

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YOL GEÇKİSİ TASARIMINDA ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

NURSU TUNALIOĞLU

**DOKTORA TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. METİN SOYCAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YOL GEÇKİSİ TASARIMINDA ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Nursu TUNALIOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 14.07.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Metin SOYCAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Metin SOYCAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer AYDIN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat ERGÜN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halil ERKAYA

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

“Yol bir yere gitmez, O bir durma biçimidir...”

Y. Erdoğan

Geçki tasarımı bilgisayar teknolojilerinin kullanılmaya başlanması ile birlikte, tasarıma altlık olan verilerin elde edilmesi, işlenmesi, depolanması ve uygun standartlarda kullanıcılara sunulması, geçki tasarımı alternatif yaklaşımların araştırılmasını zorunlu kılmıştır. Bu tez çalışması ile amaçlanan, bu ilerleme ve gelişme sürecine önerilen yeni ve özgün yaklaşımlarla katkı sunmak ve bunların kullanılabilirliklerini araştırmaktır.

İlk olarak, doktora tez çalışmamın fikir ve gelişim aşamasında, başlangıçtan bitiş anına kadar beni her konuda destekleyen, bilgisini, tecrübesini ve farklı bakış açısını bu çalışmaya yansıtan ve bu sayede tezin yön bulmasını sağlayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Metin Soycan’ a teşekkür eder, şükranlarımı sunarım. Ayrıca, tezin 6 aylık zaman dilimleri ile izlenmesi sürecinde, değerli bilgi, birikim ve görüşleriyle büyük katkılar sunan hocalarım Sayın Prof. Dr. Ömer Aydın ve Sayın Doç. Dr. Murat Ergün’ e yönlendirmeleri için teşekkür ederim. Lisansüstü eğitim hayatımda doktora sürecine başlamama katkısı olan, bilgi ve tecrübesi ile bana daima ışık tutan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ali Arbey’ e de şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Destekleri ve yardımları ile sürekli yanımda olan çalışma arkadaşlarım, Arş. Gör. Kutalmış Gümüş’ e, Matlab programlama dilinde hazırladığım programda benden yardımlarını esirgemeyen ve bunun için zamanını ayıran Arş. Gör. Bahattin Erdoğan’ a ve bu süreçte her an hoşgörüsü, anlayışı ve desteği ile yanımda olan Taylan Öcalan’ a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Bu tez çalışması sürecinde, yeterli zamanı ayıramadığım ama her zaman yanımda olduklarını derinden hissettiğim ve bundan güç aldığım, hayatımın anlamı, anneme, babama, Duygu’ ya ve tezimin son zamanlarında hayatıma giren ve yaşama sevincim haline gelen yeğenim Arda Efe’ ye, yanımda oldukları ve bunu derinden hissettirdikleri için minnet ve teşekkürlerimi sunmak istiyorum. İyi ki vardınız...

Temmuz, 2011
Nursu Tunalıoğlu

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2.....	6
GEÇKİ ARAŞTIRMASI	6
2.1 Geçki Araştırmasında Dikkate Alınacak Hususlar	7
2.2 Geçki Tasarımında Kullanılan Yöntemler	9
2.2.1 Yatay Geçki Optimizasyonu için Kullanılan Modeller	10
2.2.1.1 Varyasyonlar Hesabı.....	10
2.2.1.2 Ağ Optimizasyonu	10
2.2.1.3 Dinamik Programlama	11
2.2.1.4 Genetik Programlama	12
2.2.2 Düşey Geçki Optimizasyonu için Kullanılan Modeller	13
2.2.2.1 Tüm Olasılıkların Denenmesi Modeli	13
2.2.2.2 Dinamik Programlama	13
2.2.2.3 Lineer Programlama.....	15
2.2.2.4 Sayısal Araştırma Yöntemi	16

2.2.3 Yatay ve Düşey Geçki Optimizasyonu için Eş Zamanlı Kullanılan Modeller 18	
2.2.3.1 Dinamik Programlama	18
2.2.3.2 Sayısal Araştırma Yöntemi	19
2.2.3.3 Genetik Algoritmalar (GA).....	20
2.2.4 Mevcut Modellerin Karşılaştırılması	21
BÖLÜM 3.....	25
YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNE DAYALI GEÇKİ PLANLAMA İÇİN ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR	25
3.1 Geçki Planlama ve Tasarımında Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelleri.....	25
3.2 Yatay Geçki Tasarımı için Geliştirilen Alternatif Yaklaşımlar	37
3.2.1 Açık ve Uzunluk ile Gridlerde Arama Yaklaşımı	39
3.2.2 Enkesitler Boyunca Arama Yaklaşımı	49
3.2.3 Basamak Yöntemi Yaklaşımı	58
3.3 Geçki Noktalarının Polinom Fonksiyon ve Geçki Elemanları ile Gösterimi 66	
BÖLÜM 4.....	71
GEÇKİ ARAŞTIRMA YAZILIMININ TASARLANMASI	71
4.1 Geçki Araştırma Yazılımı	71
4.2 Değerlendirme Yazılımının Ana Modülleri.....	73
4.2.1 Veri Girişi Modülü	73
4.2.2 Geçki Tipi Seçimi Modülü.....	76
4.2.3 Görüntüleme Modülü	77
4.2.4 Yaklaşımların Değerlendirilmesi Modülü.....	77
4.2.5 Sonuç Görüntüleme Modülü	79
BÖLÜM 5.....	81
ÖNERİLEN YAKLAŞIMLARIN TEST EDİLMESİ.....	81
5.1 LİDAR Verisi Kullanılarak Önerilen Yaklaşımların Test Edilmesi	81
5.2 Açık ve Uzunluk ile Gridlerde Arama Yaklaşımının Test Edilmesi.....	84
5.3 Enkesitler Boyunca Arama Yaklaşımının Test Edilmesi.....	93
5.4 Basamak Yöntemi Yaklaşımının Test Edilmesi	99
5.5 Önerilen Yaklaşımların Performans Değerlendirmesi	105
BÖLÜM 6.....	110
SONUÇ ve ÖNERİLER.....	110
KAYNAKLAR.....	113
EK-A.....	118

2., 3., 4. ve 5. GEÇKİ HATLARININ AÇI VE UZUNLUK İLE GRİDLERDE ARAMA YAKLAŞIMI SONUÇLARI	118
EK-B.....	120
AÇI ve UZUNLUK ile GRİDLERDE ARAMA YAKLAŞIMINDA 1.GEÇKİ HATTI İÇİN PROFİL ÇÖZÜMLERİ	120
EK-C.....	121
2., 3., 4. ve 5. GEÇKİ HATLARININ ENKESİTLER BOYUNCA ARAMA YAKLAŞIMI SONUÇLARI	121
EK-D.....	123
ENKESİTLER BOYUNCA ARAMA YAKLAŞIMINDA 1.GEÇKİ HATTI İÇİN PROFİL ÇÖZÜMLERİ	123
EK-E	124
2., 3., 4. ve 5. GEÇKİ HATLARININ ENKESİTLER BOYUNCA ARAMA YAKLAŞIMI SONUÇLARI	124
EK-F	126
BASAMAK YÖNTEMİ YAKLAŞIMINDA 1.GEÇKİ HATTI İÇİN PROFİL ÇÖZÜMLERİ	126
ÖZGEÇMİŞ.....	127

SİMGE LİSTESİ

g_a	Grid aralığı
$a_0, a_1..$	Polinom denklem katsayıları
A_N	Ara nokta
A_{Sd}	Alt sınır mesafesi
D_m	Dolanma katsayısı
E_N	Eşyükseklik eğrisine ait nokta
$G_{AB} \%$	Verilen iki nokta arasındaki boyuna eğim değeri
KK	Kırmızı kot vektörü
K_N	Kesişim noktası
P_{Ba}	Profil yatay eksen başlangıç koordinatları
P_{Bi}	Profil düşey eksen bitiş koordinatları
S	İki nokta arasındaki dolanma mesafesi
S_0	İki nokta arasındaki izdüşümü mesafesi
$S_{(\%)}$	İki nokta arasındaki boyuna eğim yüzdesi
ss	Arama aralığı
$\overline{U}$	Noktalar arası mesafe vektörü
$\ddot{U}_{Sd}$	Üst sınır mesafesi
y_s	İteratif arama işleminde limit yaklaşım değeri
α	Açıklık açısı, Jeodezik semt açısı: Herhangi bir yüzey eğrisinin, bir jeodezik paralel doğrultusu ile saat göstergesi yönünde yapmış olduğu açı değeri
Δh	Yükseklik farkı
$\Delta X, \Delta Y$	Yatay Koordinatlara ait farklar
ε	İteratif yaklaşım işleminde öngörülen tolerans değeri

KISALTMA LİSTESİ

BLUE	Best Linear Unbiased Estimator (Beklenen değere sadık doğrusal en uygun kestirici)
BLUP	Best Linear Unbiased Predictor (Beklenen değere sadık doğrusal en uygun tahmin edici)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
EKK	En Küçük Kareler
GA	Genetik Algoritma
GCARS	Generalized Computer Aid Route Selection
GNSS	Global Navigation Satellite Systems (Global Navigasyon Uydu Sistemleri)
GPS	Global Positioning System (Global Konum Belirleme Sistemi)
IMU	Inertial Measurement Unit (İnertiyel Ölçme Birimi)
INS	Inertial Navigation System (İnertiyel Navigasyon Sistemi)
KOH	Karesel Ortalama Hata
LIDAR	Light Detection and Ranging System
OCP	Optimum Curvature Principle
OECD	Organization of Economic Co-operation and Development
OPYGAR	Optimization and Automatic Generation of Longitudinal Profiles
PPP	Precise Point Positioning (Hassas Nokta Konumlama)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TRRL	Transportation and Road Research Laboratory

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3. 1 LIDAR verilerinden SYM' ye geçiş süreci	28
Şekil 3. 2 Temel LIDAR ölçme sistemi [44]	29
Şekil 3. 3 Çalışmada izlenen genel işlem akış diyagramı	38
Şekil 3. 4 Arama çemberinin belirlenmesi (a: grid aralığı)	41
Şekil 3. 5 Jeodezik koordinat sistemine göre arama çemberlerinin tanım aralıkları ...	42
Şekil 3. 6 Aç ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının işlem akışı	43
Şekil 3. 7 Geçkinin yatay planda sunumu	44
Şekil 3. 8 Arazide dönüşün yaşandığı kesite örnek	48
Şekil 3. 9 B noktasında yaklaşım mesafesi denetiminin olmama durumu.....	48
Şekil 3. 10 B noktasında yaklaşım mesafesi denetiminin olma durumu.....	49
Şekil 3. 11 Enkesitler boyunca arama yaklaşımının grafiksel gösterimi.....	50
Şekil 3. 12 Enkesitler boyunca arama yaklaşımının işlem akışı.....	51
Şekil 3. 13 İlk oluşturulan yatay geçkinin 2 boyutlu görünüşü	52
Şekil 3. 14 Başlangıç boykesiti.....	52
Şekil 3. 15 Enkesitlerde sınır koordinatlarının bulunması.....	55
Şekil 3. 16 Eşyükseklik eğrisi ile çıkartırma (KN: Kesişim Noktası, EN: Eşyükseklik Eğrisi Noktası)	57
Şekil 3. 17 Geçkinin yatayda gösterimi (KN: Kesişim Noktası)	57
Şekil 3. 18 Aynı yükseklik değerine sahip iki nokta için kesişim noktası seçimi.....	58
Şekil 3. 19 Çalışma bölgesinin seçimi	59
Şekil 3. 20 Seçilen çalışma aralığının grafiksel gösterimi	60
Şekil 3. 21 Basamak yöntemi yaklaşımının işlem akışı	61
Şekil 3. 22 Yükseklikler ve eğri uzunluklarına göre oluşturulan boykesit	63
Şekil 3. 23 İki doğrunun kesişimi	64
Şekil 3. 24 Eğri üzerinde kesişim noktalarının hesaplanması için işlem akışı.....	65
Şekil 3. 25 Yaklaşımın eğriler üzerinde gösterimi	66
Şekil 3. 26 Geçki elemanları hesabı işlem akışı	66
Şekil 3. 27 Geçki elemanları kurp yarıçapı kestirimi işlem akışı.....	68
Şekil 4. 1 Geçki araştırma ve değerlendirme yazılımının grafiksel kullanıcı arayüzü ...	72
Şekil 4. 2 Veri girişi modülü	73
Şekil 4. 3 Yazılım içinde sayısal yükseklik modeli oluşturma seçim paneli	74
Şekil 4. 4 Arazi verisinin yazılıma aktarılması	75
Şekil 4. 5 İki ana kontrol noktasının a. Manuel veri girişi b. Şekil üzerinden seçim ile veri girişi	76
Şekil 4. 6 Geçki tipi seçimi modülü.....	76

Şekil 4. 7	Değerlendirme yazılımı veri görüntüleme modülü.....	77
Şekil 4. 8	Önerilen alternatif yöntemlerin seçimi için oluşturulan modül	78
Şekil 4. 9	Değerlendirme yazılımının yatay ve düşey sonuç görüntüleme ekranı.....	80
Şekil 5. 1	LIDAR verisine dayalı elde edilen SYM ve geçki noktaları.....	82
Şekil 5. 2	Test çalışması için oluşturulan geçki hatları.....	83
Şekil 5. 3	LIDAR verisi kullanılarak elde edilen SYM' nin yazılıma aktarılması	85
Şekil 5. 4	Geçki noktalarına ait üç boyutlu koordinatların manüel girişi	85
Şekil 5. 5	Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen A-B geçkisi.....	86
Şekil 5. 6	Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen B-C geçkisi	86
Şekil 5. 7	Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen C-D geçkisi.....	86
Şekil 5. 8	Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen D-E geçkisi	87
Şekil 5. 9	Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar	89
Şekil 5. 10	Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen 1. geçki hattı plan gösterimi	90
Şekil 5. 11	Açı ve mesafe ile gridlerde arama yaklaşımında 1. geçki hattına ait polinom fonksiyon uygulaması.....	91
Şekil 5. 12	Açı ve mesafe ile gridlerde arama yaklaşımında elde edilen geçkinin yatay planı.....	92
Şekil 5. 13	Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen A-B geçkisi.....	93
Şekil 5. 14	Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen B-C geçkisi.....	94
Şekil 5. 15	Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen C-D geçkisi	94
Şekil 5. 16	Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen D-E geçkisi.....	94
Şekil 5. 17	Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar	96
Şekil 5. 18	Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen 1. geçki hattı plan gösterimi	96
Şekil 5. 19	Enkesitler boyunca arama yaklaşımında 1. geçki hattına ait polinom fonksiyon uygulaması.....	98
Şekil 5. 20	Enkesitler boyunca arama yaklaşımında elde edilen geçkinin yatay planı... ..	98
Şekil 5. 21	A-B geçkisine ait sınırlandırılmış alan	99
Şekil 5. 22	B-C geçkisine ait sınırlandırılmış alan	100
Şekil 5. 23	C-D geçkisine ait sınırlandırılmış alan	100
Şekil 5. 24	D-E geçkisine ait sınırlandırılmış alan	100
Şekil 5. 25	Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen A-B geçkisi.....	101
Şekil 5. 26	Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen B-C geçkisi.....	101
Şekil 5. 27	Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen C-D geçkisi.....	102
Şekil 5. 28	Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar	103
Şekil 5. 29	Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen 1. geçki hattı plan gösterimi ..	103
Şekil 5. 30	Basamak yöntemi yaklaşımında 1. geçki hattına ait polinom fonksiyon uygulaması	104
Şekil 5. 31	Basamak yöntemi yaklaşımında elde edilen geçkinin yatay planı.....	105

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Yatay geçki optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları [9]	21
Çizelge 2. 2 Düşey geçki optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları	22
Çizelge 2. 3 Yatay ve düşey geçki optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları [9]	24

YOL GEÇKİSİ TASARIMINDA ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Nursu TUNALIOĞLU

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Metin SOYCAN

Bu çalışmanın amacı, yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeline dayalı verilen başlangıç ve bitiş noktalarına bağlı oluşturulacak geçkilerin alternatif yaklaşımlar kullanılarak incelenmesidir. Önerilen yaklaşımlarda kullanılan amaç fonksiyonu, istenen eğim şartını sağlayan ara noktaların tespit edilmesidir. Amaç fonksiyonu, eğim değerine göre bulunan geçki ara noktalarının yükseklikleri ile mevcut yükseklik değerlerinin farkının minimum olması koşuluna göre düzenlenmiştir. Bu sayede, elde edilen geçki, kazı dolgu dengesini sağlayarak toprak işini minimize etmektedir.

Bu amaçla, tez çalışması kapsamında klasik ve mevcut geçki araştırmalarına alternatif olarak, işlem algoritmaları ve hesaplama teknikleri ile birlikte üç farklı yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımlar, Açık ve uzunluk ile gridlerde arama, Enkesitler boyunca arama ve Basamak yöntemi' dir. İlk yaklaşım olan Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımında geçki hattına ait aranan ara noktaların tespit edilmesi, değişen açı değerlerine bağlı oluşturulan arama çemberi üzerindeki noktaların eğim değerlerine ve sabit arama uzunluk değerine bağlı olarak yapılmaktadır. Önerilen yaklaşım ile grid veri yapısındaki arazi verisinde, geçkiye ait başlangıç ve bitiş noktalarının üç boyutlu koordinat değerleri başlama kriteri olarak alınmıştır. Bu sayede uygun ara noktaların otomatik olarak tespit edilmesi sağlanmıştır. İkinci yaklaşım olan Enkesitler boyunca aramada, uygun geçki noktalarının bulunması için sabit eğim koşulu göz önüne alınmıştır. Yatay plan üzerinde birleştirilen başlangıç ve bitiş noktalarının meydana getirdiği doğru parçasına dik olarak yerleştirilen enkesit doğrultularında aramanın yapılması tasarlanmıştır. Buna göre, üç boyutlu koordinatları verilen başlangıç ve bitiş noktalarının yükseklik değerleri farkı, çalışma bölgesini kapsayan alan içinde

tanımlanan yükselme ya da alçalma aralığında, herhangi bir noktada sağlanmaktadır. Yükseklik değerleri bilinen geçki ara noktalarının, çalışma bölgesi içinde yatay koordinatlarının bulunması enkesitler üzerinde aramaya dayandırılmıştır. Son yaklaşım olan Basamak yöntemine dayalı geçki araştırma yaklaşımında, birbirini takip eden eşyükseklik eğrileri arasında doğrusal olarak kurulan ilişkiye dayalı olarak, çalışma bölgesinin sınırladığı alan içerisinde yatay geçki noktalarının hesaplanması amaçlanmıştır. Yaklaşımında hesaplama süreci, başlangıç noktasının bulunduğu eşyükseklik eğrisine ait kot değeri ile bitiş noktasının bulunduğu eşyükseklik eğrisine ait kot değeri arasında sabit eğim koşulu dikkate alınarak, eğriler üzerinde bu koşula uygun ara noktaların bulunmasına dayanmaktadır.

Önerilen yaklaşımların bir değerlendirme yazılımı olarak çalıştırılması için Matlab programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Yapılan fonksiyon dosyaları ile kodlamalar derlenmiş ve kullanıcı etkileşimli-aktif bir arayüz tasarımı tez kapsamında hazırlanmıştır. Önerilen yaklaşımların ve yazılımın test edilmesi amacı ile LIDAR veri seti ile üretilen yüksek çözünürlük yükseklik modeli kullanılarak farklı başlangıç-bitiş noktalarını kapsayan bir çalışma alanı oluşturulmuştur. Farklı kontrol noktaları için gerçekleştirilen çalışmalar, çalışma bölgesinin topografik özelliğine bağlı olarak önerilen yaklaşımların üstün ve zayıf yönlerinin belirlenmesine katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Geçki optimizasyonu, LIDAR verisi, yüksek çözünürlüklü SYM, enterpolasyon yöntemleri

ALTERNATIVE APPROACHES FOR ROUTE PLANNING FACILITIES

Nursu TUNALIOĞLU

Department of Geomatic Engineering

Ph.D Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Metin SOYCAN

In this thesis, the capacity researches of the determination of the route buffer zones on transportation modal facilities by using proposed methodologies based on different field data have been investigated. The main purpose of the study is to search the planimetric successive point's coordinates of the routes by the help of profile height values to be provided the cut fill volume balance on behalf of earthwork cost optimization.

For this purpose, three different methodologies by their flowcharts and evaluation procedures are presented in the concept of this thesis. The proposed methodologies are entitled as Search with Angle and Distance on Circles, Search on Cross-sections, Step Search Approach. In the first approach, namely Search with Angle and Distance on Circles, a model that selects intermediate points of the horizontal route due to gradient and gradient changes of the points obtained from vertical surface that minimize earthwork cost while satisfying the vertical geometric specifications, is presented. The main idea of this proposed method is to generate a search space with step interval and direction selection to reach the given end point of the alignment by successive iterations in which intermediate points of the route are selected automatically. The second approach namely Search on Cross-sections are designed for evaluating the adequate route points by a constant gradient criteria in which the earthwork cost is minimized. The two given points are linked on planimetric view and cross sections, which are perpendicular to this straight line, are used to search the appropriate height values. To track the appropriate route points on cross section, the

vertical line, profile section, are drawn. It is assumed that somewhere on the cross sections include the appropriate route points. The last approach, Step search Approach, is depended on the linear relations between the contours. The processing stage of the approach is started with the computations of the height differences between two given points that has a linear relation on profile of the route. The aim is to find out the planimetric route points on these contour intervals.

The proposed methods on this study is prepared on Matlab programming language and compiled with the function files, and a user interface has been built. To control the the proposed methods and developed software, an area of interest with different start-end points have been examined by using DEM produced by LIDAR dataset. These studies help to figure out the usage capacity of the proposed methods with their advantages and drawbacks in different topographic-featured areas.

