denklem kullanılarak hesap edilmektedir.

İmleç ikinci kontrol noktasına ulaştığında, kullanıcı, herhangi bir imleç tuşuna basar ve birinci kontrol noktası ile ikinci kontrol noktası arasındaki eğimi elde eder. Bu ikinci kontrol noktası,



daha sonra güzergâhın ikinci kısmı için başlangıç noktası olmaktadır. Bu işlem, takip edilen güzergâhtaki tüm kontrol noktaları birbirleriyle bağlantılı bir hat teşkil edinceye kadar tekrarlanır. Yol güzergâhına ait bir seksiyonun eğim ve uzunluğunu içeren bir tablo Şekil 4'te verilmiştir.

PROJENİN ADI : 2406 NOLU YOL					
GÜZERGAH NO. : 1					
EĞİM DEĞİŞİM NOKTASI	SEKSİYON EĞİMİ %	SEKSİYON UZUNLUĞU (FT) (MI)		BAŞLANGICA UZAKLIK (FT) (MI)	
BAŞLANGIÇ				0	0.00
1	2,8	1353	0,26	1353	0.26
2	10,2	1230	0,23	2583	0.49

Şekil 4 : ROUTES Programıyla Gerçekleştirilen Eğim ve Uzaklık Hesabı

**Güzergâh Projelendirme Programı :** Kullanıcının, kontrol noktaları arasında istediği eğimleri belirlemesinden sonra, güzergâh, güzergâh projelendirme programı kullanılarak harita üzerinde projelendirilebilmektedir. Plancı, güzergâh eğiminin, güzergâhın sürekli yükseldiği, iniş ve çıkışların olduğu ve sürekli indiği kısımlarında hangi eğim değerlerine sahip olması gerektiğini belirler. Belirlenen bu eğim sınırları maksimum ve minimum eğim değerlerini içermekte ve harita üzerinde yapılan projelendirmelerde olduğu gibi güzergâhın eğimi bu eğim değerlerinin arasında kalmak zorundadır (Şekil 5).

**GÜZERGAH BELİRLENDİĞİNDE, İSTENİLEN EĞİMLERİN SEÇİMİ İÇİN AŞAĞIDAKİ İMLEÇ TUŞLARI KULLANILMAKTADIR :**

TUŞ	EĞİM PROJELENDİRME MODU
-1-	ÇIKIŞ EĞİMİ % 8 İLE %10 ARASINDA
-2-	EĞİM DEĞİŞİKLİĞİ %-4 İLE %2 ARASINDA
-3-	İNİŞ EĞİMİ %-12

BU EĞİMLERDEN HERHANGİBİRİNİ DEĞİŞTİRMEK İÇİN -5- İMLEÇ TUŞUNA BASINIZ.

Şekil 5 : Güzergâh Projelendirme Programında (6. menü seçeneği) Kullanılan Eğim Sınırları Tablosu.

Örneğin, plancı bir güzergâhın çıkış kısımlarındaki eğimin +8 ile +10 arasında sıralanmış olmasını isteyebilir. Plancı bunu gerçekleştirmek için de kabul edilebilir maksimum çıkış eğimi olarak +10 ve minimum çıkış eğimi olarak da +8 değerlerini kaydeder. Sürekli inen güzergâh kısımları için maksimum ve minimum olarak belirlenen iniş eğimi -12'dir. Güzergâh Projelendirme Programı: plancının, proje safhasında ya da daha önce istediği bir zamanda bu eğim değerlerini değiştirebilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca plancı, basit bir şekilde imleç tuşuna basarak, güzergâh projelendirmesinde olduğu gibi, istediği zaman çıkış eğiminden iniş eğimine geçebilmektedir.