Key words: Route optimization, LIDAR data, Kriging interpolation method

1.1 Literatür Özeti

Ulaşım, insanlar tarafından kabul edilen faaliyet merkezleri arasında, insanların ve eşyaların yer değiştirmesinde sürekliliği sağlamak için bir araç niteliğindedir. Ulaşım, kendi içinde sonuca ulaşmayı ifade eden bir olgudur [1]. Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi ulaşım, medeniyetlerin yayılmasında temel etkenlerden birisi olmuştur [2]. Ulaştırma türleri, genel olarak dört farklı sınıflandırmaya sahiptir. Aşağıda, bu sınıflandırmanın ana hatları görülmektedir.

- Kara Ulaştırması
 - ☐ Karayolu
 - ☐ Demiryolu
- Su Yolu Ulaştırması
 - ☐ Deniz Yolu
 - ☐ İç Su Yolu
- Hava Ulaştırması
- Boru Hattı Ulaştırması
 - ☐ Petrol/Gaz
 - ☐ Su

Yukarıda geçki tasarımı olarak ele alınan ulaştırma türlerinin yanında, Hickerson [2], bu sınıflandırmayı demiryolları, karayolları, hava ulaşımı, boru hatları ve su yolu

ulaştırmacılığı olarak tanımlayarak geçki tasarımıını bu sınıflandırma üzerinden incelemiştir. Ayrıca, dikkate aldığı bu türlere ek olarak, geçki tasarımına esas olabilecek ve bu sınıflandırmalar arasında düşünülebilecek, enerji-elektrik iletim hatları, telefon veya telgraf hatları, kablo yolu ve taşıma bandı, su yolu ve küçük kanalları da bu sınıflandırmanın içine dâhil etmiştir.

Geçki tasarımında kullanılacak jeodezik veri altyapıları ise bu ulaştırma türlerinin geçki planlamasında ve planlanan geçkilerin yapım işlemlerinde önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, geçki araştırma yaklaşımlarının hassasiyeti araziden elde edilecek arazi verisinin niteliğine ve niceliğine dayanmaktadır. Genel olarak, planlamaya esas olan bu verilerin elde edilmesinde ise çalışmanın büyüklüğüne, çalışmadan beklenen hassasiyete ve ekonomik koşullara bağlı olarak değişen pek çok lme sisteminin ayrı ayrı kullanılmasının yanında sistemlerin bütünleşik kullanımı ile oluşan hibrid verilerin değerlendirmesi de kullanılabilir. Günümüzde, gelişen teknolojinin bir sonucu olarak arazi üzerinden veri toplama yöntemlerinde de bir gelişme yaşanmıştır. Bugün, geleneksel veri toplama yöntemlerinin yerini, uygulama kolaylığı, geniş alanlarda kısa zaman aralıklarında çözüm elde edilebilmesi bakımından, uydu bazlı konumlama sistemleri, lazer tarama sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri almıştır. Ancak, yukarıda bahsedilen nedenlere bağlı olarak veri toplamada kullanılacak sistem değişmektedir. Bu sistemler, arazi üzerinden doğrudan ya da doğrudan olmayan şekilde arazi verisinin elde edilebilmesine olanak sağlarken, bunun yanında, basılı haritaların sayısallaştırılması ile kartografik yöntemlerle de veri elde edilebilmektedir. Arazi verisi elde etme yöntemi, çalışmanın hassasiyetini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden birisidir.

Bunun yanında, geçki planlama çalışmalarındaki sonuçların hassasiyetine etki eden bir diğer faktör ise, çalışma bölgesine ait arazi verisinin modellenmesinde arazi yapısına en uygun yüzeylerin oluşturulabilmesi için uygun enterpolasyon modelinin seçilmesidir. Planlamada, uygun geçkinin seçimi ve sonrasında toprak işi maliyetlerinin hesaplanması, oluşabilecek alternatif geçkiler arasından en uygun olanının seçilmesine de olanak sağlamaktadır. Bahsedilen bu planlama safhasında, pek çok etken olmasına rağmen en önemli olanı arazi yüzeyine ait verilerin doğru ve hassas olarak yansıtılmasına olanak sağlayan sayısal yükseklik modelleridir. Bu nedenle, araziye uyan

yüzey modellerinin belirli faktörler göz önüne alınarak seçilmesi, çalışmanın temelini oluştururken, çalışmanın doğruluğu açısından da önemli bir yer tutmaktadır.

Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM), ölçülen veri noktalarına dayalı olmak üzere arazinin, bir ya da birden fazla matematiksel model kullanılarak elde edilmiş biçimdir [3]. Kaynak verinin yoğunluğu ve dağılımı, seçilecek enterpolasyon yöntemi ve gridleme aralığı sayısal yükseklik modellerinin hassasiyetini etkileyen faktörler olarak sıralanabilirler [3], [4], [5], [6].

Yukarıda bahsedilen yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri, geçki planlama çalışmalarında altlık olarak kullanılmalı nedeniyle ve hassasiyetlerinin araştırma yöntemlerinin hesaplama hassasiyetine doğrudan etkisi olması nedeniyle planlamada etkin bir role sahiptir. Bununla birlikte, tez kapsamında incelenen geçki tasarımında kullanılan araştırma yöntemlerine ait detaylı literatür çalışması ise Bölüm 2' de verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Hızla gelişen bilgisayar teknolojileri, bilginin önemi ve kullanımı konusunda yeni boyutların ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Bilgilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve kullanıma sunulması, bilginin ileriye dönük kullanımında sağlayacağı avantajlar nedeniyle önemli olmaktadır. Yeni teknolojilerin doğru yorumlanması, gelişen teknolojiler ile birlikte son yıllarda ortaya çıkan en önemli sorunlardan biridir. Bilginin elde edilmesinin yanında doğru bilginin, doğru yere, zamanında, hızlı, güncel, tam ve bir bütün içinde sunulması gerekmektedir.

Bilgisayar teknolojisine dayalı geçki belirleme çalışması, veriler arasındaki ilişkilerin yorumlanmasıyla karar destek sistemi olarak kullanıcıya yardımcı olan, verilerin düzenlenmesi, yönetimi ve kullanımına olanak sağlayan bütünleşik bir sistemdir. Bu sistem, verilerin tasnifi ve kullanıma açılması ile geçki belirlemede kullanıcı destekli bir ara birim olarak çalışmaktadır. Farklı kullanım alanlarına yönelik olarak hazırlanan sözel ve grafik verilerin bir arada sunulması ve karar vericiler için istenilen kriterlere uygun olan veri gruplarının belirlenmesi ile pek çok farklı altlık gerektiren çalışmalarda bütünleşik bir yapıda kullanılmaları sağlanmaktadır.

Günümüzde, değişen ve gelişen bir dünya düzeni içinde ulaşım ihtiyacının daha da artmasıyla birlikte ulaştırma planlamasının önemi artmıştır. Bir bütün olarak ele alınması gereken ulaştırma planlaması, günümüzde arazi kullanım alanlarının daralması, hızla artan otomotiv endüstrisinin karayolu ulaşımını desteklemesi, çarpık kentleşme sonucu yerleşim alanlarına göre yol ulaşım ağının planlanması, kent genişleme alanları ile kırsal alanların iç içe girmesi gibi nedenlerden dolayı planlama safhasının önemini vurgulamaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, önemi her geçen gün daha da vurgulanan ulaştırma planlaması içinde yer alan geçki hatlarının tasarımına farklı yaklaşımlar sunarak çözüm aramaktır. Genel olarak, verilen iki noktanın, bir ulaştırma türünü meydana getirmek amacıyla birleştirilmesi işlemi, yani geçki tasarımı, güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik bir ulaşım hattı oluşturulmasını ve bu bağlamda geçkiden beklenen standartların sağlanmasını gerektirmektedir. Bu noktada, tez çalışmasında mevcut geçki araştırması çalışmalarına alternatif olarak, farklı yaklaşımlar geliştirilmiş ve tez kapsamında sunulmuştur. Önerilen yaklaşımların amacı, başlangıç ve bitiş noktası verilen iki ana geçki noktasının topografik yapı ve sabit eğim kriteri dikkate alınarak, düşey profil değerlerinden yatay geçki değerlerine geçişi sağlamaktır. Tez çalışmasında, mevcut yaklaşımlardan farklı olarak geliştirilen ve sunulan algoritmalar yardımıyla geçki hattının planlaması yapılmıştır. Öngörülen bu çalışmaların bütünlük bir yapı oluşturması ve karar destek sistemi olarak kullanıcılar tarafından kullanıma olanak sağlaması amacıyla bir değerlendirme yazılımı geliştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Bu tez çalışmasında, geçki tasarımında toprak işi maliyetinin azaltılması için arazinin topografik yapısına dayalı olarak hattın geçebileceği muhtemel doğrultunun belirlenmesinde farklı yöntemler önerilmiştir. Önerilen yöntemlerde temel kabul, verilen başlangıç ve bitiş noktalarının üç boyutlu koordinat bilgilerinden hesaplanan eğim değeri ile araziye uyum sağlayan ve arazi üzerinde oluşan geçki izinin bulunmasıdır. Yani, arama için oluşturulan amaç fonksiyonu, hesaplanan ve bilinen yükseklikler arasındaki farkların minimum olması koşuluna dayandırılmıştır. Başka bir deyişle, bulunacak geçki hattının, kazı dolgu dengesini sağlayarak toprak işi maliyetinin

azalması için boykesit üzerinde sabit eğimle devam eden kısımlarının yatay plan üzerinde belirlenmesidir.

Bu amaçla, geçki tasarımımda işlem algoritmaları ve hesaplama teknikleri sunulan üç farklı yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımlar, Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı, Enkesitler boyunca arama ve Basamak yöntemi yaklaşımı' dır. İlk yaklaşım olan Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımında geçki hattına ait aranan ara noktaların tespit edilmesi, değişen açı değerlerine bağlı oluşturulan arama çemberi üzerindeki noktaların eğim değerlerine ve sabit arama mesafesi değerine bağlı olarak yapılmaktadır. Önerilen yaklaşım ile grid veri yapısındaki arazi verisinde, başlangıç ve bitiş noktalarının üç boyutlu koordinat değerleri başlama kriteri olacak şekilde alınarak uygun ara noktaların otomatik olarak atanması planlanmıştır. İkinci yaklaşım olan Enkesitler boyunca aramada, uygun geçki noktalarının bulunması için sabit eğim koşulu göz önüne alınarak, toprakışı dengesinin sağlanabilmesi amacıyla, yatay plan üzerinde birleştirilen başlangıç ve bitiş noktalarının meydana getirdiği doğru parçasına dik olarak yerleştirilen enkesit doğrultularında aramanın yapılması tasarlanmıştır. Buna göre, 3 boyutlu koordinatları verilen başlangıç ve bitiş noktalarının yükseklik değeri farkı, çalışma bölgesini kapsayan alan içinde tanımlanan yükselme ya da alçalma aralığında, herhangi bir noktada sağlanmaktadır. Yükseklik değerleri hesaplanan bu aday geçki ara noktalarının, çalışma bölgesi içinde yatay koordinatlarının bulunması enkesitler üzerinde aramaya dayandırılmıştır. Son yaklaşım olan Basamak yönteminde, birbirini takip eden eşyükseklik eğrileri arasında doğrusal olarak kurulan ilişkiye dayalı olarak, çalışma bölgesinin sınırladığı alan içerisinde yatay geçki noktalarının hesaplanması amaçlanmıştır. Yaklaşımda hesaplama süreci, başlangıç noktasının bulunduğu eşyükseklik eğrisine ait kot değeri ile bitiş noktasının bulunduğu eşyükseklik eğrisine ait kot değeri arasında sabit eğim koşulu dikkate alınarak, eğriler üzerinde bu koşula uygun ara noktaların bulunmasına dayanmaktadır.

BÖLÜM 2

GEÇKİ ARAŞTIRMASI

Genel bir tanım olarak, ulaşım türlerinin eksen çizgilerinin arazi üzerindeki izdüşümleri geçki ya da güzergâh olarak adlandırılmaktadır. Arazi üzerinde alınan iki noktanın öngörülen uygun eğim değerine bağlı olarak birleştirilmesi işlemi geçki araştırmasıdır. Bu tanım dikkate alındığında iki noktanın birleştirilmesi işlemi sırasında çok fazla alternatifin oluşacağının öngörülmesine rağmen, bazı durumlarda alternatif olarak alınacak ikinci bir geçki bulunamamaktadır. Bunun nedeni, kısıtlar altında değerlendirilen geçki oluşturma çalışmalarının, bu kısıtlar nedeniyle daralmasıdır.

Bir geçkinin başlangıç ve bitiş noktaları ile aradaki büyük yerleşme merkezleri gibi geçmesi zorunlu olan yerlerine ana kontrol noktaları denir. Bu bağlamda, klasik yaklaşımda ana kontrol noktaları ile birlikte geometrik standartları ve/veya trafik karakteristikleri belirlenmiş bir geçki hattının tasarlanması; ön inceleme (istikşaf), etüd ve ekonomik karşılaştırma olmak üzere birbirini izleyen üç aşama gerektirmektedir [7]. Ön inceleme, hattın geçeceği bölgenin genel bir incelemesinin yapılması ile ilk olarak mümkün görülen seçeneklerin belirlenmesi aşamasıdır. Ön inceleme aşamasında, eşyükseklik eğrili harita üzerinden geçkiye ait bölgenin topografik durumu göz önüne alınarak sıfır poligonu çalışması yapılmaktadır. Sıfır poligonu çalışması, belirli bir eğim dâhilinde, birbiri ardınca alçalan ya da yükselen eş yükseklik eğrilerinin başlangıç noktasından itibaren hesaplanan daire çapına bağlı olarak çizilen yay ile teorik olarak kesiştiği noktaların bütünüdür. Sıfır hattı geçirmek için, boyuna eğim, etüt paftasının ölçeği ve yükseklik eğrileri arasındaki kot farkları dikkate alınarak, pergel açıklığı tespit edilmektedir. Geçki ekseninin sıfır poligonunu takip ettiği var sayılırsa, bu poligonun

her noktası araziye uygulandığı zaman kazı ve dolgu işi olmayacak yani toprak işi sıfır olacak demektir. Bu anlamda, sıfır poligonu, kesin geçki hattını belirlememekle birlikte, arazinin topografik durumuna göre önceden belirlenen eğim değeri dikkate alınarak hattın nereden geçebileceğini gösterir nitelikte bir öncül bilgi vermektedir. Etüd aşamasında, hattın tasarlanması için öngörülen standartları sağlayan ve ön inceleme sonunda uygun görülen geçkilerin daha detaylı bir biçimde incelenmesi yapılmaktadır. Son aşamada ise kesin geçkinin belirlenmesi için seçenekler arasında ekonomik karşılaştırma yapılmaktadır.

2.1 Geçki Araştırmasında Dikkate Alınacak Hususlar

Geçki araştırması, genel anlamda ana kontrol noktalarını birbirine bağlayan, seçenekler arasında en uygun olanını bulmak için yapılan bir çalışmadır. Birbirini izleyen aşamalardan oluşan bu araştırmanın esası; birden fazla seçenek arasında yapılan bir ekonomik karşılaştırmadır. Bu koşulların bir kısmı istenen fakat sağlanmasında kesin zorunluluk olmayan ve duruma göre vazgeçilebilen niteliktedir [7]. Buna göre, geçki araştırmasında dikkate alınacak hususlar, ulaştırma türleri ve onun özelinde kara ulaştırması türleri için genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilirler [7]:

İlk koşul olarak geçkinin, ana kontrol noktalarını birbirine bağlaması beklenmektedir. Ayrıca, çalışma alanı dahilinde mevcut olan diğer ulaşım türleri ve yerleşim merkezleri ile bağlantının yapılması istenen durumlarda en uygun bağlantı noktaları ana kontrol noktası olarak alınmalıdır. Geçki olarak kabul edilen hat kara ulaştırma türlerinden birisi ise yolun sınıfına ilişkin proje standartlarının kolaylıkla uygulanmasına olanak vermelidir. Bir yolun standartları yolun sınıfına bağlı olarak seçilmektedir. Ancak, seçilen bu standartların uygun sayılabilecek ekonomik sınırlar içinde kalmak suretiyle sağlanabilmesi büyük ölçüde başlangıçta yapılan geçki seçimindeki isabet derecesine bağlıdır. Bu seçim iyi yapılmışsa standartların sağlanması kolay ve ucuz olur. Seçim iyi yapılmamışsa büyük harcamalar gerekebilir ve mühendislik yönünden istenmeyen sonuçlar ortaya çıkar. Geçki, yoldan geçmesi beklenen trafiği, yolun hizmet ömrü boyunca, öngörülen hizmet düzeyinde ve işletme yönünden güvenli, ayrıca ekonomik bir şekilde geçirebilmelidir. Bu arada, trafiğin miktarı ve cinsi hakkında yapılacak bir yanılma durumunda kolaylıkla ve ekonomik bir şekilde iyileştirmeye olanak vermelidir.

Geçki, yolun ana kullanım amacına uygun olmalıdır. Her yol ulaşım hizmet amacı ile inşa olunursa da bu sırada yani ilk karar aşamasında öngörülen bir ana amaç vardır. Belli noktalar arasındaki ulaşımı ya da bir bölgenin sosyal ve ekonomik gelişimini hızlandırmak, bir turistik potansiyeli harekete geçirmek gibi. Buna göre, geçki araştırması sırasında bu temel amaçtan ayrılmamaya özen gösterilir. Ulaşım hızını artırmayı öngören bir yolda, ana kontrol noktalarını birbirine bağlayan doğrultudan sapmaların az tutulması normal olacağı gibi, turistik amaçlı bir yolun da buna olanak veren yerlerden geçirilmesi doğaldır. Aynı şekilde, sosyal ve ekonomik gelişmeyi amaçlayan bir yola ait geçkinin, uzunluğunun artması pahasına da olsa mümkün mertebe fazla nüfusun faydalanması bakımından çok sayıda yerleşim merkezinden geçmesi istenir.

Geçki, jeolojik oluşum yönünden kararlı ayrıca, daha az kalınlıklı üstyapıya olanak verecek taşıma gücü yüksek, sağlam zeminli yerlerden geçmelidir. Bu hususlar inşa maliyeti yanında yola ait sanat yapılarının ömrü, şev stabilitesi, yoldaki muhtemel oturumlar ve bakım masrafları açısından da önemlidir. Geçki, yolun sınıfına uygun olarak, toprak işi mümkün olduğunca az, ortalama taşın mesafesi küçük ve kazı ile dolgunun birbirini dengeleyebileceği yerlerden geçmelidir. Bu husus, özellikle toprak işinin zor ve pahalı olduğu dağlık ve kayalık bölgelerde önem taşır. Normalin üzerinde yer altı suyu veya yüzey suyu etkisinde kalan yollarda bozulma çabuk olur. Ayrıca bakım masrafı büyük ölçüde artar. Bu sebeple, geçki araştırması sırasında, yer altı ve yüzey suyuna karşı doğal drenaj imkânı en iyi olan yerlerden geçilmesine çalışılmalıdır. Örneğin, yağış halinde kolaylıkla su altında kalabilecek vadi tabanları yerine yamaçlardan gidilmesi tercih edilmelidir. Akarsu geçişleri daha küçük maliyete olanak vermesi bakımından mümkün mertebe dik açıda yapılmalı, büyük köprülere ait kenar ayaklar sağlam zeminli yerlere oturtulmalıdır. Bu gibi geçişlerin trafik güvenliği açısından kurbada yapılmamasına çalışılmalıdır. Yolun alt ve üstyapısına ayrıca her çeşit sanat yapısına ilişkin ana yapı gereçleri kum, çakıl, taş ve su olduğuna göre bunların temini kolay ve ucuz olan geçkiler tercih edilmelidir.

Özellikle kent içi ve yakınlarında arazi pahalı olduğu için buralarda yapılacak yollarda kamulaştırma bedeli toplam maliyet içinde önemli yer tutar. Bu itibarla boş ve nispeten ucuz yerlerden geçilmeye çalışılmalıdır. Kırsal yollarda ise tarım yönünden elverişli arazi

kısımlarına en az zarar verilecek şekilde geçmeye özen gösterilmelidir. Yolun hizmete açılmasından sonraki işletme maliyeti içinde bakım maliyetleri önemli bir yer tutar. Bu nedenle geçki araştırması sırasında bakım yönünden fazla zorluk çıkarmayacak yerlerden geçmeye çalışılmalı, bakım masrafı az olan geçkiler tercih edilmelidir. Örneğin, dağlık bölgelerde kar toplamayan ve çığ tehlikesi olmayan yerlerden geçilmesi uygun olacağı gibi, bir tepenin aşılması sırasında daha fazla güneş gören, dolayısıyla buzlanma ve kar birikmesi zor olan güney ve batı yamaçlar tercih edilmelidir. Bu hususlar bakım masrafları yanında yolun güvenliği yani trafik kazaları bakımından da son derece önemlidir. Geçki araştırması sırasında vurgulanması gereken en önemli nokta, bir geçkinin yukarıda sıralanan koşulların hepsini birden sağlamasının zor olduğudur. Çoğu zaman koşullar arasında çatışma olur. Örneğin, özellikle dağlık bölgelerde, boyuna eğimi düşük tutabilmek için geçki uzunluğunu arttırmak ya da toprak işindeki artışa belirli bir ölçüde tölere etmek zorunda kalınır. Burada önemli olan sıralanan koşulların çoğunu içeren ve mevcut seçenekler içinde en uygun olanının bulunmasıdır.

Klasik olarak yapılan geçki hattı yatay geçki tasarımı ve düşey geçki tasarımı olmak üzere iki aşamalı olarak oluşturulmaktadır. Yatay geçki tasarımı, geçki hattının iki boyutlu yatay düzlemde izlediği yolun amaca uygun olarak tasarlanması işlemi yapılırken, düşey geçki tasarımı ise yatay elemanları bulunan hattın düşey geometrik elemanları planlanmaktadır [8].

2.2 Geçki Tasarımında Kullanılan Yöntemler

Arazi topografyasına bağlı olarak yapılan geçki araştırması, ön projelendirme için geçki hattının geçebileceği muhtemel bölgelerin tespit edilmesi ve projenin tamamlanması için gerekli kriterlerin sağlanmasında yol göstermesi bakımından önemli aşamalardan birini temsil etmektedir. Yatayda ve düşeyde oluşturulacak geçki hattının optimizasyonu için pek çok yöntem ve model literatürde geliştirilerek kullanılmıştır [9].

2.2.1 Yatay Geçki Optimizasyonu için Kullanılan Modeller

2.2.1.1 Varyasyonlar Hesabı

Varyasyonlar hesabı, belli bir gruba ait optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Bu yöntem ile geliştirilen pek çok uygulama, optimum kontrol teorisini kullanmaktadır. Varyasyonlar hesabında temel sorun, bir fonksiyonun integralini minimum yapan arama uzayında iki noktanın eğri oluşturması amacı ile aranmasıdır [10]. Ortak yönlerine bakıldığında, yatay geçki optimizasyonu problemi ile varyasyonlar hesabı benzerlikler göstermektedir. Bu fikirden yola çıkılarak pek çok araştırmacı, yatay geçki optimizasyonu için Optimum Eğrilik İlkesi' ni (OCP: Optimum Curvature Principle) geliştirmiştir. Bu çalışmaya benzer bir çalışma ise varyasyonlar hesabının ulaştırma problemlerine yönelik olarak geliştirilmesinde Thomson ve Skykes' ın [11] çalışmasında görülmektedir. Bu çalışmada, deniz yolu geçkisi, dinamik buzul kütlelerine göre hesaplanmıştır.

OCP yaklaşımında, verilen iki şehir veya iki ana noktanın arasında geçki oluşturmak için inşa edilecek bir karayolunun tanımlanan bölgedeki kriter fonksiyonu, hipotez olarak sunulmaktadır. Bu durum, iki boyutlu çalışma bölgesinin üzerinde sürekli maliyet yüzeyinin var olduğunun kabul edilmesi olarak açıklanmaktadır. OCP kullanılarak, iki noktanın birleştirilmesi için çalışma bölgesinde düşük maliyetler içeren vadilerden geçen ve yüksek maliyet gerektiren dağlık alanlardan geçmeyen geçkiler oluşturulmuştur. Optimizasyon işlemi sırasında, başlangıç noktasından farklı yönlere pek çok geçki üretilmektedir. Her bir başlangıç açısı için OCP' nin sayısal integrasyonu ve son noktada biten geçkilerin seçilmesi ile bu optimum geçkiler elde edilmektedir. Sonuç geçki ise oluşturulan bu ayırık setlerin arasında en iyisi olarak tanımlanmaktadır.

2.2.1.2 Ağ Optimizasyonu

Bu yaklaşımdaki temel düşünce, yatay geçki hattının ağ yaklaşımı olarak çözümlenmesidir. Burada, geçkinin başlangıç ve bitiş noktaları eğrisel düzlem üzerinde birleştirildikten sonra en kısa mesafenin bulunması gibi pek çok ağ optimizasyon yönteminin uygulanması ile problem çözülmektedir.

OECD' a [12] göre, Massachusetts Institute of Technology (MIT) ve Miami Üniversitesi' nde yapılan çalışmalar bu çözümü kapsamaktadır. Buna benzer bir yaklaşım Turner [13] tarafından GCARS (Generalized Computer Aid Route Selection) sisteminde kullanılmıştır. GCARS sistemi, ilk olarak çalışma alanını kapsayan bölge için maliyet modellerinin kurulmasını gerektirmektedir. Sistemde maliyet bileşenleri olarak kamulaştırma, üstyapı ve toprak işi maliyetleri göz önüne alınırken, bakım ve işletme maliyetleri ihmal edilmiştir. Toplam maliyet hesabı, rölatif ağırlıklara sahip farklı maliyet bileşenlerinin doğrusal kombinasyonlarının toplanması ile hesaplanmıştır. Son olarak, bir grid ağı, maliyet model matrisinden oluşturulmuştur. Bu oluşum, grid ağındaki tüm noktaların birleştirilmesi ve oluşan her bağlantı noktasına maliyetlerin atanması ile yapılmıştır.

2.2.1.3 Dinamik Programlama

Dinamik programlama, büyük ölçekli ve karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir. Dinamik programlamada temel ilke, problemin bütünü kapsayan alt problemlere bölünebilmesidir. Burada, amaç fonksiyonuna katkıda bulunan her bir alt problem, birbirinden bağımsız ve çözüme yönelik olarak geliştirilmektedir.

Dinamik programlama, karayolu geçki optimizasyon çalışmalarında, özellikle düşey geçkinin optimizasyonu için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bunun yanında, yatay geçki optimizasyonu için dinamik programlamanın kullanılmasında ilk aşama, başlangıç ve bitiş noktalarının birleştirilmesi ile oluşan geçki hattına dik ve eşit aralıklara bölünmüş enkesit çizgilerinin yerleştirilmesi ile oluşmaktadır. Problemin çözümündeki her bir aşamada, sınırlar dik doğrultu üzerindeki düğüm noktaları veya gridlerdir. Arama sırasında, amaç fonksiyonu genellikle son aşamadan ilk aşamaya doğru hesaplanmaktadır. Sonuç geçki hattının eğrilik kısıtlaması için yeterli olmasını sağlamak için bir sonraki aşamada sadece sınırlı sayıda düğüm noktasının, bulunulan aşamadaki düğüm noktası ile birleşmesine izin verilmektedir. Dinamik programlama kullanılarak yapılan yatay geçki optimizasyonu ve üç boyutlu optimizasyon çalışmalarına, OECD [12], Hogan [14], Nicholson [15] ve Trietsch' de [16] rastlanmaktadır.

Problemin çözümü incelendiğinde, yatay geçkinin optimizasyonu için kullanılan dinamik programlama modelinin en kısa yol problemi olarak formüle edilebileceği görülmektedir. En kısa yol problemi ile karşılaştırıldığında, yöntemin verimliliği ve daha düşük depolama kapasitesine ihtiyaç duyması bakımından dinamik programlama ile çözüm daha fazla avantaj taşımaktadır. Ancak, dinamik programlamanın görülen bir dezavantajı da, yaklaşımın temelinden kaynaklanan geriye dönüş yapan geçkilerin kullanılmasının zorunluluğudur.

2.2.1.4 Genetik Programlama

Genetik algoritmalar, ilk defa Michigan Üniversitesi'nde John Holland ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Holland, araştırmalarını arama ve optimumu bulma için doğal seçme ve genetik evrimden yola çıkarak yapmıştır. İşlem boyunca, biyolojik sistemde bireyin bulunduğu çevreye uyum sağlayıp daha uygun hale gelmesi örnek alınmış, optimumu bulma ve makine öğrenme problemlerinde bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir [17].

Genetik algoritmalar, en iyinin korunumu ve doğal seçim ilkesinin benzetim yoluyla bilgisayarlara uygulanması ile elde edilen bir arama yöntemidir. Çoğu pratik optimizasyon problemlerinde karışık değişkenler (sürekli ve kesikli) ve araştırma alanında süreksizlikler söz konusudur. Genetik algoritmalar bu durumlar için iyi bir çözüm oluşturmaktadır [18].

Jong vd. [19], yaptıkları çalışmada verilen iki nokta arasında yatay karayolu geçkisinin optimizasyonu için genetik algoritmaların ve coğrafi bilgi sistemlerinin birlikte kullanılmasını sunmuşlardır. Önerilen yaklaşım, topografik olarak engebenin fazla olduğu arazilerde yatay tasarım optimizasyonunu gerçekleştirebilmektir. Sonuç geçkilerinin, düzgün ve minimum yarıçap kısıtı gibi projede öngörülen değerlere uyması gerekmektedir. Önerilen modeldeki amaç fonksiyonu, arazi bedeli, sulak arazi ve taşkın bölgesi olması gibi çevresel etkiler, uzunluğa bağlı maliyetler ve kullanıcı maliyetlerine göre oluşturulmuştur. Yapılan sayısal uygulama, önerilen modele göre oluşturulacak yatay geçkinin ön tasarımı olarak gösterilmiştir.

2.2.2 Düşey Geçki Optimizasyonu için Kullanılan Modeller

2.2.2.1 Tüm Olasılıkların Denenmesi Modeli

Easa [20], geometrik özellikleri sağlayıp aynı zamanda toprak işi maliyetini minimize ederek yol eğimlerini seçen bir model ortaya koymuştur. Modele göre, ilk olarak yatay geçki hattı boyunca eşit mesafelerde istasyon noktaları yerleştirilmektedir. Daha sonra, her bir istasyon noktasındaki yükseklik değişimleri ve noktalar arası mesafeler belirlenmektedir. Her bir iterasyonda, kesişim noktalarının kombinasyonları, sonuç olarak üretilen geçki hattının olanaklı olup olmadığını kontrol etmek için seçilmektedir. Kontrol edilecek kısıtlamalar arasında ise minimum boyuna eğim, maksimum boyuna eğim, ters kurplar arasında sağlanması gereken minimum mesafe, her bir istasyon noktasındaki yükseklik değişim aralığı gibi değerler bulunmaktadır. Eğer herhangi bir kısıt sağlanamazsa, bu durumda mevcut hat elimine edilmekte ve yeni bir nokta kümesi seçilerek işlemler tekrarlanmaktadır. Eğer tüm kısıtlamalar sağlanarak uygulanabilir bir sonuç geçki oluşursa, program her bir kazı dolgu enkesidi için toprak işi maliyetini hesaplamaktadır. Program bu hesaplamanın ardından, elde edilen ödünç-depo hacim miktarının ödünç alınacak dolgu kapasitesini aşıp aşmadığını kontrol etmektedir. Sonuç olarak, en az toprak hacmi değişimini veren kesişim noktası dizisi, optimum sonuç olarak sunulmaktadır.

2.2.2.2 Dinamik Programlama

Dinamik programlama modeli, düşey geçki optimizasyonu problemine uygulanabilirliğinin kolaylığından dolayı en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. Geçkisi oluşturan her bir ara nokta, dinamik programlama içinde bir aşama olarak değerlendirilmektedir. Bütün aşamalarda oluşan her durum, her bir istasyondaki farklı yükseklikli bir dizi noktadan oluşmaktadır.

Puy Huarte [21], düşey geçkiyi optimize etmek amacıyla lineer programlama ile ulaştırma problemlerini birleştirerek dinamik bir programlama modeli ortaya koymuştur. Puy Huarte [21] tarafından sunulan bu model, İspanya’da geliştirilmiş ve OPYGAR (Optimisation and Automatic Generation of Longitudinal Profiles) adını almıştır. Program iki aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada, dinamik

programlama modeli, verilen taşıma mesafesi maliyetine göre optimum boykesiti üretmektedir. Burada eğim kısıtı, verilen kesişim noktalarına karşılık gelen olası kesişim noktaları kümesinin sınırlandırılması ile bulunmaktadır. Dinamik programlama ile optimum çözüme dayanarak bulunan taşıma mesafesi maliyeti için yeni bir çözüm önerisi ise ulaştırma problemlerinde Macar Algoritması (Hungarian Algorithm) uygulanarak elde edilmiştir [22]. Bu sayede verilen yeni taşıma mesafesine göre ve maliyet çözümüne dayalı olarak, dinamik programlama yöntemi ile optimum boykesit yeniden bulunmaktadır. Bu işlem bir noktada birleşme sağlanıncaya kadar tekrarlanmaktadır. İkinci aşamada ise, ilk aşamada bulunan sonuç geçkiye bir dizi kübik polinom fonksiyon ile yaklaşılmaktadır. Bu aşamada lineer bir programlama modeli, her ara noktada mutlak eğrilik değerlerini minimum yapmak için çalıştırılmıştır.

Puy Huarte' nin modelinde [21] sonuç geçkinin bulunması için dinamik programlama ile arama yapılırken, istikrarlı bir sonuç üretilmemektedir. Sonuçta, dinamik programlama modelindeki geçki, sonuç geçkiden oldukça farklı olarak ve parça parça bölümlerle temsil edilmektedir. Puy Huarte' in modeli [21] bazı yönleri ile Ease' nin [20] geliştirdiği yaklaşıma benzer yapıdadır. Ease' nin [20] yaklaşımında, kütle taşıma diyagramı lineer programlama ile üretilmekte, geçki ise tüm olasılıkların denenmesi yöntemi ile oluşturulan kesişim noktalarından elde edilmektedir. OPYGAR programından elde edilen geçki ise, ilk olarak dinamik programlama ile elde edilmektedir. Daha sonra taşıma mesafesi maliyeti optimize edilip, lineer bir programlama modeli ile geçki haline getirilmektedir. Ayrıca OPYGAR programı, siyah kot değeri ile önerilen yol düşey kırmızı kot değeri farkının belirli bir değeri aşması durumunda, olası istinat duvarları ve köprüleri de göz önüne almaktadır. Bu özellik, OPYGAR programının uygulanabilirliğini ve esnekliğini arttırmaktadır.

Murchland [23], mevcut yolların iyileştirilmesi için toprak işi maliyetini minimize ederek geçki boykesitini optimize eden dinamik programlama yaklaşımı uygulamıştır. Bu program VALOR olarak adlandırılmaktadır. Geçkiyi parça parça lineer bölümler olarak ifade eden diğer dinamik programlama modellerinden farklı olarak, Murchland [23] geçkiyi özelleştirmek için eşit aralıklar ile bir dizi kuadratik spline fonksiyonu kullanmıştır. Bu yaklaşımın avantajı ise geçkinin birinci ve ikinci türevlerinin geçki üzerindeki herhangi bir nokta için elde edilebilmesine olanak sağlamasıdır. Bu sayede

eğim ve eğim değişimlerine ait kısıtların formüle edilmesi kolaylaştırılmıştır. Murchland' ın [23] quadratik spline fonksiyonunu seçme nedenleri arasında, temsil ettiği geçkinin düzgün yapıda oluşması (birinci türevin sürekli olması) ve aynı zamanda spline fonksiyonları içinde quadratik spline fonksiyonunun bu özelliği en düşük fonksiyon derecesini sağlaması bulunmaktadır. Dinamik programlamanın her aşamasındaki kararlar sadece yükseklikleri değil, aynı zamanda yol boykesitine ait eğim değerlerini de içermektedir. Eğim kararları, ara istasyonlarda ardı ardına iki aralık arasındaki quadratik spline fonksiyonunun birinci türevinin sürekli bir yapıda olma zorunluluğundan dolayı gereklidir.

2.2.2.3 Lineer Programlama

ReVelle vd. [24] toprak işi maliyetini minimize ederek düşey geçkiyi optimize eden lineer bir programlama modeli uygulamışlardır. Diğer modellerden farklı olarak bu modelde karar değişkenleri her bir istasyondaki yükseklik değerleridir. Ayrıca, istasyonlara ait yükseklik bilgileri hakkında herhangi bir öncül bilgiye ihtiyaç duymadan geçki 5. derece polinom fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu amaçla, lineer bir programlama modeli polinom fonksiyonunun katsayılarını optimize etmek için oluşturulmuştur. Bu sayede, kazı-dolgu maliyetini de içine alan toplam toprak işi maliyetinin minimize edilmesinin yanında, eğim ve eğim değişimi kısıtı da göz önüne alınmıştır.

Bu yaklaşımın bir avantajı da, geçkinin tek bir fonksiyon ile ifade edilebilmesidir. Burada, geçki üzerindeki herhangi bir noktanın yüksekliği başlangıç noktasından yatay mesafe ölçümü yapılarak kolaylıkla üretilmektedir. Yaklaşımın bir diğer avantajı ise, problemin çözümü için simpleks algoritması gibi gelişmiş algoritmaları kullanmasıdır. Buna rağmen, sonuç geçkinin 5. derece polinom fonksiyonu ile oluşturulabildiğini gösteren sürekli çözümler bulunmamaktadır. Bu bağlamda, gerçek bir geçki tanımından bahsetmek mümkün olmamaktadır. Chapra' nın [25] yaptığı çalışmada belirttiği gibi, yüksek dereceli bir polinom fonksiyonu, karayolu geçkilerinde istenmeyen bir durum olan ani bükülme ve kıvrımlara neden olmaktadır. Ayrıca, önerilen modelde toprak işi hacmi hesaplanırken enkesitlerdeki yanal eğim değerlerini göz önüne almadan hesap yapılmaktadır. Eğer enkesitlerdeki yanal eğim hesabında üstyapı ve işletme maliyeti

göz önüne alınırsa, amaç fonksiyonu lineer olmayan fonksiyon biçimine dönüşmekte ve lineer programlama ile çözülemez hale gelmektedir.

2.2.2.4 Sayısal Araştırma Yöntemi

Düşey geçki optimizasyonu için sayısal araştırma yöntemini kullanan modeller, tüm olasılıkların denenmesi ve dinamik programlama gibi diğer yaklaşımların eksikliklerini gidermek için önerilmişlerdir. Bu yaklaşımda tanımlanan arama uzayı, süresiz bir çözüm dizisine göre daha olası çözümler sunmaktadır. Bu yüzden, bu yaklaşım geçki oluşturma işlemi için daha esnek bir yapı sağlamaktadır.

Hayman [26] karar değişkenlerinin her nokta için yükseklik değerleri olduğu ve süreklilik meydana getirdiği bir model önermiştir. Bu noktaların düz çizgilerle birleştirilmesi sonucunda geçki oluşturulmaktadır. Bu modelde, eğim ve eğrilik kısıtları, Goh' un [27] ve Fwa' nın [28] yaptığı çalışmalara benzer şekilde değerlendirilip, formüle edilmiştir. Ancak, Hayman [26] oluşturduğu bu modelde eğim stabilizasyonu ve kütle dengesi gibi daha fazla kısıtı göz önüne almıştır. Bu yöntemde göre çözümde toprak işi hacminin hesaplanmasında Hayman [26], Goh [27] ve Fwa' nın [28] kullandığı geçki boyunca boykesite ait siyah kot değerlerinin düz olduğu kabulünün yerine, karayolu enkesitleri için siyah kot çizgisine bir eğim değeri vererek hesap kabulüne gitmiştir.

Hayman' nın [26] çalışmasında kullandığı arama yöntemi, çizgisel arama yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Modelde öncelikle, tahmini bir başlangıç geçki tanımı yapılmıştır. Daha sonra tanımlanan bu geçkideki noktaların optimize edileceği adım aralığı ile birlikte, eğim yönüne göre yer değiştirilmesi ile yeni bir nokta tanımlanmaktadır. Bu işlem, sıfır olmayan bir adım aralığı bulunana kadar tekrarlanmaktadır. Bu yöntem, olası yönlerin bulunması olarak adlandırılmaktadır. Tüm algoritmanın sonlandırılması ise arama uzayında bulunan noktalara en yakın sonucun elde edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde, algoritmanın her zaman global optimumları yakalaması mümkün değildir. Pratikteki uygulamalarda ise bağıl olarak en iyi sonucun bulunma olasılığının arttırılması için, birden çok başlangıç geçkisi oluşturulmaktadır.

Ulaştırma ve Karayolu Araştırma Laboratuvarı (TRRL) tarafından geliştirilen MINERVA programında da, düşey geçkinin optimizasyonu için sayısal araştırma yöntemi kullanılmaktadır. Lineer yöntemlerle yaklaşımda spline veya polinom fonksiyonu ile

geçki tanımına dayanan diğer yöntemlerden farklı olarak, MINERVA programı, bir mühendisin karayolu tasarım işlem sürecini taklit eden bir yapıya sahip olmakla birlikte, program çıktısı olan sonuç geçki pratikte kullanılabilir niteliktedir. MINEVRA programının gerçeğe yakın sonuçlar üretmeye çalışmasına rağmen, hesaplamada kullanılan amaç fonksiyonu ve kısıtlar, oldukça karmaşık yapıdadır ve bundan dolayı problemin çözümü zordur. Optimizasyon tekniği, tek değişkenli doğrudan arama yöntemidir. Model, ilk olası çözümden başlamaktadır. Daha sonra, her seferinde tek bir karar değişkeni, amaç fonksiyonunda meydana gelen en son iyileştirme değeri sağlanana kadar çalıştırılır ve değerinde bir iyileşme meydana gelmediğinde başka bir değer ile değiştirilir. Bu işlem adımından elde edilen sonuçta sadece yerel optimum noktaları yakalanmaktadır. Bu nedenle algoritma yeterince verimli çalışmamaktadır. Bu yaklaşımın bir diğer özelliği ise, değişen değişkenlerin sırasına bağlı olarak belirli bir model izleyebilmesidir. Çoklu yerel optimum noktalarını yakalama problemini gidermek için, program farklı başlangıç geçkileri oluşturarak birden fazla durum için çalıştırılır. En düşük amaç fonksiyonu değerine sahip olan geçki, sonuç geçki olarak seçilir.

MINEVRA programında veya Hayman'ın [26] oluşturduğu modelde olduğu gibi lineer olmayan optimizasyon modelleri için rastgele oluşturulan başlangıç geçkisinin çözümlerini denemek yerine, amaç fonksiyonunun davranışını anlamak gerekmektedir. Pearman [29] rastgele örnekleme kullanarak olası çözüm kümesi elde etmeyi ve elde edilen bu çözüm kümesi üzerinde, uygun amaç fonksiyonu dağılım frekansının tahmini için istatistiksel analizler kullanmayı önermiştir. Bu sayede, program tarafından oluşturulan geçkinin kullanılabilirliği veya performansı hakkında bilgi sahibi olunmasına olanak sağlanmıştır.

Robinson [30], otomatik olarak iyi bir başlangıç çözümü üretebilen ve daha ilerideki araştırmalar için kullanılacak, VENUS adında bir program tasarlamıştır. Programın algoritması, arazi boykesitinin düzgünleştirilmesi ile oluşturulan düşey geçkiye benzer bir yapı ile başlatılmaktadır. Daha sonra, düşey geçkiye benzer bu yapı, başlangıç düşey geçkiye dönüştürülmektedir. Burada, teğet çizgileri en küçük kareler işlemine tabi tutularak, dönüm noktalarında düşey geçkiye düz çizgilerin yerleştirilmesi ile elde

edilmektedir. Sonuç geçki, olası düşey geçki olarak adlandırılmakta ve herhangi bir arama algoritması için başlangıç geçkisi olarak kullanılabilir.