Belirlenen eğim sınırlarının kaydedilmesinden sonra, plancı imleci güzergâhın başlama noktası üzerinde ortalar ve 1, 2 ya da 3. imleç tuşuna basar. Eğer güzergâh başlangıç noktasından ikinci kontrol noktasına doğru yükseliyorsa 1. imleç tuşuna, güzergâhın ilk bölümü inişli çıkışlı ise 2. imleç tuşuna ve güzergâh iniyorsa 3. imleç tuşuna basılır. Güzergâhın başlama noktası güzergâhın birinci kontrol noktası olup, eğim hattında olduğu kabul edilir. Sayısallaştırıcı, imlecin X-Y koordinatlarını bilgisayara gönderir ve program sayısal arazi modelinden başlangıç noktasının yüksekliğini ( $Z_s$ ) belirler. Daha sonra plancı imleci genel doğrultuda diğer kontrol noktasına doğru hareket ettirir. İmleç hareket ettiğinde, koordinatları ( $X_c, Y_c$ ) sürekli olarak bilgisayara gönderilir ve yüksekliği de ( $Z_c$ ) sayısal arazi modelinden hesap edilir. Başlangıç noktasına ve imlecin bulunduğu yere ait koordinatlar ve yükseklikler belli ise, imlecin bulunduğu yerin güzergâh başlangıç noktasına olan uzaklığı ve eğimi, (3) ve (4) nolu denklemler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$d_c = \left[ (X_c - X_s)^2 + (Y_c - Y_s)^2 \right]^{0.5} \quad (3)$$

Burada

$d_c$  = imlecin bulunduğu yer ile bir önceki nokta arasındaki yatay uzaklık

( $X_c, Y_c$ ) = imlecin bulunduğu yerin koordinatları

( $X_s, Y_s$ ) = imlecin bir önceki yerinin koordinatları

ve

$$g_c = \left[ (Z_c - Z_s)/d_c \right] \times 100 \quad (4)$$

Burada

$g_c$  = imlecin bulunduğu yer ile bir önceki yeri arasındaki eğim

$Z_c$  = imlecin bulunduğu yerin yüksekliği

$Z_s$  = Mevcut eğim sınırları içinde, bir önceki noktanın yüksekliğidir.

Elde edilen bu eğimin ( $g_c$ ) istenilen eğim sınırları arasında olup olmadığı aşağıdaki şekilde kontrol edilir:

$$(g_1 - T) < g_c < g_u + T$$

Burada

$g_1$  = En düşük eğim sınırı

$g_u$  = En yüksek eğim sınırı

T = Kabul edilebilir tolerans

(Programda % 2 tolerans değeri kullanılmıştır)

Bulunan eğim, şayet belirlenen eğim sınırları içerisinde ise, bu noktanın koordinatları tesbit edilir ve bu noktanın esas nokta ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) olduğu kabul edilerek kendisinden sonra gelen noktaların eğimi bu noktaya bağlı olarak hesaplanır. Eğim, belirlenen eğim sınırları arasında değilse, imlecin bulunduğu konumdaki koordinatlar ( $X_c, Y_c, Z_c$ ) terkedilir ve bilgisayar plancıya imlecin bulunduğu konumdaki eğiminin çok dik ya da alçak olduğunu bir ses ile belirtir.

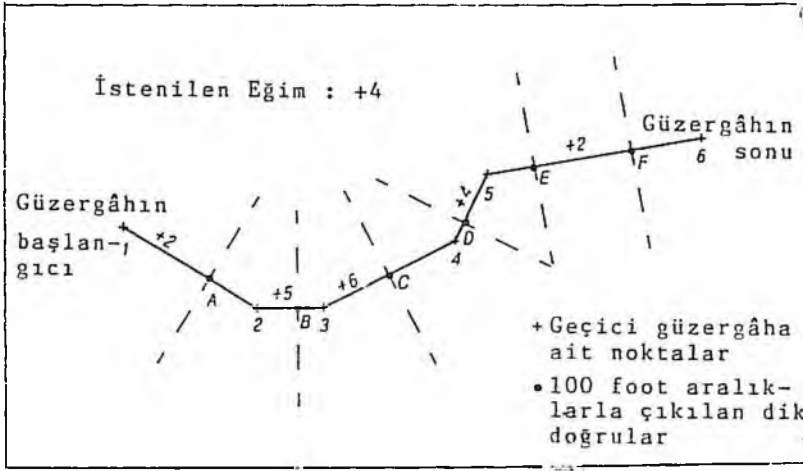
Bulunan eğimin kontrolü ve hesabı işlemi, plancının sesin ikazına göre imlecin herbir sonraki konumu için sürekli kontrolü şeklindedir. Plancı 5. imleç tuşuna basarak suretiyle, herhangi bir anda belirlenen eğim değerlerini değiştirebilir ve yeni eğim sınırlarını belirleyebilir. Keza eğim

projelendirme modu; güzergâhın, bir kontrol noktasından diğerine ilerlemesinde olduğu gibi 1., 2. ya da 3. imleç tuşuna basarak suretiyle çıkışlı, inişli-çıkışlı ve inişli durumlar arasında bir değiştirme yapabilmektedir.