Goh vd. [31] yaptıkları çalışmada, düşey geçkinin optimizasyonu için sürekli bir model sunmaktadırlar. Sunulan bu model, başlangıçta varyasyonlar hesabı şeklinde formüle edilmiştir. Gerekli koşulların çözülmesinin zorluğundan dolayı, bu model daha sonra optimum kontrol teorisinden yola çıkılarak, bazı matematiksel yöntemlerle optimum kontrol problemine dnştrlmştir [32], [33]. Bu modeldeki geçki, kübik spline fonksiyon dizisi olarak tanımlanmaktadır. Kübik spline fonksiyonunda birinci ve ikinci türevlerin alınmaları mümkün olduğundan dolayı, eğim ve eğrilik kısıtları kolaylıkla formüle edilmiştir. Burada bu iki kısıtın geçki üzerinde sonsuz sayıda noktada sağlanabileceği, dikkate alınması gereken bir husustur. Her nokta için kısıtların listelenmesi imknsızdır. Hesaplama kolaylığı için optimum kontrol teorisinde kullanılan kısıt tanımlayıcı yardımıyla, kısıtlar tek boyutlu hale dnştrlmştir. Sonuç model, spline fonksiyonunun katsayılarının karar değişkeni olarak kullanılmasıyla genel kısıtlı doğrusal olmayan optimizasyon problemi haline gelmiştir. Bu haliyle, sayısal araştırma yöntemi ile çözülebilen ve pek çok yerel optimum noktasına sahip olan bir model oluşmuştur.

2.2.3 Yatay ve Düşey Geçki Optimizasyonu için Eş Zamanlı Kullanılan Modeller

2.2.3.1 Dinamik Programlama

Üç boyutlu geçki optimizasyonu için dinamik programlama modellerinin temel yapısı, başlangıç ve bitiş noktaları arasında iki noktayı birleştiren doğru parçasına dik çizgilerin eşit aralıklı düzlemlerle geçirilmesine dayanmaktadır. Her bir bölümde arama gridleri iki boyutlu plan üzerine yerleştirilmektedir. Başlangıç ve bitiş doğrultularındaki gridlerin her bir bölümde düz çizgiler ile birleştirilmesi işlemi, geçkinin üç boyutlu tanımlanmasına olanak sağlamaktadır.

Hogan [14], karayolu yatay geçkisinin ve boykesitinin optimizasyonu için, OPTLOC adını verdiği bir dinamik programlama modeli geliştirmiştir. Başlangıç arama yüzeyi için, genel olarak, taslak niteliğinde kabul edilen arama gridi kullanılmıştır. Bu arama gridi, kaba bir yaklaşımı içermektedir. Daha sonra, arama gridinin geliştirilmesi ile ardı ardına

yapılan iterasyonlar sayesinde, istenilen herhangi bir tolerans sınırında, bir geçki seçiminin yapılabilmesi olanaklı hale gelmiştir.

Nicholson [15], buna benzer bir yaklaşımı geçki optimizasyonu için uygulamıştır. Bu model, ilk aşamada başlangıç gekisini (koridor) oluşturmak için noktaları taslak grid yapısında araştırmaktadır. Bu işlemin ardından süresiz varyasyonlar hesabı, geçkinin iyileştirilmesi için modele uygulanmaktadır. Bu sayede, sonuç geçkinin grid noktalarından oluşturulmasına olanak sağlanmaktadır.

Üç boyutlu geçki optimizasyonu için dinamik programlamanın uygulanmasında, bazı eksiklikler mevcuttur. Bunlardan ilki, geçki boyunca oluşan geri dönüşlerin düzeltilmesindeki zorluktur. İkinci olarak ise oluşan sonuç geçkinin, hem yatay hem de düşey geçki için oldukça bozuk yapıda sonuçlar vermesidir. Ayrıca, yatay ve düşey kurp tanımlamalarında sıkıntılar oluşmaktadır. Son olarak ise bilgisayar hafızasındaki kapasite gereksinimi, bu yaklaşımda daha iyi sonuç veren başlangıç gridlerinin seçiminde engel teşkil etmektedir.

2.2.3.2 Sayısal Araştırma Yöntemi

Literatürde, üç boyutlu geçki oluşturmak için eşzamanlı optimizasyon yapan modellerden birisi, Chew vd. [35] tarafından 1989 yılında yapılan modelin uygulamasıdır. Bu model, düşey geçki optimizasyonu için oluşturdukları modelin uzantısı niteliğindedir [31].

Problem, ilk olarak varyasyonlar hesabı problemi olarak formüle edilmiştir. Ancak, gerekli koşullar, problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Bu yüzden çalışmada geçkinin enterpolasyonu için bir dizi kübik spline fonksiyonu kullanılmıştır. Sonrasında kısıtlar optimum kontrol teorisinde belirtildiği gibi kısıt tanımlayıcı yöntemi tarafından tek boyutlu hale dönüştürülmüştür. Son olarak, problem karar değişkenlerinin spline fonksiyonunun katsayılar vektörü ile kısıtlı bir doğrusal olmayan program yapısı haline gelmiştir.

Modelin amaç fonksiyonu, çözümü zor olan integraller içermektedir. Bu yüzden, aramayı gerçekleştirmek için sayısal bir integrasyon yöntemi önerilmektedir. Çalışmada uygulanan çözüm algoritması, “quasi Newton descent” algoritmasıdır.

Diğer modellerde olduğu gibi sayısal araştırma yöntemi ile yapılan düşey geçki optimizasyonunda da yerel optimum noktaları bulunmaktadır. Pratikte ise programın çalıştırılması için farklı başlangıç geçkileri kullanılmaktadır.

2.2.3.3 Genetik Algoritmalar (GA)

Jong ve Schonfeld [36], yaptıkları çalışmada yatay ve düşey geçki optimizasyonu için genetik algoritmaları geliştirmişlerdir. Üç boyutlu tasarım aşamasında göz önüne alınması gereken faktörlerin karmaşık ve birbirine bağlı yapıda olmaları, problemin çözümü için pek çok matematiksel modelin geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Ancak buna rağmen, geliştirilen modellerin çoğu yatay yada düşey tasarımın üzerinde durmakta ve optimum çözümü verememektedirler. Maliyet bileşenleri ve tasarım kısıtları olabildiğince kapsamlı probleme dâhil edilmiştir. Sunulan algoritma; karmaşık ve kapsamlı amaç fonksiyonunu optimize edebilmektedir. Model aynı zamanda, karayolunun analizi için coğrafi bilgilerden de yararlanmaktadır.

Jha [37], minimum kurp yarıçapı, kamulaştırma bedeli gibi belirli kısıtlamalara bağlı olarak iki noktayı birleştiren en uygun karayolu geçkisinin seçim işleminin, genetik algoritma ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla belirlenmesine yönelik bir yaklaşım sunmuştur. Yatay ve düşey geçkilerin belirlenmesinde karayolu için optimum çözüm üretilmesi, toplam maliyetin minimum olma koşulu altında incelenmiştir.

Kim vd. [38] çalışmasında ise adım adım hesaplama yapan genetik algoritma yaklaşımı ile etkili karayolu geçki optimizasyon hesabının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Karayolu geçki optimizasyonunda, çok sayıda mekânsal bilginin analizi gerektiğinden, coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı hesaplamaları daha da etkili hale getirmiştir. Çalışma alanının oldukça geniş olması ya da pek çok özelliği içermesi, kavşaklar, köprüler ve tüneller gerektiren karmaşık konumlarda olması halinde ise hesaplama zamanının azalması, uygulanan modelin probleme uyumunu arttırmaktadır. Bu çalışmada, iki farklı popülasyon genişliği geçki optimizasyonu geliştirmek için kullanılmıştır.

Kim ve Jha [39], genetik programlama ile geliştirilen modellere kavşakların yerleştirilmesini bir kısıt olarak eklemişlerdir. Buna göre, karayolu geçkilerinin optimizasyonunda, yeni yapılacak veya yeniden düzenlenecek kavşakların yerleştirilmesi, tasarım kısıtı olarak birleşme şekillerine göre eklenmiştir. Çalışma,

karayolu geçkilerinin optimizasyonu sırasında, yerel kavşakların optimizasyonunun sağlanmasına yönelik olarak yaklaşımlar geliştirmiştir. Seçilecek kavşak tipine göre, maliyet bileşenleri hesaplamaya katılmıştır.

2.2.4 Mevcut Modellerin Karşılaştırılması

Yatay geçki optimizasyonu için kullanılan modeller, düşey geçki tasarımından daha karmaşık bir yapıda olmalarının yanında, çözüm için düşey geçki optimizasyonunda gerekli olan verilerden daha fazla veri grubuna ihtiyaç duymaktadırlar [12]. Bunun temel nedeni yatay geçki hattının belirlenmesinde politik, sosyo-ekonomik ve çevresel etkilerin bir arada düşünülerek tasarımın yapılması ve ardından düşey geçki tasarımına geçilmesidir. Ancak, yatay geçki optimizasyonu sayesinde düşürülen maliyet bileşenleri, yatay geçki geometrik tasarımından büyük ölçüde etkilenmektedir.

Yatay geçki optimizasyonu için geliştirilen modellerin gelişim süreci, düşey geçki optimizasyon çalışmalarına göre daha yavaş gelişim göstermesinin yanında, geliştirilen modeller bakımından da daha az sayıda olmuştur. Temel olarak ele alınan yatay geçki optimizasyon modelleri, varyasyonlar hesabı, ağ optimizasyonu, dinamik programa ve genetik algoritmalar şeklinde sıralanmaktadır. Çizelge 2.1’ de yatay geçki optimizasyonu için kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1 Yatay geçki optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları [9]

Yöntem	Avantajlar	Dezavantajlar
Varyasyonlar Hesabı	▪Düzgün geçkiler oluşur. ▪Global optimum noktalarını bulur. ▪Sürekli bir arama uzayına sahiptir.	▪Modelleme ve hesaplama işlemi karmaşıktır. ▪Süreksiz maliyet bileşenlerini hesaplayamaz.
Ağ Optimizasyonu	▪Basit ve kolay kullanım sağlar. ▪Problem çözümü için gelişmiş algoritmalara sahiptir. ▪Global optimum noktalarını bulur.	▪Sonuç geçki düzgün değildir. ▪Sürekli arama uzayı yerine süreksiz çözüm mevcuttur. ▪Büyük hafızaya ihtiyaç duyar.

Dinamik Programlama	▪Basit ve kolay kullanım sağlar. ▪Problem çözümü için gelişmiş algoritmalara sahiptir. ▪Global optimum noktalarını bulur.	▪Sonuç geçki düzgün değildir. ▪Sürekli arama uzayı yerine süreksiz çözüm mevcuttur. ▪Geri dönüşlerin çevrilmesi zordur.
Genetik Algoritmalar	▪Düzgün geçkiler oluşur. ▪Global optimum noktalarını bulur. ▪Rastlantısal oluşturulan kötü geçkiler sonucu etkilemez. ▪Karmaşık yapıli problemlerin çözümü için uygundur.	▪Algoritma tümevarımsaldır. ▪Benzer yapıya sahip farklı çözümleri yakalar. ▪Çözümler arasında aranılan bölge haricindeki en iyi çözüm bulunmayabilir.

Düşey geçki optimizasyonu çalışmaları için yatay geçki optimizasyon yöntemlerinden daha fazla model bulunmaktadır. Bunun temel nedeni, düşey geçki optimizasyonunu birincil derecede etkileyen maliyet bileşeninin (örneğin toprak işi maliyeti) daha az olması ve etki eden diğer maliyet bileşenlerinin optimizasyon işlemi boyunca ihmal edilebilmesidir. Ayrıca, düşey geçki optimizasyonunda geçki hattının geriye dönüşler oluşturması gibi bir sorun meydana gelmemektedir. Çünkü düşey geçki, yatay geçki üzerinden tasarlanmaktadır. Literatürde, düşey geçki optimizasyonu için kullanılan optimizasyon yöntemleri dört farklı kategoride sınıflandırılmaktadır. Çizelge 2.2’ de bu sınıflandırmaya giren yöntemlerin avantaj ve dezavantajları sunulmaktadır [9].

Çizelge 2. 2 Düşey geçki optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları

Yöntem	Avantajlar	Dezavantajlar
Tüm Olasılıkların Denenmesi	▪Gerçekçi geçkiler oluşur. ▪Global optimum noktalarını bulur. ▪Önemli kısıtların çoğunu göz önünde bulundurur.	▪Verimli değildir. ▪Sürekli arama uzayı yerine süreksiz çözüm mevcuttur.

Dinamik Programlama	▪Basit ve kolay kullanım sağlar. ▪Problem çözümü için gelişmiş algoritmalara sahiptir. ▪Global optimum noktalarını bulur.	▪Sonuç geçki düzgün değildir. ▪Sürekli arama uzayı yerine süreksiz çözüm mevcuttur.
Lineer Programlama	▪Basit ve kolay kullanım sağlar. ▪Problem çözümü için gelişmiş algoritmalara sahiptir. ▪Global optimum noktalarını bulur. ▪Düzgün geçkiler oluşur. ▪Sürekli bir arama uzayına sahiptir.	▪Sadece sınırlı maliyet bileşenleri ve kısıtlar formüle edilebilir. (lineer yapıda olmak şartı ile) ▪Eğim ve eğrilik kısıtları, sınırlı sayıda nokta için formüle edilir.
Sayısal Araştırma	▪Gerçekçi geçkiler oluşur. ▪Önemli kısıtların çoğunu göz önünde bulundurur. ▪Sürekli bir arama uzayına sahiptir.	▪Çoklu yerel optimum noktasına sahiptir. ▪Modelleme ve hesaplama işlemi karmaşıktır.

Düşey geçkinin optimizasyonu için geliştirilmiş pek çok yöntemin olmasına karşın, yatay ve düşey geçkinin aynı anda optimizasyonunu sağlayabilen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun nedeni, her iki geçkinin optimizasyonu için çok sayıda etkenin bulunması ve geometrik olarak 3 boyutlu geçki tanımlamasının daha karmaşık bir yapıda olmasıdır. Literatürde, temel olarak mevcut olan iki farklı yaklaşım vardır. Bunlar dinamik programlama ve sayısal araştırma yöntemleridir. Bu yöntemlere ise son yıllarda geliştirilen ve uygun çözümler üreten genetik algoritmalar yöntemi de eklenmiştir. Trietsch [16] ve Parker [34], hem yatay hem de düşey geçkinin aynı anda seçimine olanak sağlandığını belirten bazı ağ optimizasyon modelleri olsa da, bu yaklaşımların aslında iki aşamalı optimizasyon çözüm uygulamaları olduğu belirtilmiştir. Bu yaklaşımlarda, düşey geçki yatay geçkiden önce belirlenmektedir. Çizelge 2.3' de bahsedilen bu yöntemlere ait özet bilgiler sunulmuştur.

Çizelge 2. 3 Yatay ve düşey geçki optimizasyonu için kullanılan mevcut yöntemlerin avantajları ve dezavantajları [9]

Yöntem	Avantajlar	Dezavantajlar
Dinamik Programlama	▪Basit ve kolay kullanım sağlar. ▪Problem çözümü için gelişmiş algoritmalara sahiptir. ▪Global optimum noktalarını bulur.	▪Sonuç geçki düzgün değildir. ▪Sürekli arama uzayı yerine süreksiz çözüm mevcuttur. ▪Büyük hafızaya ihtiyaç duyar. ▪Geri dönüşlerin çevrilmesi zordur.
Sayısal Araştırma	▪Gerçekçi geçkiler oluşur. ▪Önemli kısıtların çoğunu göz önünde bulundurur. ▪Sürekli bir arama uzayına sahiptir.	▪Çoklu yerel optimum noktasına sahiptir. ▪Modelleme ve hesaplama işlemi karmaşıktır. ▪Süreksiz maliyet bileşenlerini hesaplayamaz.
Genetik Algoritmalar	▪Düzgün geçkiler oluşur. ▪Global optimum noktalarını bulur. ▪Rastlantısal oluşturulan kötü geçkiler sonucu etkilemez. ▪Karmaşık yapıli problemlerin çözümü için uygundur.	▪Algoritma tümevarımsaldır. ▪Benzer yapıya sahip farklı çözümleri yakalar. ▪Çözümler arasında aranılan bölge haricindeki en iyi çözüm bulunmayabilir.

YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNE DAYALI GEÇKİ PLANLAMA İÇİN ALTERNATİF YAKLAŞIMLAR

Günümüzde, bilgisayar yazılımlarındaki ve donanımlarındaki gelişmeler, modern ölçme, yöntem ve aletlerinin kullanılması ile birlikte bilgisayar destekli yazılımların da gelişmesi, sayısal yükseklik modeli (SYM) kavramının geçki araştırmalarında kullanılmasını kaçınılmaz kılmıştır. Bu bölümde, ilk olarak geçki planlama çalışmalarında kullanılan jeodezik verilere ve üretilen yüksek çözünürlüklü SYM' lere, önerilen yaklaşımlardaki önemleri dikkate alınarak değinilmiştir. Bir sonraki alt bölümde ise çalışmada geliştirilen yaklaşımların hesap işlem akışları ve matematiksel modelleri verilmiş ve elde edilen hatların düzgün bir geçki hattı oluşturması amacıyla bir dizi işlem önerilmiştir.

3.1 Geçki Planlama ve Tasarımında Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelleri

SYM, arazi yüzeyinin matematiksel modeli olarak ifade edilmektedirler. Modellemede arazi yüzeyinin tanımı bir ya da daha fazla matematiksel fonksiyon kullanılarak, ölçülen veri noktalarına dayalı yapılmaktadır. Kullanılan bu matematiksel fonksiyonlara ise enterpolasyon yöntemleri denir. SYM, sayısal anlamdaki nokta ve çizgi elemanları ile arazi yüzeyinin geometrik gösterimini sağlar. Bu gösterim, yumuşak veya sert kırıklı çizgilerle ve noktalarla tanımlanabilen, morfolojik detaylarla tamamlanan, düzenli veya düzensiz dağılımdaki noktalarla arazi yüzeyinin geleneksel olarak temsil edilmesidir. SYM oluşturulması için rastgele dağılmış ve üç boyutlu koordinatları bilinen noktalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktalara dayanak veya örnekleme noktaları adı verilir [40].

Kullanılan dayanak noktası sayısı, bu noktaların çalışma alanında uygun bir dağılıma sahip olması ve modelleme için kullanılacak enterpolasyon modelinin yüzey veya nesne yapısını yeterli doğrulukta yansıtmaları elde edilen SYM' nin kalitesine etki eden faktörler olarak sıralanabilir.

Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında önemli olan noktalardan bir tanesi de veri kaynaklarının belirlenmesidir. Arazi modelinin niteliği, temsil ettiği arazi yapısına bağlı olarak değişir. Farklı ölçme yöntemleri kullanılarak yapılan veri toplama işlemi, çalışma alanının büyüklüğüne, verilerin kullanım amacına, zamana, ekonomik koşullara ve veri hassasiyetine göre farklılıklar göstermektedir.

Bu kısımda, özet olarak dört farklı veri kaynağına ve veri toplama yöntemine değinilmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında yüksek çözünürlüklü SYM üretiminde LIDAR verisinden yararlanıldığı için bu teknolojiye ait detaylı bilgi de sunulmuştur.

- Yersel Ölçme Teknikleri: Yersel ölçülere dayalı olarak araziden veri elde edilmesi, arazinin nispeten küçük ve sık bitki örtüsüne sahip olduğu alanları için tercih edilen bir veri toplama biçimidir. Arazi üzerinden yapılan doğrudan ölçüler sayesinde jeodezik yöntemlerle, dayanak noktalarının koordinat bilgileri elde edilmektedir. Modelleme için kullanılacak kontrol noktaları, takeometrik, prizmatik, elektro-optik, lazer ve elektronik alımlar şeklinde yapılmaktadır. Ayrıca robotik özellik taşıyan, kameralı elektronik takeometreler kullanılarak araziye ilişkin konum bilgisi hızlı ve yüksek doğrulukta elde edilebilmektedir.
- Uzay ve Uydu Bazlı Konum Belirleme Teknikleri: Araziye ilişkin 3 boyutlu konum/koordinat bilgilerinin elde edilmesinde GNSS' in ölçme amaçlı yöntem ve teknikleri cm-mm gibi yüksek doğruluklarda sonuçlar vermektedir. Bu yüksek doğrulukların elde edilmesinde kullanılan GNSS alıcı ve ekipmanlarının seçiminin yanında, özellikle kullanılan ölçme yöntemi de önemli rol oynamaktadır. Arazi yapısının çok sık ağaçlık ve ormanlık olduğu bölgeler ile yoğun yapılaşmış bölgelerde bu sistemin kullanımı tercih edilmemektedir. Ancak, GNSS alıcı anteninin açık gökyüzünü gördüğü yeryüzü üzerinde, bu sistemlerin veri ve ürünlerinden gerek ölçü sonrası değerlendirme (post-processing) çalışmaları, gerekse gerçek zamanlı

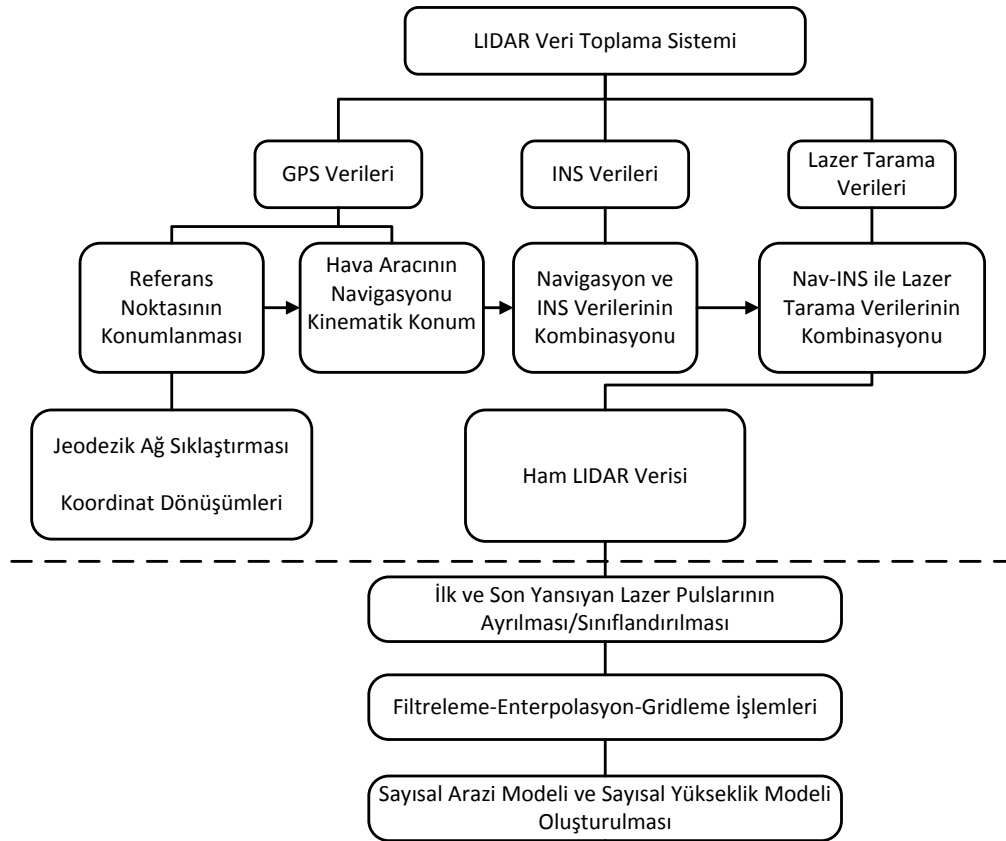
(real-time) uygulamalar dikkate alındığında, yüksek doğruluk ve duyarlıkta araziye ilişkin 3 boyutlu konum bilgisi elde edilebilmektedir.

- **Kartografik Sayısallaştırma Yöntemi:** Mevcut haritalar üzerinde bulunan grafik elemanların özelliklerinin sayısal veri formatına dönüştürülmesine [41], başka bir ifade ile sayılarla temsil edilmesine sayısallaştırma denilmektedir. Sayısallaştırma sonucunda elde edilen tüm noktalar, daha önceden belirlenmiş bir koordinat sisteminde koordinatları ve özellikleri ile birlikte elde edilmektedir [42]. Sayısallaştırma esnasındaki grafik eleman seçim işleminin, mevcut haritanın temsil ettiği özellikleri koruyacak ve yeniden üretim sırasında haritanın elde edilmesine olanak sağlayacak şekilde olması gerekmektedir.
- **Uzaktan Algılama Tekniği:** Ölçme sistemleri ve matematiksel hesaplama algoritmalarındaki gelişmeler, 3 boyutlu modelleme için yeni yöntemlerin uygulanabilirliğini olanaklı kılmıştır. Bu bağlamda, son yıllarda, **LIDAR (Light Detection And Ranging)** geliştirilen en etkin ölçme sistemlerinden biri haline gelmiştir. LIDAR teknolojisi, topografik verilerin elde edilmesinde doğruluk, zaman, maliyet ve ekonomi yönünden olumlu katkılar sağlamaktadır.

LIDAR, lazer ışını kullanan aktif bir uzaktan algılama sistemi olup, hassas 3 boyutlu sayısal yüzey veya arazi modeli oluşturma amacıyla GPS (Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit)/INS (Inertial Navigation Systems) ve lazer tarayıcı teknolojilerinin entegrasyonu ile oluşturulmuş kombine bir veri toplama yöntemidir [43]. Helikopter veya uçak gibi hava araçları içerisine yerleştirilen bu veri toplama sistemi, haritalanacak alanın üzerinde istenilen sıklık ve yoğunlukta uçuş yaparak, yüzeye ait üç boyutlu konum verisini toplamaktadır.

Havada hareket etmekte olan LIDAR sensörünün 3 boyutlu konumunun belirlenmesi, yeryüzündeki bir veya daha fazla referans istasyonundan rölatif-kinematik konumlama yöntemine göre GPS ölçmelerine dayalı olarak yapılmaktadır. Referans alınan nokta veya noktaların hassas konumları jeodezik GPS ağı sıklaştırma çalışmasıyla istenilen koordinat sisteminde cm doğrulukla belirlenmektedir. Referans noktalarında ve gezici konumda bulunan hava aracında ölçü boyunca toplanan eş zamanlı GPS kod ve taşıyıcı faz ölçülerinin birlikte değerlendirilmesi sonucu, hareket halindeki LIDAR sensörünün

üç boyutlu konumu kinematik olarak belirlenmektedir. Elde edilen konumlama doğruluğu birkaç cm düzeyindedir. Bu yöntemin yanında, GPS/GNSS konum belirlemede geliştirilen Ağ-RTK ve PPP (Precise Point Positioning) Hassas Nokta Konumlama gibi yeni yöntemler de LIDAR tekniği için ölçü sonrası değerlendirmede kullanılabilir yöntemlerdir. Bu yöntemler kullanılarak, cm doğruluğunda nokta konumları elde edilmektedir. GPS ile elde edilen yükseklikler elipsoidal yükseklikler olduğundan hassas geoid yükseklikleri kullanılarak ortometrik yüksekliklere, yani ortalama deniz yüzeyinden olan yüksekliklere dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Sonuçta, navigasyon verisi olarak ölçü başlangıcından sonuna kadar belirli zaman aralıklarında LIDAR sensörünün enlem, boylam ve yüksekliği belirlenmiş olmaktadır. Şekil 3.1’ de, LIDAR verisi toplama sistemi alt bileşenleri ile birlikte gösterilmiştir.

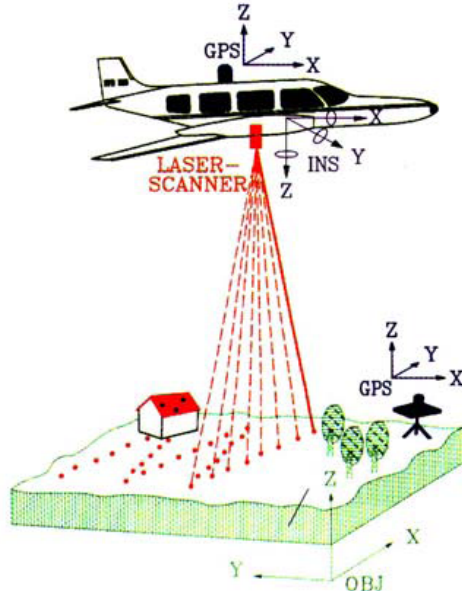


Şekil 3. 1 LIDAR verilerinden SYM’ ye geçiş süreci

Sistemin diğer bir bileşeni olan inersiyal ölçme birimi (IMU), jiroskop ve ivmeölçerlerden oluşmaktadır. Bu birim LIDAR sensörünün eğiklik, dönüklük ve titreşim adı verilen x, y, z koordinat eksenlerindeki açısal sapmalarını doğrudan ölçmekte ve belirlenmiş zaman aralıklarında kaydetmektedir.

Lazer ölçme sistemi ise gönderici, alıcı, kontrol birimi ve tarama aynasına sahiptir. Lazer tarama birimi hava aracı uçuş hattı üzerinde hareket ederken, tarama aynası tarafından lazer ışını pulsunu göndermekte ve lazer pulslarının tarama açısını ölçmekte, IMU verisi ile kombine ederek her bir lazer pulsunun açısal dönüklüğünü tespit etmektedir. Ayrıca lazer sensörü, gönderilen ve yüzeyden yansdıktan sonra geri dönen lazer pulslarının seyahat süresini ölçmekte ve bunları lazer uzunluk verisine dönüştürmektedir.

Lazer ile taramada, salınım aynası, dönme poligonu, nutasyon aynası ve tek çıkışlı hat gibi farklı tarama aynası mekanizmaları kullanılabilir. Bu mekanizmalara bağlı olarak yeryüzü Z şeklinde sinüzoidal olarak, paralel çizgilerle veya elips şeklinde dağılmış izler ile taranabilmektedir.



Şekil 3. 2 Temel LIDAR ölçme sistemi [44]

Entegre edilmiş bu üç sisteme ait veriler, taşınabilir (on board) bir bilgisayar tarafından alınarak, foton tarama (yoğunluk), lazer zamanlama, IMU bilgileri, GPS bilgileri, tarama aynası açısı gibi bilgileri kayıt edilmektedir. Her üç bileşen de güçlü bilgisayar ve yüksek kapasiteli veri kayıt birimlerine ihtiyaç duyarlar.

Sonuç olarak lazer uzunluklarının, lazer tarama açılarının, GPS' den elde edilen lazer konumlarının ve INS' den elde edilen lazer yönlendirmelerinin kombinasyonu ile yüzeyde milyonlarca noktanın x, y, z koordinatları 3 boyutlu olarak hesaplanabilmektedir [45].

Ayrıca, araca yerleştirilmiş bir ekran aracılığıyla elde edilen kayıtlar takip edilebilmektedir.

Bu işlemlerin sonucunda, GPS verisi, IMU verisi ve gidiş-dönüş pulslarına ait veriler elde edilmektedir. Elde edilen bu veriler ile yeryüzünde x, y ve z değerlerine sahip olan herhangi bir noktaya ait sayısal yükseklik değerleri ölçü sonrası değerlendirme ile hesaplanmaktadır.

Değerlendirme aşamasında kullanılan önemli değişkenler ise;

- Lazer pulsunun zaman bilgilerinin mevcut olduğu andaki 3 boyutlu x, y, z konumu
- Lazer pulsunun zaman bilgilerinin mevcut olduğu andaki eğiklik, dönüklük ve titreşim bilgileri
- Lazer pulsuna ait tarama açısı bilgileri
- Işık hızında atmosferik kırılmadan kaynaklı etkiler
- Lazer pulsunun LIDAR aletinden çıkıp obje yüzeyine çarpması ve geri dönmesi esnasındaki seyahat süresi

olarak sıralanabilir.

Sistemden uygun çıktıların alınabilmesi için, her üç bileşenin senkronizasyonunun çok iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir. GPS konum bilgisinin hangi zaman dilimlerinde ölçüldüğü, IMU verisinin ne sıklıkta kaydedildiği, lazer pulslarının gönderildiği ve geri alındığı zaman bilgilerinin tamamı uyum içerisinde olmalıdır.

Tipik olarak lazer sensörü 1040–1060 nanometre dalga boylu lazer ışını kullanmakta, saniyede 10,000 puls göndermekte, yani dakikada 600,000 nokta ölçülebilmektedir. Hava aracının hızı ve yerden yüksekliğine bağlı olarak arazi yüzeyinde 2-3 m aralıklarla lazer noktaları elde edilebilmektedir. Bu anlamda LIDAR teknolojisi yüksek doğruluk ve yüksek nokta yoğunluğu sunmaktadır.

Sistemin temel ölçme hata kaynakları, kayıklık merkezi öteleme hatası, kayıklık merkezi açısal hatası, lazer uzunluk hatası, lazer ışını açısal hatası, GPS hatası, IMU hatası, lazer ışını açısal yayılım hatası olarak sıralanabilir. Ayrıca, hava aracının hızı ile uçuş yüksekliği, lazer ışını sapması, lazer ışını çeşidi ve tarama açısı bileşenlerine bağlı olarak

elde edilen iz genişliği değişmekte ve bu da yeryüzünden elde edilen nokta sıklığı ve yoğunluğu üzerinde etkili olmaktadır.

Sonuçta yukarıda sayılan unsurların tamamı, LIDAR yöntemi ile elde edilen üç boyutlu veri kalitesi üzerinde önemli etkilere sahip parametrelerdir. Planlama aşamasında, beklenen doğruluk, maliyet ve mevcut donanım göz önünde bulundurularak, en uygun parametrelerin, uçuş güzergâhlarının ve uçuş sıklığının seçimi gerekmektedir.

Lazer tarayıcıdan yeryüzüne gönderilen lazer ışınları, yeryüzüne ulaştıkları anda çarptıkları nesnelerin yüzey özelliğine göre çoklu yansıma yapabilmektedirler. Günümüzde birçok LIDAR sistemi, aynı lazer pulsundan çoklu kayıt yapabilmektedir [46]. Yüzeye ilk ulaşan ve ilk geri dönen ışın, yansıma yüzeyindeki nesnenin ya da yer yüzeyinin en üst noktasını temsil eder. Bazı lazer alıcıları, yansıyan çoklu lazer ışınlarının beş farklı dönüş değerini kayıt etme özelliğine sahiptirler. Bu özellik sayesinde, ölçme alanı içerisinde bulunan yeryüzü noktasından farklı yükseklikteki nesneler kaydedilmiş olur. LIDAR sensörü ile kayıt edilen ilk dönen ışınlar, lazer ışını ile ilk çarpışan nesneyi ifade etmektedirler. Bunlar, ağaç yaprakları, çatı, yer noktası, kuş veya uçak olabilirler. Daha yumuşak bir nesneye çarpan ve aşağı doğru ilerleyişini devam ettiren lazer ışını, yine bir nesneye çarptığında bu noktada kaydedilen dönüş değeri ikinci dönen ışın kümesidir. Teorik olarak, her zaman geçerli olmamakla birlikte en son dönen veri grubu, yeryüzünü temsil eder.

Özellikle ormanlık alanlarda yapılan çalışmalarda ya da üç boyutlu kent modeli oluşturma çalışmalarında, çoklu yansıma kayıt özelliği sayesinde bitki örtüsü kalınlıkları ve yeryüzündeki farklı yükseklikteki yapıların yüksekliklerinin belirlenmesine olanak sağlanır. Çoklu yansıma özelliği ile kaydedilen lazer ışınları uygulanan uygun filtreleme yöntemleri ile arazi yüzeyini veya nesne yüzeyini temsil eden nokta kümeleri olarak elde edilebilirler. Komşu noktaların yükseklik bilgilerine dayalı filtreleme algoritmaları yardımıyla elde edilen noktalar çeşitli nokta grupları olarak sınıflandırılırlar.

LIDAR sistemi, kullanılan sistem bileşenlerinin özelliklerine göre farklı sonuçlar üretmektedirler. Bu özellikler, tarama açısı, uçuş yüksekliği, tarama hızı ve lazer ışığının hızıdır.

Günümüzde arazi verisine dayalı olarak gelişen çalışmalarda, sağladığı yüksek doğruluk nedeniyle geniş kullanım alanları bulan LIDAR teknolojisi, bu tez çalışması için de sağladığı avantajlardan dolayı uygulama arazi verisi olarak seçilmiştir.

Arazi yüzeyinden elde edilen veriler, uygun gridleme yöntemleri ile modellendikten sonra oluşturulan model verilerinin gösterimlerinde ve depolanmalarında farklı yapıda veri modelleme yöntemleri kullanılmaktadır. Buna göre, yüzey modellemede kullanılacak kaynak veri, modellemede kullanılacak temel geometrik özelliklere göre aşağıda açıklandığı üzere dört farklı yöntem ile elde edilmektedir.

- Noktasal Modelleme Yöntemi: Bu veri modellemesi ile her bir noktaya ait olan ve bu noktanın yüksekliği ile tanımlanan yatay düzlem yüzeyler elde edilmektedir. Eğer bu yüzeyler tek bir nokta kullanılarak oluşturulmuşsa, bütün sayısal yükseklik modeli kesikli yüzeyler olarak temsil edilir. Model içindeki her bir noktanın yükseklik değeri, üretilen yüzey içerisinde alt yatay düzlemleri oluşturur.
- Üçgenleme Yöntemi: Kaynak arazi verisine ait her bir noktanın dayanak noktası olarak alınarak, düzgün veya rastgele üçgen köşeleri meydana getirilmesi ile arazi yüzeyinin temsil edilmesidir. Bu şekilde her bir arazi verisi, üçgen kenarlarını ifade eden noktalar halini almaktadır. Bu üç nokta bir üçgen meydana getirir ve bu sayede eğik bir düzlem üçgen tanımlanır. Bu şekilde oluşturulan eğik düzlem yüzey üçgenleri, birbirleri ile bağlantı oluşturarak sayısal yükseklik modeli kurulacak yüzeyi üçgen ağı ile kaplarlar.
- Gridleme Yöntemi: Matris formunda kolay depolanma özelliği nedeniyle en çok tercih edilen modelleme yöntemidir. Teorik olarak, paralel kenar, dikdörtgen, kare veya düzensiz poligonlar gibi dört köşeli tüm geometrik tanımlar gridleme için kullanılabilir. Ancak, sonuçta elde edilen veri yapısı ve elde edilecek yüzeyin sunumu gibi pratikte oluşabilecek nedenlerden dolayı, en uygun gridleme geometrisi düzgün aralıklı karelerin kullanımıdır.
- Melez Veri Kullanımlı Yüzey Modelleme Yöntemi: Yukarıda ayrı ayrı anlatılan modellerin bütünleşik yapıda kullanılması ile elde edilmektedir. Yüzey modelleme için belirli geometrik şekillerin kullanılması ile üretilen gerçek veri yapısı, bir ağ yapısı oluşturmaktadır. Bir sayısal yükseklik modeli genellikle bir ya da iki veri

modelleme yöntemi kullanılarak üretilmektedir. Genellikle tercih edilen gösterim yöntemi grid veri ile üçgen verinin birlikte kullanılmasıdır.

Yüzeye ait verilerden modelleme yapılarak gerçeğe en uygun modelin oluşturulması, bir interpolasyon çalışmasıdır. Interpolasyon, matematiksel olarak bir yaklaşım problemi iken istatistiksel olarak ise bir kestirim problemidir. Sayısal yükseklik modellemede interpolasyon işlemi, yüksekliği bilinmeyen herhangi bir noktanın yüksekliğinin bu noktaya komşu olan ve konumları ile yükseklikleri bilinen dayanak noktalarına göre hesaplanmasıdır. Dayanak noktaları, 3 boyutlu koordinatları ölçülmüş ve değerleri bilinen noktalardır. Sayısal yükseklik modelinin üretilmesinde kullanılan interpolasyon yöntemlerinin temelinde iki düşünce vardır. Bunlardan ilki, sonuç yüzeyin sürekli ve düzgün yüzeylerden oluşmasıdır. Diğer düşünce ise, birbirine komşu olan noktalar arasında yüksek korelasyonun bulunduğuudur.

Yüzeyin modellenmesinde kullanılacak yaklaşımlara bağlı olarak, farklı algoritmalara sahip pek çok interpolasyon yöntemi bulunmaktadır. Kriging, Radyal Temel Fonksiyon, Doğal Komşuluk, Lineer Interpolasyonla Triangülasyon, Modified Shepard, Minimum Eğrilik, Mesafenin Tersine göre Interpolasyon, En Yakın Komşuluk ve Lokal Polinom Fonksiyon yaygın olarak kullanılan interpolasyon yöntemlerindendir. Aşağıda söz konusu yaklaşımlara ait özet açıklamalar içeren bilgiler verilmiş ve ayrıca arazi tabanlı çalışmalarda geniş bir uygulama alanı bulan Kriging interpolasyon yaklaşımı grid aralığı ve nokta yoğunluğu bakımından irdelenmiştir.

- Geoistatistiksel interpolasyon yöntemlerinden birisi olan Kriging yöntemi, bulunması istenen noktaya ait verilerin bu noktaya komşu olan örnekleme noktaları yardımıyla ağırlıklı ortalamaların hesaplanması sonucunda veri üretilmesini temel alan ve en iyi lineer yansız tahminci (BLUP: Best Linear Unbiased Predictor) ya da en iyi lineer yansız hesaplayıcı (BLUE: Best Linear Unbiased Estimator) olarak tanımlanan bir yöntemdir. Bu yöntem, uzaysal olarak dağılmış ve birbirleri arasında ilişki bulunan örneklemeler arasındaki mesafe ve yön değişimi dağılım ilişkisini temel alarak, elde edilen dağılım ilişkisi modeline göre aynı uzaysal yapı içindeki bilinmeyen noktalarda tahmin yapmaktadır. Kriging yönteminin temelinde, bölgesel değişkenler teorisi bulunmaktadır. Kriging yöntemi ile yapılan interpolasyon işlemi ise yarıvariogram modelinin yapısal özelliklerini kullanarak, bilinmeyen noktalarda

konumsal değişimleri tahmin etmektedir. Yarivariogram analizi, iki örnekleme noktası arasındaki mesafe ve yön ile değişim gösteren, çalışılan bölgenin uzaysal bağımlılığını ölçen, değişken dağılımının uzaysal yapısını belirlemek için kullanılan bir aracı yöntemdir. Yarivariogram davranışlarının belirlenmesi için yapılan analiz sonucunda, yarivariograma ait model parametreleri hesaplanır. Yarivariogramda, değişken dağılımının mesafe ve yöne bağlı olarak uygun veriler ile modellenmesi sonucunda elde edilen model parametreleri, tahmin aşamasında kullanılır. Yapılan yarivariogram analizi sonucu elde edilen yarivariogram modellerinin doğruluklarının ve geçerliliklerinin test edilmesi için çapraz doğrulama işlemi yapılmaktadır.

- Radyal Temel Fonksiyon ile enterpolasyon işlemi, enterpolasyona giren tüm noktalara dayalı olarak uygulanan bir yöntemdir. Enterpolasyona giren tüm noktalardan geçen bir fonksiyon olarak tanımlanan bu yöntem, veri grubuna tam uyum sağladığı için, çıkışta artık hataları oluşturmamaktadır [47].
- Modified Shepard yöntemi, en küçük karelerle ağırlıklandırılmış mesafenin tersini ait değerleri kullanmaktadır. Bu bağlamda incelendiğinde, Mesafenin Tersine göre yapılan enterpolasyon yöntemine benzer bir yapı oluşturmaktadır. Ancak, bu yöntemde, yerel en küçük karelerin kullanılması, oluşturulan eşyükseklik eğrilerinin görünümünde “bull’s-eye” adı verilen boşluklu görünümün azalmasını ya da yok olmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, veri noktalarından geçen veya düzgünleştiren bir enterpolasyon yöntemi olarak kullanılabilir [48].
- En yakın komşuluk enterpolasyon yöntemi, her grid noktasına en yakın noktanın değerini göstermektedir. Bu yöntem, grid veri formatında modellenen veri kullanıldığında etkili sonuçlar vermektedir. Az bir sapma miktarı ile grid köşesine yakın veri gruplarının olması durumunda, veri yapısındaki boşlukların doldurulmasında verimli bir yöntem olarak kullanılmaktadır.
- Minimum eğrilik yöntemi, araziye bağlı yapılan uygulamalarda özellikle yer bilimlerinde yaygın olarak kullanılan bir enterpolasyon yöntemidir. Minimum eğrilikle üretilmiş enterpolasyon yüzeyi, tüm veri noktalarından en az sapma miktarı oluşturacak şekilde geçen doğrusal elastik bir düzlem üretmektedir. Üretilen model, ham veri grubuna en yakın şekilde geçen düzgün yüzeyler üretmekte, ancak veri

noktalarında çakışma artık hataları olduğu için tam uyum sağlayan model tanımında olmamaktadır.