Projelendirilen eğim, bir kontrol noktasına isabet etmediği takdirde, plancı imleç tuşu 0'a basarak bir önceki eğim değişim noktasına dönebilir. Eğim sınırları ayarlanarak güzergâh yeniden tekrarlanır.

Bir güzergâhın ön etüdünde, imlecin eğim hattının yukarı ya da aşağı doğru hareket ettirilmesi işlemi, düşük ya da yüksek bir tonda ses geldiği görülür ve bu da eğim değeri  $\pm 2$  içerisinde kalan noktaları içerir.

Geçici güzergâh boyunca 100 foot (30,48 m) aralıkla güzergâha dik doğrultular tertip edilir (Şekil 6).



Şekil 6 : Eşit Aralıklarla Dik Doğrultuların Belirlendiği Geçici Güzergâhın Plân Görünümü

Eğim sınırları içinde kalan bir arazi noktasının yerini belirleyebilmek için, bu dik doğruların her biri boyunca bir inceleme yapılır (Şekil 7).

Şekil 7'de görüldüğü gibi, C noktasındaki dik doğru üzerinde +4 değerine sahip bir arazi noktası bulunmamıştır.

Burada, istenilenin gerçekleştirilmesi için gerekli olan kazı derinliği hesaplanmıştır (Şekil 8). Gerekliğinde dolgu derinlikleri de benzer şekilde ölçülmektedir.

Şekil 9'da, kesin güzergâh, geçici güzergâhın üzerine işlenmiştir. Genellikle, kesin güzergâh ile geçici güzergâhın son noktada birleşmesi güç olmaktadır. Ancak, güzergâhın sonunda, kazı ya da dolgunun aynı olması zorunluluğu vardır.

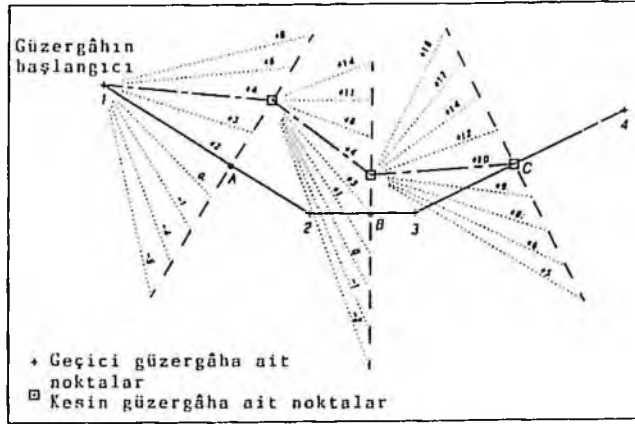
Kesin güzergâhta her bir noktaya ait koordinatların bulunmasından sonra, menü seçeneklerinden 1 ile bir güzergâh profili çıkarılabilir (Şekil 10). Bu çıkarım işi plancıya, profilin düşey ölçeğinin büyütme oranını tanımlamaktadır. Dik arazilerde ideal büyütme oranı 5'tir. Nisbeten düz arazilerde büyütme oranı 10 olarak alınmakta ve daha iyi sonuç vermektedir.

2. menü seçeneği, geçici güzergâha ait plânın bilgisayar ekranında görülmesini sağlamakta-

dır. Harita alanı içerisindeki imlecin yeri çapraz parıldayan bir işaret şeklindedir. İmleç hareket ettiği anda bu küçük işaret bir hat şeklinde hareket eder. İmlecin güzergâh boyunca kritik kontrol noktalarında konumlandırılması ile planı kesin güzergâhın bu noktalardan geçip geçmediğini seri bir şekilde belirleyebilir.

3. menü seçeneği kesin güzergâh boyunca kotları, eğimleri, kazıları, dolguları ve yamaç eğimlerini bir tablo halinde ortaya koymaktadır (Şekil 11). Ayrıca bu tabloda 10'luk kademeler halinde güzergâh yamaç eğimleri sınıflandırılmaktadır. Bu ise, yol yapım maliyetinin kabaca hesap edilmesinde kullanılmaktadır.

Güzergâh boyunca herbir noktaya ait yamaç eğimi, merkezi güzergâh noktasının merkezi olan 100 feet çapındaki bir dairenin etrafındaki maksimum yamaç eğimlerinin bulunması ile belir-



Şekil 7 : Belirlenen Eğimdeki Arazi Noktalarının Bulunması (Örnekte eğim +4'tür)

lenmektedir (Şekil 12).