- Mesafenin Tersine göre enterpolasyon yöntemi, yüzeye tam uyum sağlayan veya düzgün yüzeyler üreten bir yöntemdir. Yöntem, ortalama ağırlıkları kullanmaktadır. Enterpolasyon işlemi sürecinde, her bir veri noktasının grid köşesinden olan uzaklığının diğer noktalara olan etkisi hesaplanmaktadır. Ağırlıklandırma, veri noktasının grid kenarına olan uzaklığının artması ile azalan bir ağırlık kullanmakta ve seçilen kuvvet parametresini ile oluşturulmaktadır. Büyük kuvvet parametresinin seçimi, grid kenarından uzaklaşan noktalar üzerindeki ağırlık etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Daha küçük kuvvet parametrelerinin seçimi ise, ağırlıkların veri noktalarına dağılımını sağlamaktadır.
- Yerel Polinom fonksiyon ile enterpolasyon süreci, en küçük kareler ile hesaplanan ağırlıkları kullanarak veri noktalarının grid köşelerinde temsil edilmesini kapsamaktadır. Buna göre, grid köşesinde tanımlanan arama elipsi içine düşen noktalar ve en küçük karelere göre hesaplanan ağırlıklara uyum sağlayan noktalar enterpolasyonda kullanılmaktadır.
- Doğal Komşuluk kullanılarak yapılan enterpolasyon işlemi, pek çok uygulama alanında kullanım bulmuş bir uygulamadır. Doğal komşuluk enterpolasyon modelinde, Delaunay üçgenleme yaklaşımına benzer olarak Thiessen poligonu adı verilen üçgen çiftleri oluşturulmaktadır. Enterpolasyon işlemine giren her yeni nokta, oluşturulan üçgen modelinin her seferinde değişmesine neden olmaktadır. Bu değişim, bazı poligonların genişliğini daraltmasının yanında, hiçbirinde genişlemeye neden olmamaktadır. Thiessen poligonları, enterpolasyon işlemi başlangıcında oluşturulan poligonların mevcut durumundaki bilgilerini kullanarak, her yeni noktanın enterpolasyona girmesi ile yeni poligonlardan oluşmaktadır. Bu nedenle, yöntem enterpolasyona giren yeni noktanın yakınındaki komşu noktalara ait ortalama ağırlıklandırmayı kullanmaktadır.
- Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon işlemi, veri noktalarından oluşturulan Delaunay üçgenlerini kullanmaktadır. Yöntem, veri noktalarının birleştirilmesi sureti ile bir üçgen model ağı oluşturur. Oluşturulan bu ağda, hiçbir üçgen kenarı üzerinde

diğer üçgen kenarları kesişmemektedir. Oluşturulan üçgen yüzeylerin kenarları, veri noktalarından oluştuğu için, enterpolasyon sonucu bu noktalarda çakışma artık hataları oluşmamakta, yani yüzeye tam uyum sağlanmaktadır. Bu yöntem, çalışma bölgesine homojen dağılmış bir veri seti ile en iyi sonuçları üretmektedir. Veri seti içinde, nokta yoğunluğu bakımından boşluklu bir yapının olması, üçgen modelde birbirinden belirgin olarak ayrılmış üçgen yüzeylerin oluşmasına neden olmaktadır [49].

Soycan vd. [50] yüzeyin temsili için kullanılacak uygun enterpolasyon yönteminin belirlenmesi ve grid aralığı ile nokta yoğunluğu arasındaki ilişkinin tespiti için yaptığı çalışmada, dört farklı arazi yapısına sahip bölgeler için deneysel bir test çalışması gerçekleştirmiştir. Enterpolasyon ile elde edilen nokta yükseklikleri ile çalışmada karşılaştırma noktası olarak ayrılan ve yüksekliği sabit kabul edilen noktalar arasındaki yükseklik farkları hesaplanmış ve hesaplanan bu farklara ait istatistiksel bilgiler çapraz doğrulama yöntemi ile elde edilmiştir [50], [51], [52], [53]. Çalışmada yukarıda özet bilgileri ile verilen enterpolasyon yöntemleri kullanılarak, karesel ortalama hata (KOH) değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması ve hassasiyetlerinin belirlenmesi için en yaygın ve genel olarak kullanılan ölçüt, KOH yöntemidir. KOH, nokta yükseklikleri ile enterpolasyon sonucunda elde edilen aynı noktalara ait yükseklikler arasındaki farkların sıklık dağılımını ölçen, istatistiksel bir analizdir [53], [54], [55], [56]. Sonuçlar incelendiğinde; Kriging, Radyal Temel Fonksiyon, Doğal Komşuluk ve Lineer Enterpolasyonla Triangülasyon yöntemlerinin KOH miktarları, diğer yöntemlere göre daha hassas çözümler sunmaktadırlar. Bu dört yönteme göre elde edilen KOH değerlerine bakıldığında ise elde edilen hassasiyetler bakımından aralarında önemli bir farkın olmadığı görülmektedir. Bu yöntemlerin en önemli özelliği, her türlü topografyada ve veri setinde arazi yüzeyine uyan sonuçlar üretebilmeleridir. Aynı çalışmada veri yoğunluğunun etkisinin incelenmesi amacıyla, bu dört farklı veri seti, grid aralığı sabit alınıp, değişen veri yoğunlukları ile yukarıda değinilen yöntemler uygulanarak enterpole edilmiştir. Rastgele seçilerek oluşturulan dayanak noktalarına ait veri setleri, oluşturulan sayısal yükseklik modelleri ile enterpole edilerek yükseklik değerleri elde edilmiş. Bu veri setine ait gerçek yükseklik değerleri

enterpole edilen yükseklik değerleri arasındaki farklardan KOH değerleri hesaplanmıştır [53], [57], [58], [59], [60], [61].

Elde edilen sonuçlara göre, enterpolasyon işlemi için kullanılacak nokta sayısı orijinal veri setinin % 50' si oranında azaltılabileceği görülmüştür. Yapılan bu test çalışmasında elde edilen sonuçların benzeri Liu vd.' nin [62], 113 km² bir alanda Mesafenin Tersiyöntemine dayalı olarak yaptıkları çalışmada elde edilmiştir.

Bununla birlikte, grid aralığının etkisini belirlemek için, veri yoğunluğu etkisinin belirlenmesinde seçilen bu dört farklı veri seti, aynı parametreler ve Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. McCullagh [63] yaptığı çalışmada, elde edilen grid hücre sayısının yaklaşık olarak çalışma bölgesindeki ham arazi verisine eşit olması gerektiğini önermektedir. Liu [62], Smith vd. [64] ve Behan [65] ise, uygun grid aralığının, ham arazi verileri arasındaki mesafeye mümkün olabildiğince yakın bir değer olarak seçilmesini önermektedirler. Hu [66] ise daha basit bir tanımlama kullanarak, grid aralığını çalışma bölgesi alanının bölgeye düşen nokta sayısına bölünmesi ile elde edilen değerın karekökü (Eşitlik 3.1) olarak hesaplanabileceğini önermektedir.

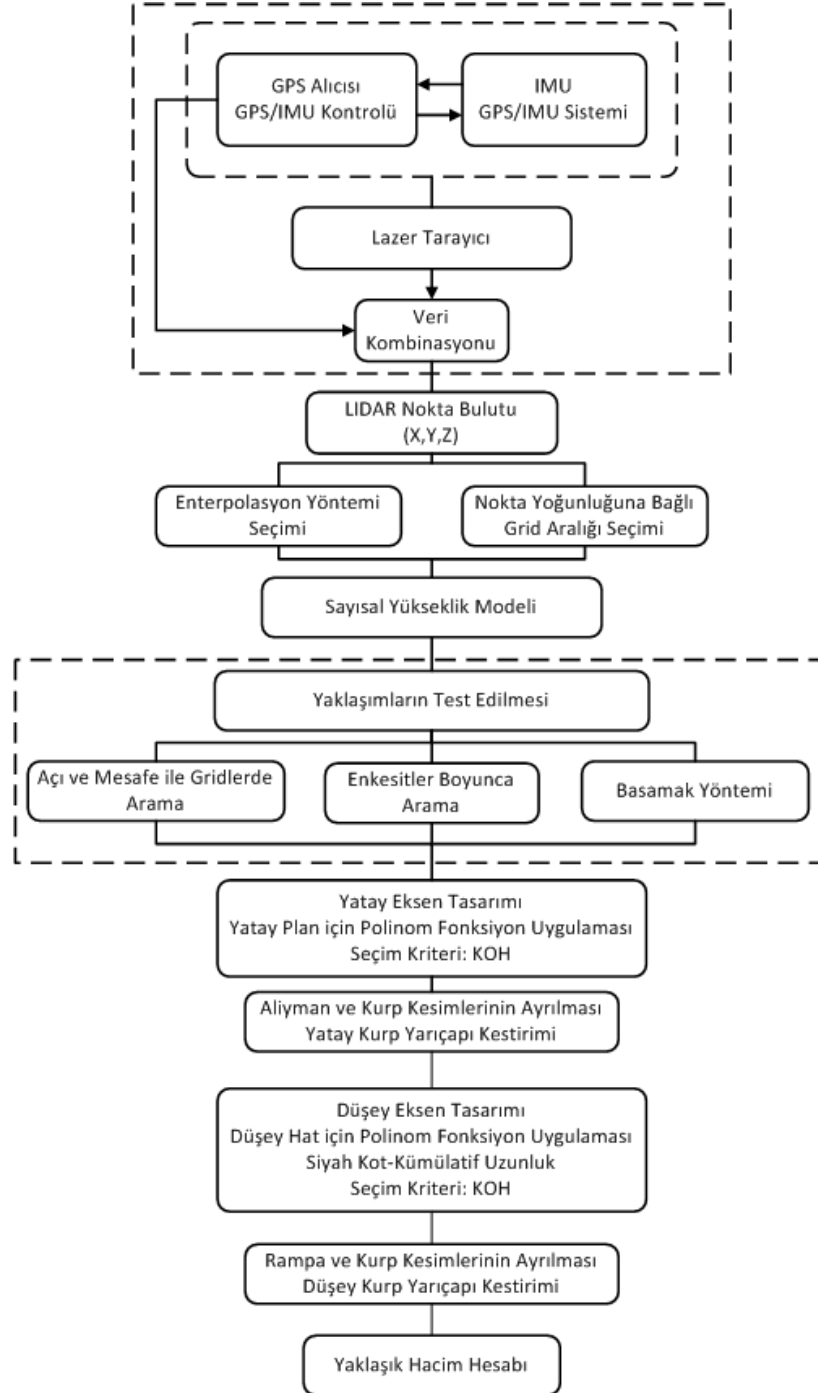
$$g_a = \sqrt{\frac{Alan}{n}} \quad (3.1)$$

Burada g_a kare grid yapıdaki genişliği, Alan; çalışma alanının genişliği, n ise bu alana düşen nokta sayısını göstermektedir. Bu eşitlik ile elde edilen grid genişliği ve bu değerin 2.5 katı değer arasında değişen grid aralıklarının kullanılması etkili ve verimli sonuçlar üretmektedir. Verilen bu aralık değerinin üzerindeki grid aralıklarının ise SYM model hassasiyetini azalttığı görülmüştür.

3.2 Yatay Geçki Tasarımı için Geliştirilen Alternatif Yaklaşımlar

Bu bölümde, verilen iki ana kontrol noktasını birleştirmek amacıyla mevcut geçki araştırma yöntemlerinden farklı olarak, önerilen ve geliştirilen üç yaklaşım sunulmaktadır. Çalışmanın genel işlem akışı Şekil 3.3' de verildiği gibidir. İş akış diyagramının ilk bölümünde, değinilen veri toplama yöntemleri arasında, son yıllarda hızlı, etkin ve efektif sonuçlar üretmesi bakımından geniş bir kullanım alanı bulan LIDAR

teknolojisi, bu çalışma için geniş alanlarda yüksek doğruluk sağladığından dolayı kullanılacak veri grubu olarak seçilmiştir. İş akış diyagramında ikinci ana kısım ise önerilen yaklaşımların sunulmasıdır. Son kısımda ise bu yöntemler kullanılarak elde edilen geçki hattının proje elemanları ile temsili için gerekli olan işlem akışından bahsedilmiştir.



Şekil 3. 3 Çalışmada izlenen genel işlem akış diyagramı

3.2.1 Açı ve Uzunluk ile Gridlerde Arama Yaklaşımı

Önerilen bu yaklaşımda, geçki oluşturmak amacı ile verilen iki noktanın (başlangıç: A ve bitiş: B noktaları) sabit eğim koşuluna dayalı ve toprak işi maliyetinin en aza indirilmesi öngörülerek birleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, başlangıç ve bitiş noktalarına bağlı olmak üzere sıfır poligonu hattının otomatik olarak oluşturulması tasarlanmıştır. Yeryüzüne ait verilerin otomatik olarak değerlendirilmesi, çalışma bölgesine ait her noktadaki veri davranışının kontrol edilmesi ve tüm olasılıkların göz önüne alınması ile mümkündür. Ancak, çalışma bölgesindeki arazi verisine ait öncül bilginin olmaması, arama sınırlarının genişlemesi veya daralması ile farklı sonuçların üretilmesi veya üretilmemesi gibi sorunlar doğurmaktadır. Bundan dolayı, bu yaklaşım, sıfır poligonu hattının klasik (manuel) olarak geçirilmesi sürecini taklit ederek, sonuç geçki hattının oluşturulması şeklinde tasarlanmıştır.

Bu yönetime göre, geçki hattına ait aranan ara noktaların tespit edilmesi, değişen açı değerlerine bağlı oluşturulan arama çemberi üzerindeki noktaların eğim değerlerine ve sabit arama mesafesi değerine bağlı olarak yapılmaktadır. Önerilen yaklaşım ile ızgara veri yapısındaki arazi verisinde, ana kontrol noktalarının üç boyutlu koordinat değerleri başlama kriteri olacak şekilde alınarak uygun ara noktaların otomatik olarak atanması planlanmaktadır.

Yaklaşımda, geçki araştırması için seçilen veri yapısı grid (ızgara) veri yapısıdır. Bu veri yapısının seçilmesindeki temel nedenler, veri işleme kolaylığı sağlaması, hafıza problemini en aza indirmesi, verinin matris formatında kolay depolanabilmesi ve kullanılacak diğer verilerle entegrasyon sağlaması gibi özelliklere sahip olmasıdır. Problemin çözümüne yönelik geliştirilen algoritmanın başlama koşulu, iki farklı veri tipinin tanımlanması ile olmaktadır. Bu farklı tipteki veriler: (1) arazi verisine ait noktaların üç boyutlu koordinatları (2) başlangıç ve bitiş noktalarına ait üç boyutlu nokta koordinatlarıdır.

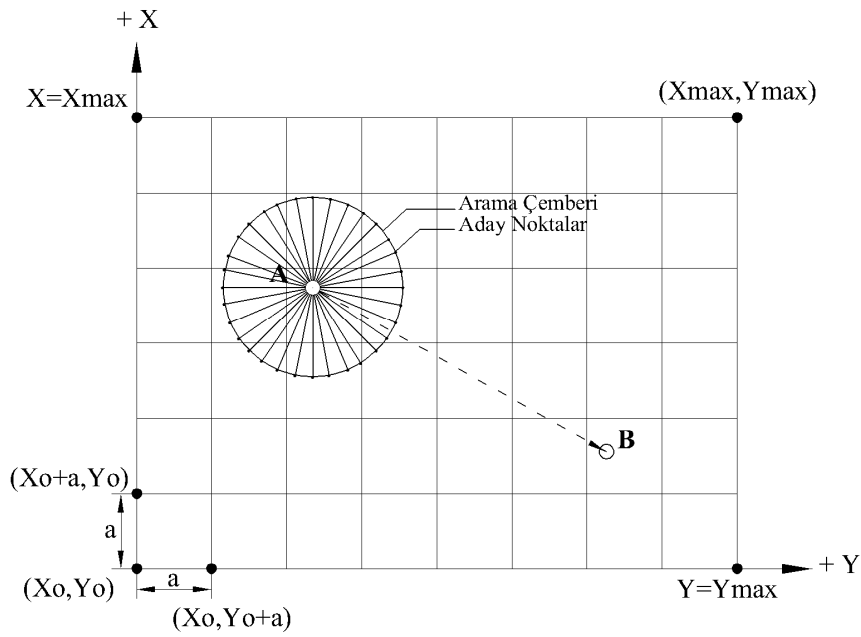
Başlama koşulunu sağlayacak veri girişlerinin hazırlanmasında önemli adımlardan birisi araziye ait dağınık formdaki noktaların modellenerek, SYM haline getirilmeleridir. Buna göre çalışma bölgesi için kullanılacak yüksek çözünürlüklü arazi verisi, sayısal yükseklik modeli oluşturmak için seçilen (önerilen) enterpolasyon yöntemine göre modellenerek,

sabit aralıklı ızgara veri yapısına çevrilmektedir. Yöntemde esas olan, iki noktayı birbirine bağlayacak şekilde oluşturulacak geçkinin, iteratif olarak bulunan bu ara noktaların konumlarına bağlı olarak değişen bir arama doğrultusuna göre yönelmesini sağlamaktır. Algoritmayı başlatan veri girişlerinin ardından, başlangıç ve bitiş noktalarına ait üç boyutlu koordinatlardan boyuna eğim değeri hesaplanarak, hesaplanan bu değer eğim koşulu olarak atanmaktadır. Hesaplanan bu eğim değeri, bu noktadan sonra hesaplanacak her bir iterasyondaki aday ara noktalar için sabit olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle, algoritma, her bir iteratif adımda, aday ara noktalar üretmekte ve bu noktalar arasından seçimi eğim değerini sağlayan noktanın bulunması ile tamamlamaktadır. Verilen iki nokta arasındaki izdüşüm mesafesi hesabı, Pisagor Teoremi'nden yatay koordinatlar yardımıyla hesaplanmıştır. Algoritmanın bu bölümü için yapılan çalışmalarda, izdüşüm mesafesine dayalı olarak hesaplanan eğim değerinin yeterli olmadığına karar verilmiş ve araziye uyum sağlaması için azaltılması gerektiği saptanmıştır. Bunun için, hesaplanan izdüşüm mesafesinin, dolanma katsayısı olarak tanımlanan bir sayı değeri ile çarpılması ile büyütülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, dolanma katsayısının (D_m) iteratif bir yaklaşımla elde edilmesi gerekliliği bulunmuştur.

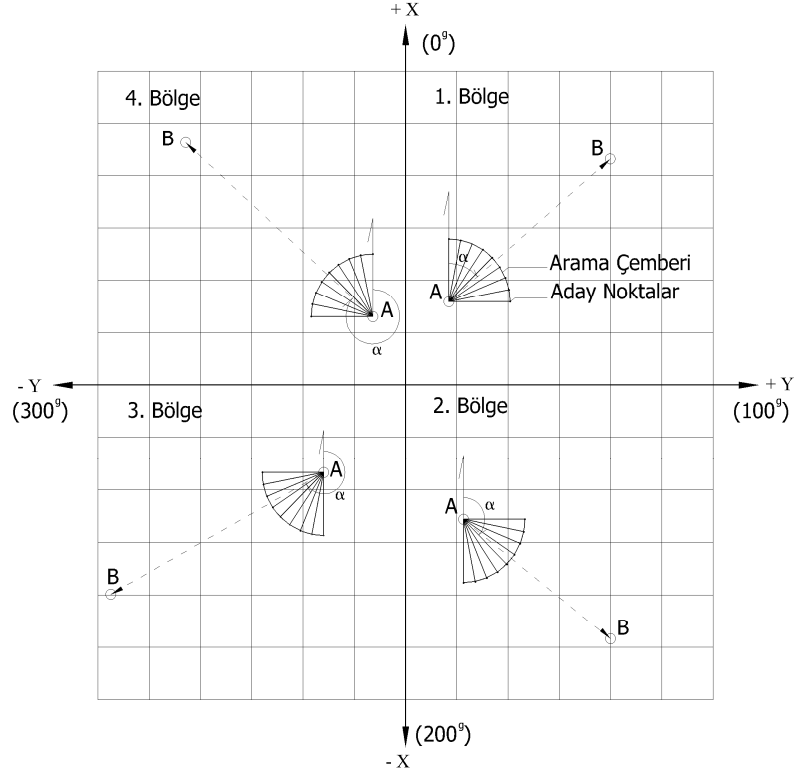
Eğim koşulunun belirlenmesi, aday noktaların yükseklik değerlerine göre seçimi için gerekli olan bir koşuldur. Ancak aday noktaların yatay plan üzerinde yerlerinin tespit edilmesi için her bir adımda tanımlanması gereken arama yüzeylerine ihtiyaç vardır. Arama yüzeyi olarak çember yüzeylerin seçilmesi, eşit mesafeli arama noktaları oluşturduğu için kullanılmaktadır. Bu sayede, her aşamada her bir nokta için istenen eğim değeri ile aranan noktaların eğim değerlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlanmaktadır. Karşılaştırma ile aranan noktanın yerinin bulunması; başlangıç ve bitiş noktalarına ait boyuna eğim değeri ile ilk nokta ve oluşturulan çember yüzeyi üzerindeki noktalar arasında hesaplanan eğim değerlerinin farklarının eşit olduğu durum için geçerlidir. Hesaplamalarda eşitliğin sağlanabilmesi için bir tolerans sınır değeri ($\varepsilon = 0,0001$) belirlenmiştir.