Menü seçeneği 7 ise, kesin güzergâhın planını harita üzerinde grafik olarak belirlemektedir (Şekil 13). Bu grafik, topografik haritaya aktarılabilir ve güzergâhtaki her bir arazi noktasının yeri işaretlenebilmektedir. Bu ise, planın, Şekil 11'de tablo halinde gösterilen güzergâh verilerini seri bir şekilde haritadaki mevcut durum ile karşılaştırmasına olanak sağlamaktadır. Fazla miktarlarda kazı ve dolgu gerektiren yerleri ya da oldukça dik yamaç eğimlerinin bulunduğu yerler haritaya işaretlenebilmekte ve değerlendirilebilmektedir.

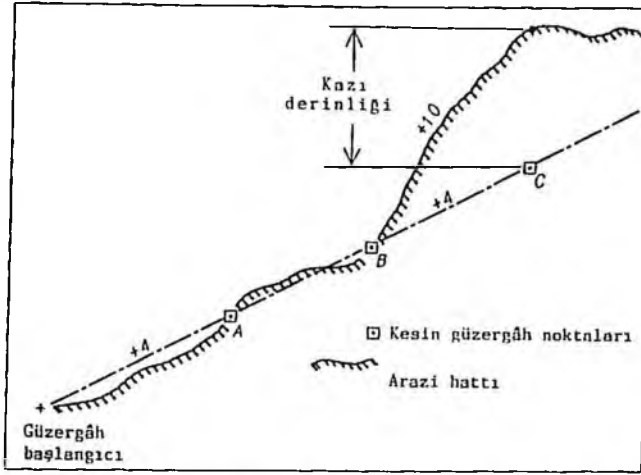
## 5. ROUTES PROGRAMININ SINIRLARI

ROUTES programı; sayısal arazi modelinin içerdiği arazi verilerinin kullanımını ve arazide etraflı bir şekilde incelenecek olan potansiyel güzergâhların belirlenmesini açıklamaya çalışmıştır. Güzergâhların başarılı bir şekilde tesbiti, ancak ROUTES programı tarafından kullanılan sayısal arazi modelinin mevcut araziye doğru bir şekilde tanımlanması ile mümkün olmaktadır. Şayet sayısal arazi modeli, arazinin doğru bir örneği değilse, program tarafından belirlenen güzergâhlar da uygun olmayacaktır.

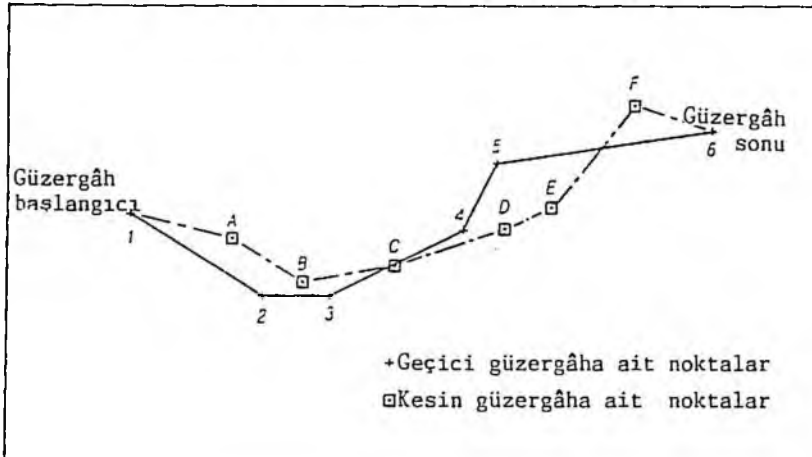
Sayısal arazi modeli kullanılarak projelendirilmiş güzergâhlar ile arazide projelendirilmiş güzergâhlar arasında her zaman bazı farklılıkların olabileceği gözönünde tutulmalıdır.

Bu farklılıklar üç nedenden kaynaklanmaktadır. Birinci ve en önemli neden; sayısal arazi modelindeki yüksekliklerin hatalı olmasıdır. Yükseklik hataları, haritanın oluşturulması sırasında

yapılan hatalardan kaynaklanmakta ve bazen oldukça büyük olabilmektedir. Örneğin, hava fotoğraflarından elde edilen ve eşyüksele eğrileri arasındaki uzaklık 20 feet (6,096 m) olan topografik bir haritanın; yeryüzeyinin yoğun bitki örtüsüyle kaplı olduğu ve operatörün araziyi tam olarak teşhis edemediği durumlarda, arazi noktalarının yüksekliklerinde bazen 100 feet kadar (30,48 m) ya da daha fazla hata içerdiği görülmektedir. Orman örtüsüyle kaplı bir alanda yeryüzeyinin aktüel durumunu gösteren eşyüksele eğrilerinin doğruluğu, operatörün isabetli tahminine bağlı olmaktadır. Stereo ploter vastasıyla elde edilen eşyüksele eğrileri en iyi şartlarda bile belli bir dereceye kadar düzeltilebilmektedir (WOLF 1983). Bununla birlikte planlayıcı, topografik haritadan eşyüksele eğrilerinin kopya edilmesi sırasında da hata yapabilmektedir. Eğer izleme sırasında eşyüksele eğrilerinden olan sapmalar az ise bu hatalar küçük olmakta, eşyüksele eğrisinin yüksekliği izlemeye başlamadan önce yanlış okunmuş ise bu hatalar daha büyük olmaktadır.

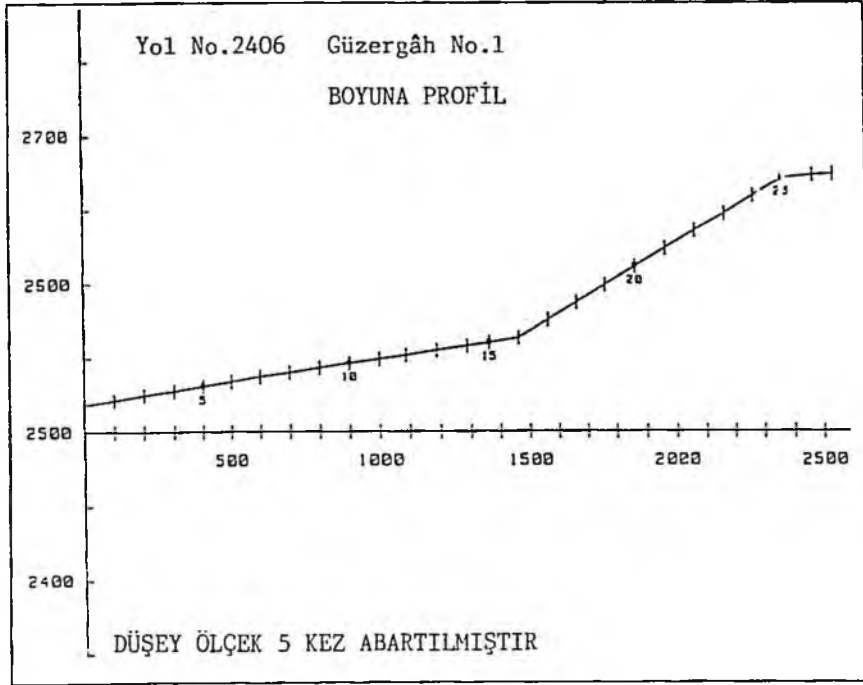


Şekil 8 : Eğim Hattında Bir Arazi Noktası Bulunmadığında Kazı Derinliğinin Bulunması



Şekil 9 : Geçici Güzergâhın Üzerine İşaretlenen Kesin Güzergâh

Farklılığın ikinci nedeni, eşyüksekti eğrilerinden yararlanılarak yapılan sayısal arazi modelinin oluşturulmasında kullanılan işlem olup, sayısal arazi modelinin herbir grid noktası için yüksekliğin belirlenmesinde, komşu eşyüksekti eğriler arasında yapılan enterpolasyondan kaynaklanmaktadır (LEMKOW 1977). Zira bu yükseklikler ölçülmemiş olduğundan, eşyüksekti eğrileri arasındaki uzaklığın yarısı kadar eksi ya da artı bir hata değerini taşıyabilmektedir.



Sekil 10 : ROUTES Programı İle Elde Edilen Güzergâh Profili

Farklılığın üçüncü nedeni ise, sayısal arazi modelinde grid noktalarının kaydedilen yükseklikleri arasında hesaplamadan kaynaklanan hataların bulunmasıdır. Bu durum, güzergâhtaki bir noktanın sayısal arazi modelindeki bir nokta ile çakışmadığı zaman ortaya çıkmaktadır. Lemkow (1977), bu son iki hata kaynağının fazla önemli olmadığını ortaya koymuştur.