Arama yüzeyinin çember olarak tanımlanması, 0° ile 400° arasında değişen bir açı değeri ile arama yapması, aynı eğim farkına sahip birden çok noktanın bulunmasına ve geçki hattında geriye dönüşlerin yaşanmasına neden olmaktadır. Şekil 3.4' de, çember

arama yüzeyinde aday noktaların sınırlanmaması durumunda aramanın yön değiştirmesine neden olacak aday nokta dağılımları gösterilmektedir. Bu yüzden, yaklaşımın akış diyagramına iki farklı koşul eklenmiştir. Bunlardan ilki, arama doğrultusunun yönlendirilmesi için, noktalar arasındaki açıklık açısının kısıtlayıcı koşul olmasıdır. Noktalar arasındaki açıklık açısının yönlendirilmiş doğrultu olarak kullanılması için arama çemberi daraltılarak 100° lık merkez açı dilimleri halinde hesaplanmıştır. Şekil 3.5, açıklık açısına göre tanımlanmış bölgeler için arama çemberinin sınırlandırılmış durumunu göstermektedir.



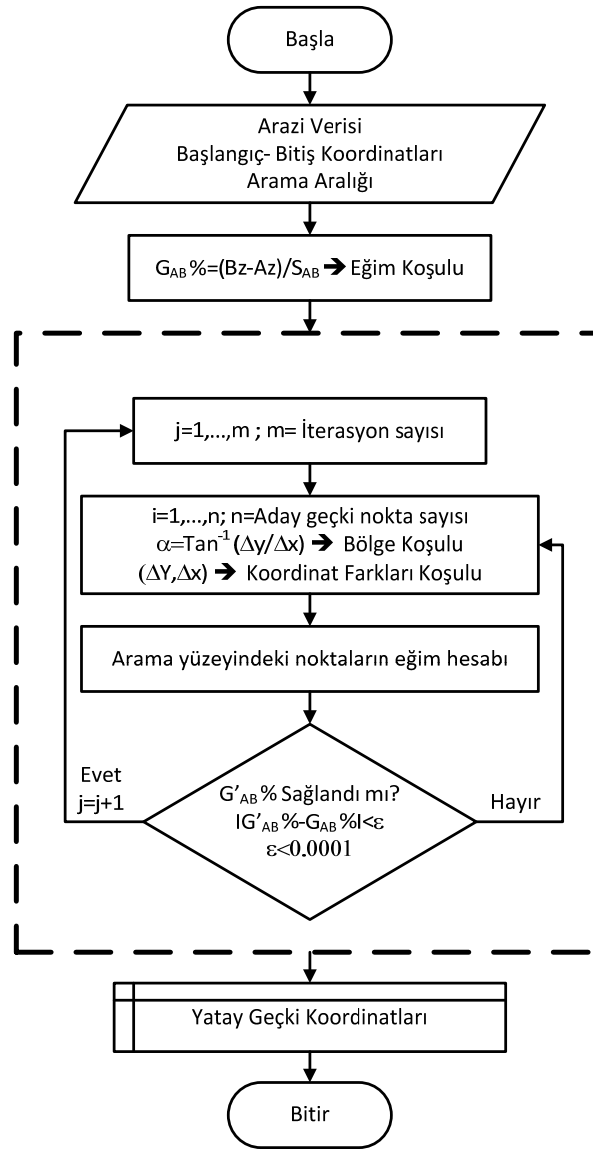
Şekil 3. 4 Arama çemberinin belirlenmesi (a: grid aralığı)



Şekil 3. 5 Jeodezik koordinat sistemine göre arama çemberlerinin tanım aralıkları

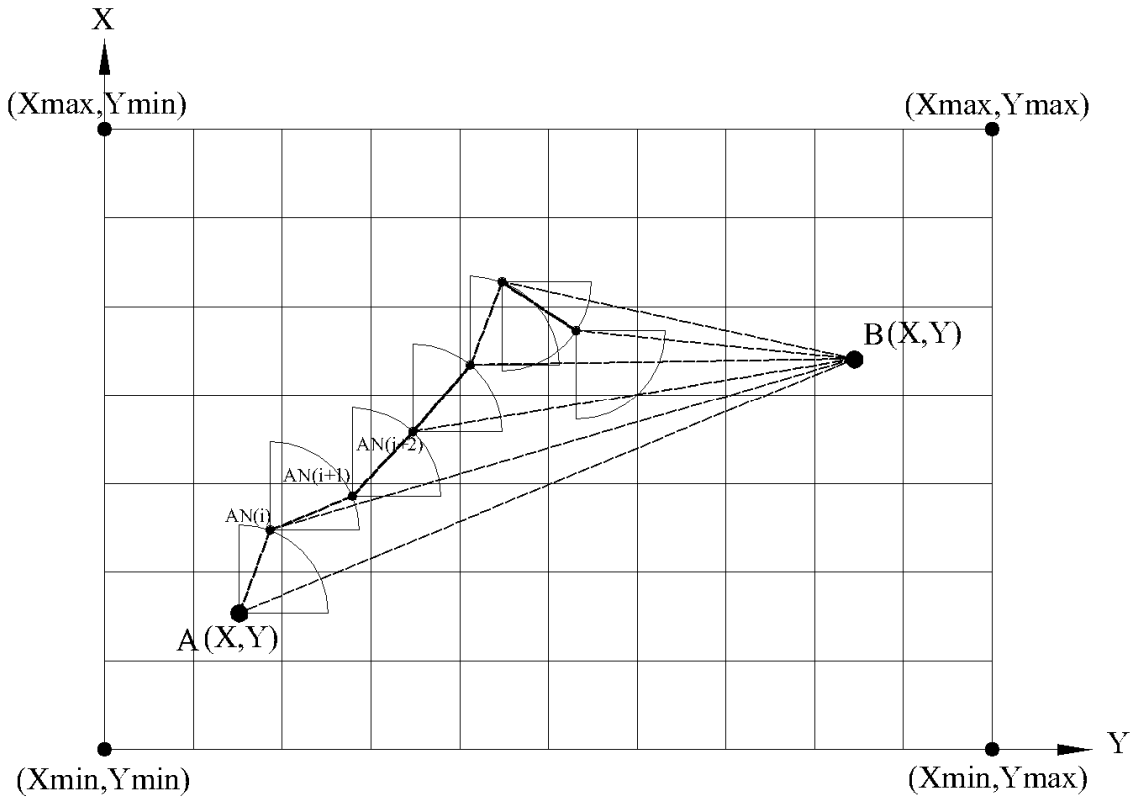
Buraya kadar olan kısımda, yaklaşımın çalışması için gerekli olan veri tanımları ve arama yüzeyinin oluşturulması için gerekli olan koşulların sağlanması işlemlerinden bahsedilmektedir. Bundan sonraki kısımda, başlangıç ve bitiş noktası koordinatlarına göre hesaplanan değerler sonucunda iteratif aramaya başlanılmaktadır. Yönlendirme için belirlenen ilk doğrultu, iki ana kontrol noktasının oluşturduğu açıklık açısına göre hesaplanmaktadır. İlk başlangıç koşulu sağlandıktan ve arama algoritması iteratif olarak çalışmaya başladıktan sonra ardışık olarak ilk ana kontrol noktası yerine geçen ara nokta ve bitiş noktasının açıklık açısı hesap edilerek yönelmelere devam edilmektedir. 100^{gr} lık merkez açı değerine sahip olan arama çemberi, her iterasyonda doğrultu değiştirerek bir sonraki arama noktasına geçmektedir. Bütün aday noktalar, bir doğrultu genişliği içinde tanımlanır. Bir aralığın tanımlanmasındaki temel amaç, geçki için bir başlangıç noktasından başlandıktan sonra geriye olabilecek dönüşlerin engellenmesidir. Doğrultu alt limit ve üst limitleri belirlenen hareket alanında, bir sonraki geçki ara noktasının bulunması için ikinci adımın atılması, mesafe ataması ile gerçekleştirilmektedir. Izgara veri yapısının kenar uzunluğuna yani çözünürlük değerine göre mesafe atamalarının seçilmesi, uygun yükseklik değerlerinin bulunmasını

sağlamıştır. Buna göre, belirlenen atama mesafesi için, ızgara veri yapısının kenar çözünürlüğünden büyük bir değer alındığında bir sonraki noktaya geçişte yükseklik değerleri daha gerçekçi sonuçlar vermekte ve aynı zamanda algoritmanın çalışma süresini kısaltmaktadır. Buna göre, seçilen başlangıç ve bitiş noktalarının eğim değeri, adım adım işlem yapan algoritma içinde sabit değer olarak alınmakta ve belirlenen doğrultu alt limit ve üst limit değerleri içinde bir yay parçası üstünde hareket ederek en uygun değeri yakalaması şeklinde olmaktadır. Algoritma, bulduğu en uygun noktayı, geçki için ara nokta olarak atayarak, bir sonraki adıma geçmektedir. Şekil 3.6' de yukarıda çalışma biçimi anlatılan ve önerilen yaklaşımın algoritması gösterilmektedir.



Şekil 3. 6 Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının işlem akışı

Şekil 3.7, arama çemberlerinin yön değişimini ve aday noktaların oluşturulmasını temsil etmektedir. Şekil 3.7 üzerinde uzunluk ve açı doğrultusuna göre kare grid veri üzerinde arama yaparak geçki tasarımında verilen iki ana noktaya bağlı en uygun eğim değerine göre geçki tasarımının görsel hali bulunmaktadır. Buna göre, araziye en uygun olarak geçirilebilecek hattın bulunması, nokta konumlarına, arazi verisine ve boyuna eğim değerine göre belirlenmektedir. Şekil 3.7' de, A başlangıç noktası ve B bitiş noktası olmak üzere; açıklık açısının yön tayini olarak alınması ile algoritmanın çalışmaya başladığı gösterilmektedir. Doğrultu alt ve üst limitleri program çalışmaya başladıktan sonra geriye dönük olarak hattın dolaşmasını engellemektedir.



Şekil 3. 7 Geçkinin yatay planda sunumu

A_x, A_y, A_z = Başlangıç noktasının koordinatları,

B_x, B_y, B_z = Bitiş noktasının koordinatları,

olmak üzere; iteratif yaklaşımda aramaya başlama işlemi aşağıda verilen hesap adımları ve koşulların sağlanması ile başlamaktadır.

1. Adım: Başlangıç Yönelme Yönünün Tayini

1. Hesap: A ve B noktalarının açıklık açılarının bölgelerine göre tespit:

$$\Delta y = |By - Ay|$$

$$\Delta x = |Bx - Ax| \quad (3.2)$$

koordinat farkları olmak üzere;

Eğer: $\Delta x > 0$ ve $\Delta y = 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = 0$$

Eğer: $\Delta x = 0$ ve $\Delta y > 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = 100^g$$

Eğer: $\Delta x < 0$ ve $\Delta y = 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = 200^g$$

Eğer: $\Delta x = 0$ ve $\Delta y < 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = 300^g$$

$$\alpha_{AB} = a \tan\left(\frac{By - Ay}{Bx - Ax}\right) \quad (3.3)$$

Eğer: $\Delta x < 0$ ve $\Delta y > 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = \alpha_{AB} + 200^g$$

Eğer: $\Delta x < 0$ ve $\Delta y < 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = \alpha_{AB} + 400^g$$

Eğer: $\Delta x > 0$ ve $\Delta y > 0$ ise;

$$\alpha_{AB} = \alpha_{AB}$$

2. Hesap: Koordinat farklarına göre tespit:

$$\Delta y = |By - Ay|$$

$$\Delta x = |B_x - A_x|$$

3. Hesap: A ve B noktalarının konumlarına göre tespit:

$$G_{AB} \% = (B_z - A_z) / S_{AB} \quad (3.4)$$

$$S_{AB0} = ((A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2)^{0.5} \quad (3.5)$$

$$D_m = 1.5$$

$$S_{AB} = D_m * S_{AB0} \quad (3.6)$$

A= Başlangıç noktası,

B= Bitiş noktası;

S_{AB0} = A ve B noktaları arasındaki izdüşüm mesafesi,

$G_{AB} (\%)$ = A ve B noktaları arasındaki boyuna eğim değeri,

D_m = Dolanma mesafesi katsayısı,

ss= Arama aralığı,

olmak üzere yaklaşımın çalışma kriterleri ve koşulları verilmektedir.

1. Kriter: İteratif Aramaya Başlama:

Koşul 1: $\alpha_{AB} > 0^g$ ve $\alpha_{AB} < 100^g$ için;

i=1:101 ve aci=[0:1:100] olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((aci(i))) \quad (3.7 a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((aci(i))) \quad (3.7 b)$$

Koşul 2: $\alpha_{AB} > 100^g$ ve $\alpha_{AB} < 200^g$ için;

i=1:101 ve aci=[0:1:100] olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((aci(i) + 100^g)) \quad (3.8 a)$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((aci(i) + 100^g)) \quad (3.8 b)$$

Koşul 3: $\alpha_{AB} > 200^g$ ve $\alpha_{AB} < 300^g$, $|Ay - By| > |Ax - Bx|$ için;

i=1:101 ve aci1=[100:1:200] olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((aci1(i) + 100^g)) \quad (3.9 \text{ a})$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((aci1(i) + 100^g)) \quad (3.9 \text{ b})$$

Koşul 4: $\alpha_{AB} > 200^g$ ve $\alpha_{AB} < 300^g$, $|Ay - By| < |Ax - Bx|$ için;

i=1:101 ve aci1=[100:1:200] olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((aci1(i))) \quad (3.10 \text{ a})$$

$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((aci1(i))) \quad (3.10 \text{ b})$$

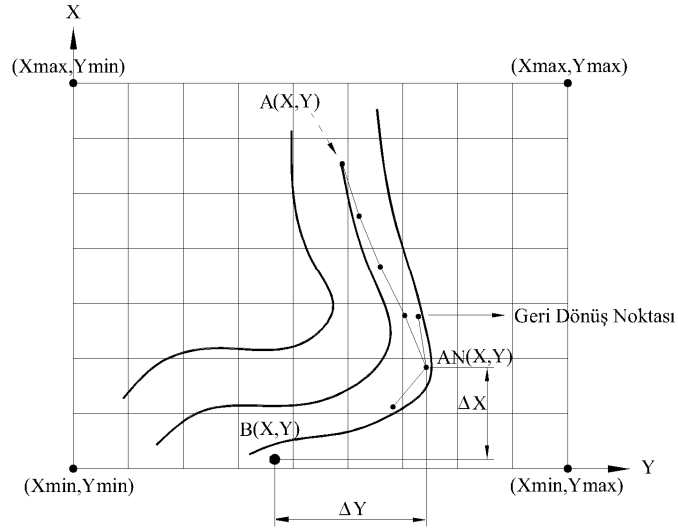
Koşul 5: $\alpha_{AB} > 300^g$ ve $\alpha_{AB} < 400^g$ için;

i=1:101 ve aci=[0:1:100] olmak üzere;

$$AN(x(i)) = Ax + ss \times \cos((aci(i) + 300^g)) \quad (3.11 \text{ a})$$

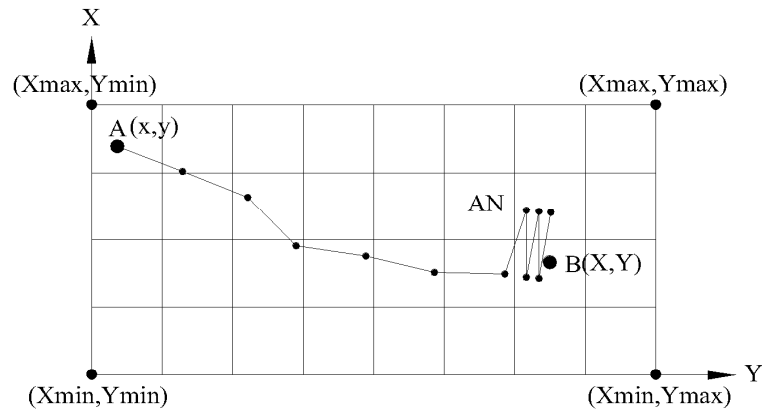
$$AN(y(i)) = Ay + ss \times \sin((aci(i) + 300^g)) \quad (3.11 \text{ b})$$

Yukarıda akış şeması gösterilen ilk başlangıç işleminin ardından yatay koordinatları hesaplanan ara noktaların (AN) yükseklik değerleri, arazi verisinden üretilen SYM üzerinden enterpolasyon yöntemi yardımıyla hesaplanmaktadır. Sadece açıklık açısına göre bir yönelimin yapılması; açının ve aynı zamanda eğrilerin dönüş yaptığı noktalarda özellikle geçkinin ilerleyen adımlarımda bazı güçlüklerle neden olmuştur. Bu nedenle, bu açı değerinin yanında, aranan nokta ile son nokta arasındaki koordinat farkları da kısıt olarak eklenmiştir. Buna göre Δ_x ile Δ_y arasındaki farkın artması ya da azalması durumunda arama açı değeri de değiştirilmektedir. Şekil 3.8' de, arazi üzerinde hattın geri dönüş durumu gösterilmektedir.

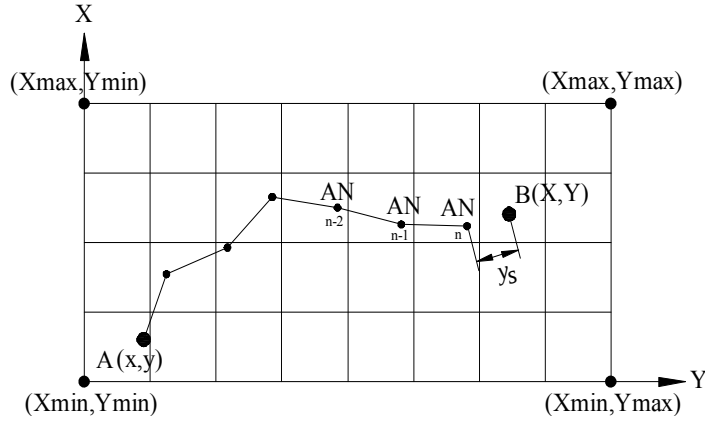


Şekil 3. 8 Arazide dönüşün yaşandığı kesite örnek

Yaklaşımda ulaşılması gereken sonuç değer olarak, B noktasının yatay koordinatları tanımlanmıştır. Bu durumda, her bulunan ara noktanın yatay koordinatları, sonuç olarak tanımlanan B noktasına ait koordinatlarla karşılaştırılmaktadır. Tanımlanan arama uzunluğu değişmediği ve her arama yüzeyinde sabit alındığı için, yöntemin sonlandırılmasında gerekli olan koşul, B noktasının bir yaklaşım değeri (y_s) ile denetlenmesi ile mümkün olmaktadır. Aksi durumda, B noktasına varış mümkün olmamakta, noktalar Şekil 3.9' de görüldüğü gibi arama çemberi üzerinde sürekli yer değiştirerek yeni noktalar üretilmektedir. Şekil 3.10' da görüldüğü gibi bu durumun önlenmesi için yaklaşım sınır uzunluğu denetimi konularak, B noktası ile geçki ara noktaları arasındaki uzunluklar kontrol edilerek, bu uzunluğun yaklaşım değeri tolerans değeri içinde kaldığı anda arama sonlandırılmaktadır.



Şekil 3. 9 B noktasında yaklaşım mesafesi denetiminin olmama durumu

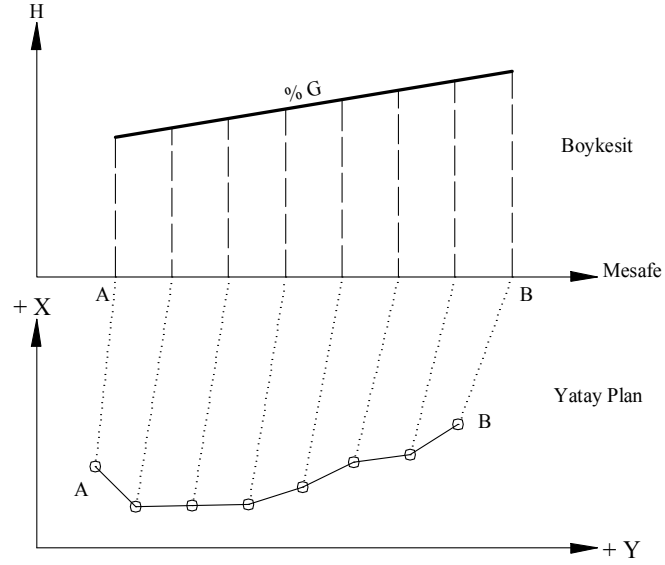


Şekil 3. 10 B noktasında yaklaşım mesafesi denetiminin olma durumu

3.2.2 Enkesitler Boyunca Arama Yaklaşımı

Enkesitler boyunca arama yönteminde, en uygun geçki noktalarının bulunması için sabit eğim koşulu göz önüne alınarak, toprak işi maliyetinin optimize edilmesi amacıyla, yatay plan üzerinde birleştirilen başlangıç ve bitiş noktalarının meydana getirdiği doğru parçasına dik olarak yerleştirilen enkesit doğrultularında aramanın yapılması tasarlanmıştır. Buna göre, 3 boyutlu koordinatları verilen başlangıç ve bitiş noktalarının yükseklik farkı, çalışma bölgesini kapsayan alan içinde tanımlanan yükselme ya da alçalma aralığında, herhangi bir noktada sağlanmaktadır. Yükseklik değerleri bilinen aranan geçki ara noktalarının, çalışma bölgesi içinde yatay koordinatlarının bulunması enkesitler üzerinde aramaya dayanmaktadır.