Gerek ROUTES programıyla, gerekse manuel bir metolla yapılan, topografik haritalar üzerinde güzergâhların projelendirilmesi işlemi sırasında, planlayıcı her zaman arazi durumundan başka faktörleri ya da güzergâh doğrultusunun geometrik etkisini gözönünde bulundurmalıdır. Topografik haritalarda kayalık yüzey, ıslak toprak ve eğim stabilitesi kolay anlaşılabilir. Bu gibi özelliklerin mevcudiyeti, güzergâhta büyük değişikliklerin yapılmasını ya da güzergâhın tamamen terkedilmesini gerektirebilmektedir.

Program, bir yol yapımında etkili olan materyal miktarının hesaplanması işini gerçekleştirmemektedir. Kazı miktarı proje maliyeti üzerine büyük etki yapmaktadır. Buna rağmen sayısal arazi modelinden elde edilen enine kesitlere dayanarak yapılan hacim hesaplarının, ROUTES programıyla elde edilen yamaç eğimlerine dayanarak yapılan hesaplar arasında fazla bir fark bulunmamaktadır.

PROJE ADI : Yol No. 2406 GÜZERGAH NO. : 1

GÜZERGAH NOKTASI	DURAK (FT)	YÜKSEKLİK (FT)	YAMAÇ EĞİMİ %	EĞİM %
1	0	2518	63	3
3	200	2554	63	3
5	400	2531	90	3
7	600	2537	67	3
9	802	2544	56	3
11	1004	2550	82	3
13	1178	2556	55	3
15	1362	2561	71	3
16	1467	2564	76	3

BU GÜZERGAH KISMINDA EĞİM %3.2'DİR.

17	1568	2577	72	12
19	1764	2600	81	12
21	1972	2625	66	12
23	2173	2650	76	12
25	2372	2675	55	12

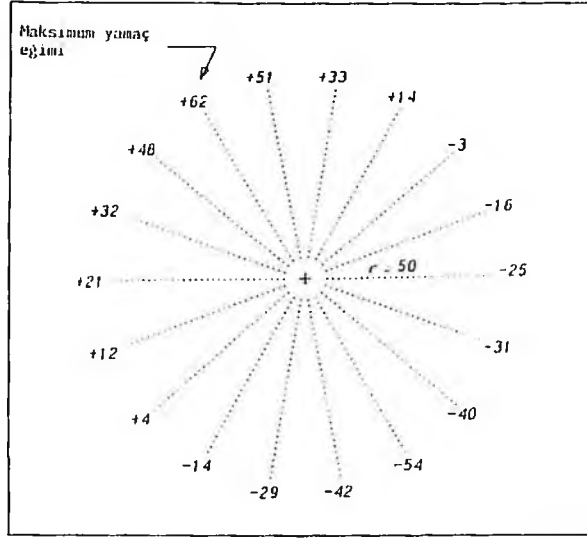
GÜZERGAHIN BU KISMINDA EĞİM %12.2'DİR.

27	2556	2680	39	3
----	------	------	----	---

GÜZERGAHIN BU KISMINDA EĞİM %2.9'DUR.

EĞİM KLAS DURUMU %	GÜZERGAHIN DURUMU	
	(FT)	(%)
0 - 10	0	0
10 - 20	0	0
20 - 30	0	0
30 - 40	42	2
40 - 50	0	0
50 - 60	580	23
60 - 70	651	25
70 - 80	596	23
80 - 90	687	27
90 - 100	0	0
100+	0	0

Şekil 11 : ROUTES Programı İle Elde Edilen Güzergâh Verileri

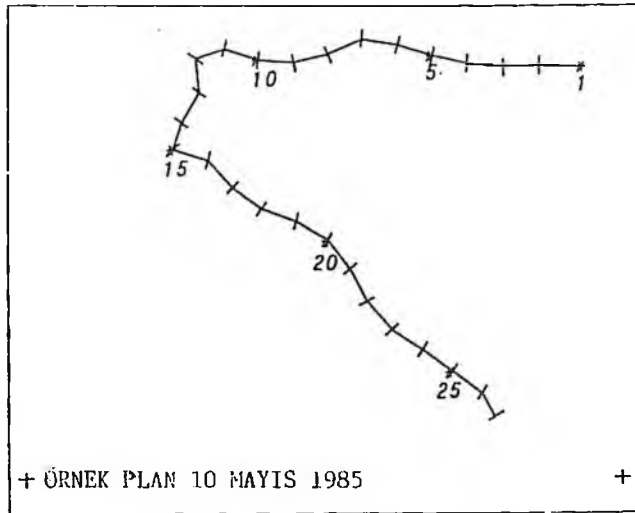


Şekil 12 : Güzergâh Üzerindeki Noktalarda Yamaç Eğimlerinin Bulunması

ROUTES programında, planlayıcı tarafından belirlenen ölçütlere göre en iyi güzergâhın çirilmesi söz konusu değildir. Program, sadece değişik eğim değerleri kullanılarak bir dizi alternatif güzergâhın seri bir şekilde geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Hem ekonomik hem de çevre koruma bakımından güzergâh seçeneklerinin değerlendirilmesinde tüm sorumluluk plancındır.

#### 6. KULLANIM TALİMATI VE YAPILMIŞ ÖRNEKLER

Bu yazının içeriğini aşama aşama gösteren ve ROUTES programı için hazırlanmış kullanım talimatı şeklinde bir ek mevcut olup istenildiğinde bir örneği yazarından temin edilebilmektedir.



Şekil 13 : ROUTES Programıyla Elde Edilen Güzergâh Planı



Bu ek, ROUTES programının nasıl kullanılabileceğini gösteren üç örneği içermektedir. Örnekler: eğimler ve uzaklıkların hesabı, belirlenmiş bir eğimle bir güzergâhın tasarımı ve mevcut bir yol boyunca eğimler ve uzaklıkların bulunması konularını göstermektedir. Bu örneklerin gerçekleştirilmesinde gerekli olan tüm veriler ile programla elde edilen sonuçlar sözkonusu ekte yer almaktadır.

## K A Y N A K L A R

- BURKE, D., 1974: *Skyline logging profiles from a digital terrain model*. In: Jorgensen, Jens, ed. *Skyline logging symposium proceedings; 1974 January 23-24; Seattle*. Seattle: University of Washington: 52-55.
- HOLMES, D.C., 1982: *Manual for roads and transportation, volume 1*. Burnaby, BC: British Columbia Institute of Technology. 314 p.
- LEMKOW, D.Zwl. 1977: *Development of a digital terrain simulator for short-term forest resource planning*. Vancouver, BC: University of British Columbia. 207 p. M.S. thesis.
- MIFFLIN, R.W. 1980: *Computer assisted timber access road layout*. Seattle: University of Washington. 138 p. M.S. thesis.
- PEARCE, J.K. 1960: *Forest engineering handbook*. Portland, OR: U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management. 220 p. Available from the Oregon State University Bookstore, Corvallis, OR.
- REUTEBUCH, S.E. 1981: *New technology in forest harvest planning*. In: Donovan, V.F., ed. *Tactical planning seminar proceedings 1981 June, Rotorua, New Zealand*. Project rep. 16 Rotorua, New Zealand: New Zealand Logging Industry Research Assoc.: 110-113.
- TWITO, R.H. 1982: *Can digital terrain model systems solve timber harvest planning problems?* In: Burke, Doyle; Mann, Charles; Schiess, Peter, eds. *5th Northwest skyline logging symposium proceedings; 1981 January 27-28; Seattle*. Contribution 43. Seattle: University of Washington, College of Forest Resources: 4-13.
- TWITO, R.H.; REUTEBUCH, S.E.; MCGAUGHEY, R.J.; MANN, C.N. 1987: *Preliminary logging analysis system (PLANS) overview*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-199 Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 24 p.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FOREST SERVICE. 1984: *Road preconstruction handbook*. FSH 7709.56. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 158 p.
- VALENTINE, W.H. 1982: *Improving road location network design with digital terrain models*. *Engineering Field Notes*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service; April-June, vol. 14: 11-18.
- WOLF, P.R. 1983: *Elements of photogrammetry, 2d ed*. New York: McGraw-Hill. 628 p.
- YOUNG, G.G.; LEMKOW, D.Z. 1976: *Digital terrain simulators and their application to forest development planning*. In: *Proceedings of the 1976 skyline logging symposium; 1976 December 8-10; Vancouver, BC*. Vancouver, BC: University of British Columbia Press: 81-99.