Şekil 3.11' de önerilen yöntemin, grafiksel gösterimi bulunmaktadır. A: başlangıç noktası; B: bitiş noktası; % G: boyuna eğim değeri olmak üzere, A ve B noktaları arasındaki kesitin boykesit grafiği çizdirilmektedir. Boykesit değerlerinden yatay geçki noktalarının koordinatlarının hesaplanması yapılmaktadır. Önerilen yöntemin çalışma algoritması ise Şekil 3.12' de verilmektedir. Buna göre, başlangıç ve bitiş noktaları, yatay düzlemde bir doğru boyunca birleştirilerek, sabit aralıklı mesafeler ile bu izdüşüm mesafesi enkesitler halinde bölünmektedir. Bu doğrultu üzerinde, yatay koordinatları hesaplanan noktalar, boykesit noktaları olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3. 11 Enkesitler boyunca arama yaklaşımının grafiksel gösterimi

Her enkesit noktası için, başlangıç noktası $A(x_A, y_A)$ ve bitiş noktası $B(x_B, y_B)$ olmak üzere tanımlanan doğrultu üzerindeki yatay koordinatlar aşağıda verilen denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

S_{AB} , A ve B noktaları arasındaki izdüşüm mesafesidir. Bu mesafenin eşit aralıklı bir tamsayı değerine bölünmesi için;

u = İlk tanımlanan aralık değeri,

d = AB mesafesinin bölüneceği aralık sayısı,

a = Hesaplanan AB arasındaki eşit aralıklı mesafe değeri,

α = A ve B noktalarının açıklık açısı,

AN= Ara Nokta, olmak üzere;

$$S_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (3.12)$$

$$d = \frac{S_{AB}}{u} \quad (3.13)$$

$$d = \|d\|$$

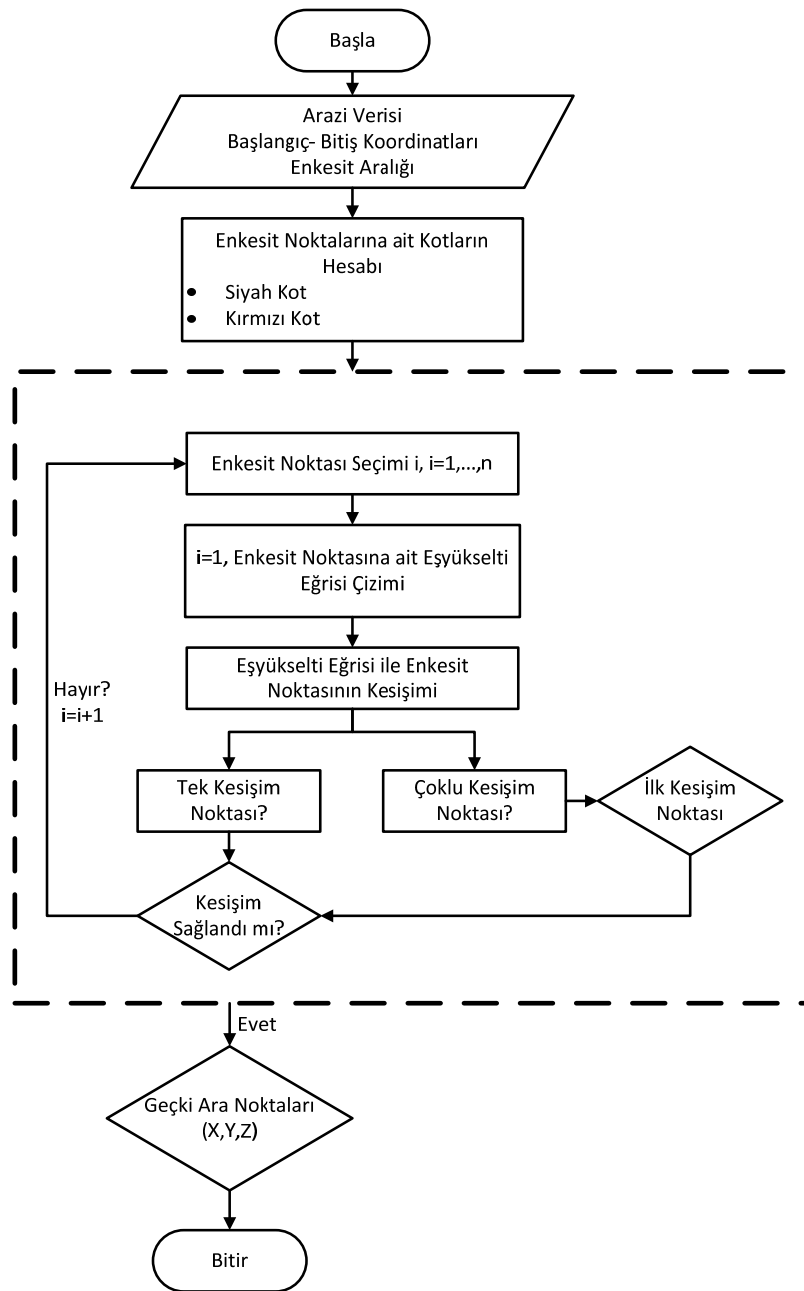
$$a = \frac{S_{AB}}{d} \quad (3.14)$$

$$\alpha_{AB} = \arctan\left(\frac{x_B - x_A}{y_B - y_A}\right) \quad (3.15)$$

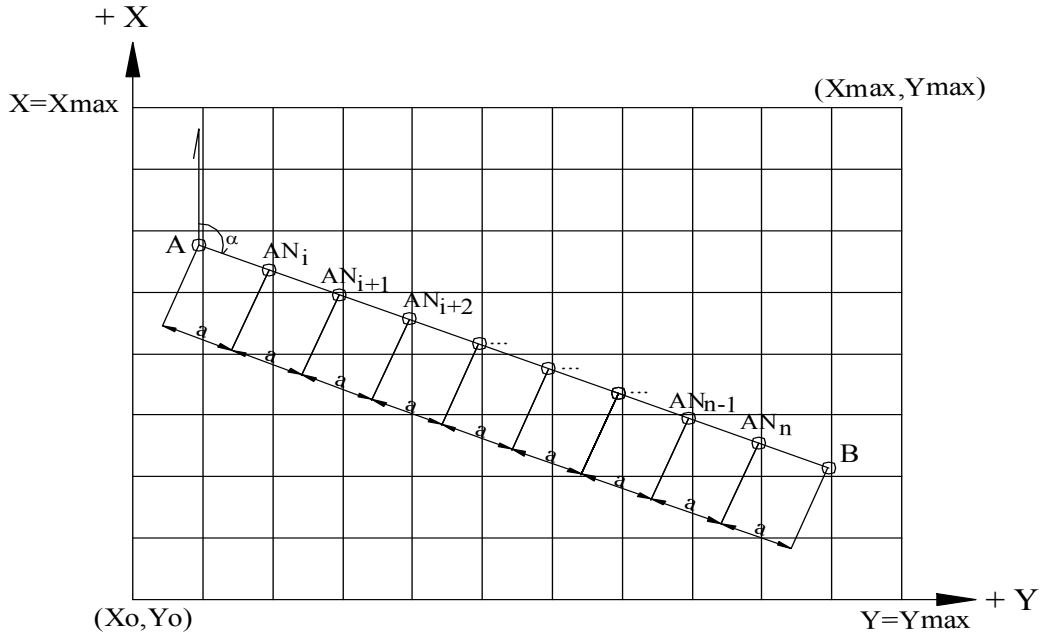
değerleri bulunarak;

$$\begin{bmatrix} x_{AN_i} \\ y_{AN_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A \\ y_A \end{bmatrix} + a \times i \times \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

eşitliğiyle yatay düzlemde düz bir çizgi halinde birleştirilen yatay gečki üzerindeki aranan noktaların koordinatları hesaplanmaktadır (Şekil 3.13).

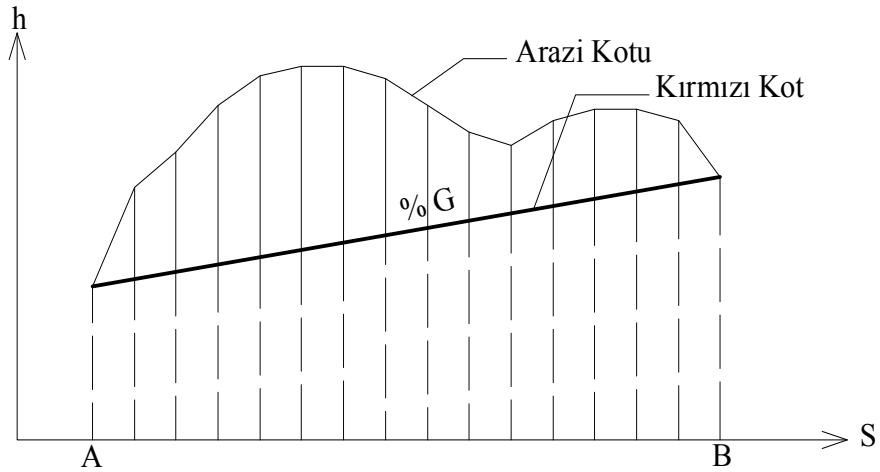


Şekil 3. 12 Enkesitler boyunca arama yaklaşımının işlem akışı



Şekil 3. 13 İlk oluşturulan yatay geçkinin 2 boyutlu görünüşü

Başlangıç ve bitiş noktalarının ilk olarak birleştirilmesiyle elde edilen boykesit noktalarının yükseklikleri, grid veri yapısında, enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan değerler ilk yaklaşımda arazinin siyah kotu olarak kabul edilmiştir. Ancak bu yaklaşımda, düşeyde yapılan değişim aynı zamanda yatay geçki hattında da değişime neden olmaktadır. Arazi üzerinden alınan siyah kot değerleri, başlangıç ve bitiş noktalarının sabit eğimle birleştirilmesi sonucu elde edilen sabit eğim ile yükselme ya da alçalma değerlerine göre değiştirilmektedir. Bu değişim, her noktanın siyah kotu ile kırmızı kotu arasındaki yükseklik farkının (Δh), yatay düzlemde birleştirilen ilk düz çizgi üzerindeki enkesit noktalarının kayma değerini vermektedir.



Şekil 3. 14 Başlangıç boykesiti

Şekil 3.14 üzerinde başlangıç ve bitiş noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen boykesit görülmektedir. Siyah kot ile belirtilen yükseklikler, bu doğrultu üzerinde sabit aralıkla alınan enkesit noktalarının yüksekliklerini göstermektedir. Başlangıç ve bitiş noktalarının sabit eğim ile birleştirilmesi sonucu elde edilen boykesitin; sonuçta oluşması istenen boykesit değerlerini ifade edeceği yaklaşımı ile aynı enkesit noktalarına ait yükseklik değerleri de kırmızı kot değerlerini vermektedir. Bu yükseklik değerlerinin yatay düzlemde hangi noktalara geldiğini bulabilmek için, her boykesit noktasından dik doğrultular çizilerek, enkesitler oluşturulmuştur. Buna göre, boykesit üzerinden çalışma alanını sınırlayan doğrultularda her enkesit için doğrultu üzerindeki sınır koordinatları hesaplanmaktadır.

Oluşabilecek tüm durumlar için, doğrultuların başlangıç ve bitiş koordinatlarının hesabı aşağıdaki hesap sırası ile verilmektedir.

Buna göre;

α = Başlangıç ve bitiş noktası arasındaki açıklık açısı,

A_{sd} = Alt sınır mesafesi,

$\ddot{U}_{sd}$ = Üst sınır mesafesi,

olmak üzere ve;

$\delta = \alpha + 100^g$; $i = 1 : n$, n = Toplam enkesit sayısı olmak üzere;

1. Durum: $\delta = 0^g$ veya $\delta = 200^g$ ise:

$$\ddot{U}S_d = (x_{\max} - x_i) \quad (3.17 \text{ a})$$

$$AS_d = (x_{\min} - x_i) \quad (3.17 \text{ b})$$

2. Durum: $\delta = 100^g$ veya $\delta = 300^g$ ise:

$$\ddot{U}S_d = (y_{\max} - y_i) \quad (3.18 \text{ a})$$

$$AS_d = (y_{\min} - y_i) \quad (3.18 \text{ b})$$

3. Durum: $0^g < \delta < 100^g$ ise:

$$\ddot{U}S_d = \min \left\{ \left(\frac{x_{\max} - x_i}{\cos \delta} \right), \left(\frac{y_{\max} - y_i}{\sin \delta} \right) \right\} \quad (3.19 \text{ a})$$

$$AS_d = \max \left\{ \left(\frac{x_{\min} - x_i}{\cos \delta} \right), \left(\frac{y_{\min} - y_i}{\sin \delta} \right) \right\} \quad (3.19 \text{ b})$$

4. Durum: $100^g < \delta < 200^g$ ise:

$$\ddot{US}_d = \min \left\{ \left(\frac{x_{\max} - x_i}{\cos(200 - \delta)} \right), \left(\frac{y_i - y_{\min}}{\sin \delta} \right) \right\} \quad (3.20 \text{ a})$$

$$AS_d = \max \left\{ \left(\frac{x_{\min} - x_i}{\cos(200 - \delta)} \right), \left(\frac{y_i - y_{\max}}{\sin \delta} \right) \right\} \quad (3.20 \text{ b})$$

5. Durum: $200^g < \delta < 300^g$ ise:

$$\ddot{US}_d = \min \left\{ \left(\frac{x_{\max} - x_i}{\cos(\delta - 200)} \right), \left(\frac{y_{\max} - y_i}{\sin(\delta - 200)} \right) \right\} \quad (3.21 \text{ a})$$

$$AS_d = \max \left\{ \left(\frac{x_{\min} - x_i}{\cos(\delta - 200)} \right), \left(\frac{y_{\min} - y_i}{\sin(\delta - 200)} \right) \right\} \quad (3.21 \text{ b})$$

6. Durum: $300^g < \delta < 400^g$ ise:

$$\ddot{US}_d = \min \left\{ \left(\frac{x_{\max} - x_i}{\cos \delta} \right), \left(\frac{y_i - y_{\min}}{\sin(400 - \delta)} \right) \right\} \quad (3.22 \text{ a})$$

$$AS_d = \max \left\{ \left(\frac{x_{\min} - x_i}{\cos \delta} \right), \left(\frac{y_{\max} - y_i}{\sin \delta} \right) \right\} \quad (3.22 \text{ b})$$

formülleri ile her bir nokta için, boykesit noktasından itibaren çalışma sınırlarına dik inen yada dik çıkan noktaların mesafeleri bulunmaktadır. Boykesit noktasından itibaren çalışma alanının sınırlarına uzanan mesafeler yardımı ile aynı enkesit noktaları için başlangıç ve bitiş noktalarının koordinat hesabı temel jeodezik hesaplardan bulunmaktadır. Sonuçta, bütün enkesit noktaları için iki noktadan geçen ve boykesite dik olan doğrultular hesaplanmaktadır.

Uzunluğu hesaplanan her enkesit noktasına ait doğrultuların başlangıç ve bitiş koordinatları ise;

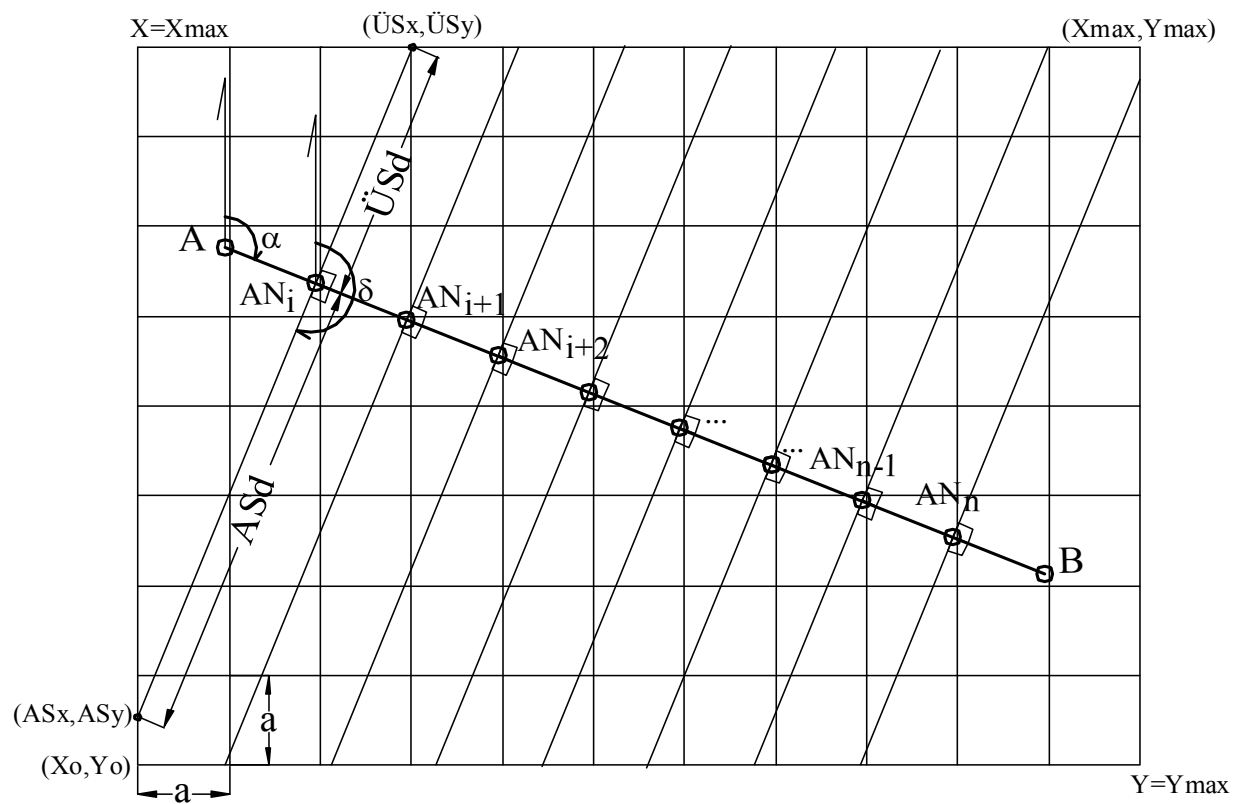
$$\eta = \begin{bmatrix} \cos \delta \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{U}S_x \\ \ddot{U}S_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AN_x \\ AN_y \end{bmatrix} + \eta \times \begin{bmatrix} \ddot{U}S_d \\ \ddot{U}S_d \end{bmatrix} \quad (3.24 \text{ a})$$

$$\begin{bmatrix} AS_x \\ AS_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AN_x \\ AN_y \end{bmatrix} + \eta \times \begin{bmatrix} AS_d \\ AS_d \end{bmatrix} \quad (3.24 \text{ b})$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. İlk AN noktasının hesabında $\begin{bmatrix} AN_x \\ AN_y \end{bmatrix}$ yerine $\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \end{bmatrix}$

koordinatları kullanılmıştır. Şekil 3.15’ de, alt sınır ve üst sınır koordinat hesabının grafiksel gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 3. 15 Enkesitlerde sınır koordinatlarının bulunması

Olması istenen yükseklik değerin bir doğrultu boyunca eşyükseklik eğrisi ile kesiştiği noktanın yeri, yatayda geçkinin koordinatlarını temsil etmektedir. Çakıştırma işleminin yapılabilmesi için, her enkesit doğrultusunun boykesitte hesaplanan kırmızı kot değerine ait eş yükseklik eğrisinin çizilmesi gerekmektedir. Eş yükseklik eğrisi, birbiri ardınca devam eden aynı kotlu noktalardan oluşmaktadır.

Boykesite ait kırmızı kot değerlerinin hesabı ise;

$\forall i = 1:n, \quad n = AN \text{ sayısı,}$

$\%G$ = Boyuna eğim değeri,

$\bar{U}$ = Noktalar arası mesafeler vektörü,

KK = Kırmızı Kot vektörü,

olmak üzere;

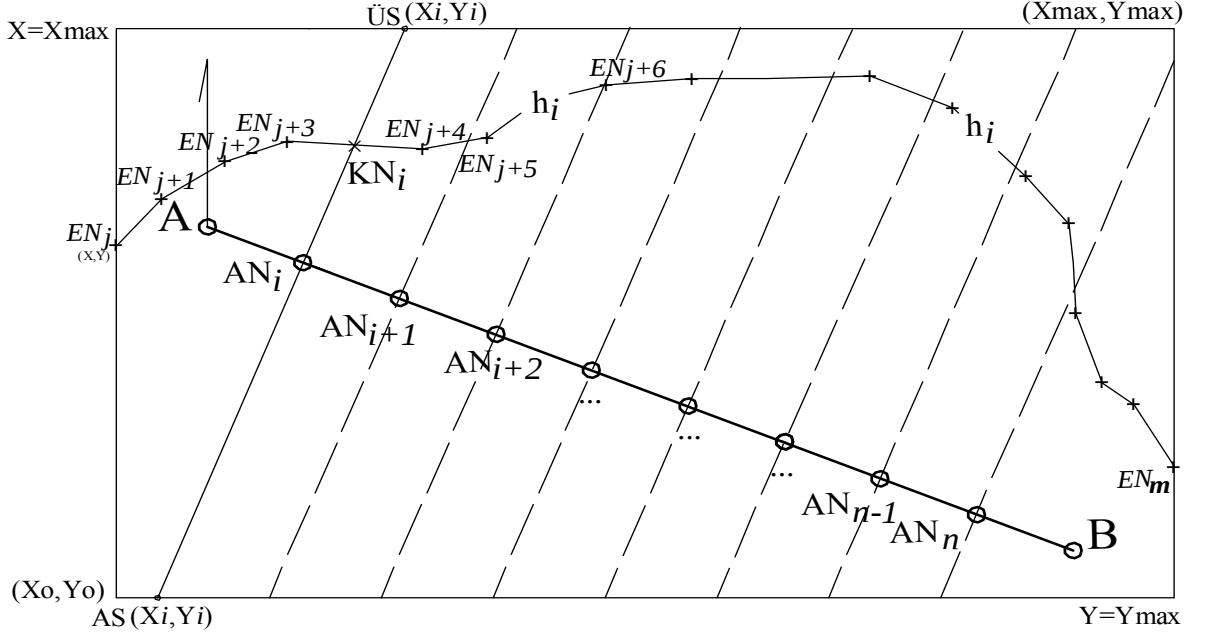
$$\%G = (Bz - Az) / S_{AB} \quad (3.25)$$

$$\bar{U}(i) = [i \times a]$$

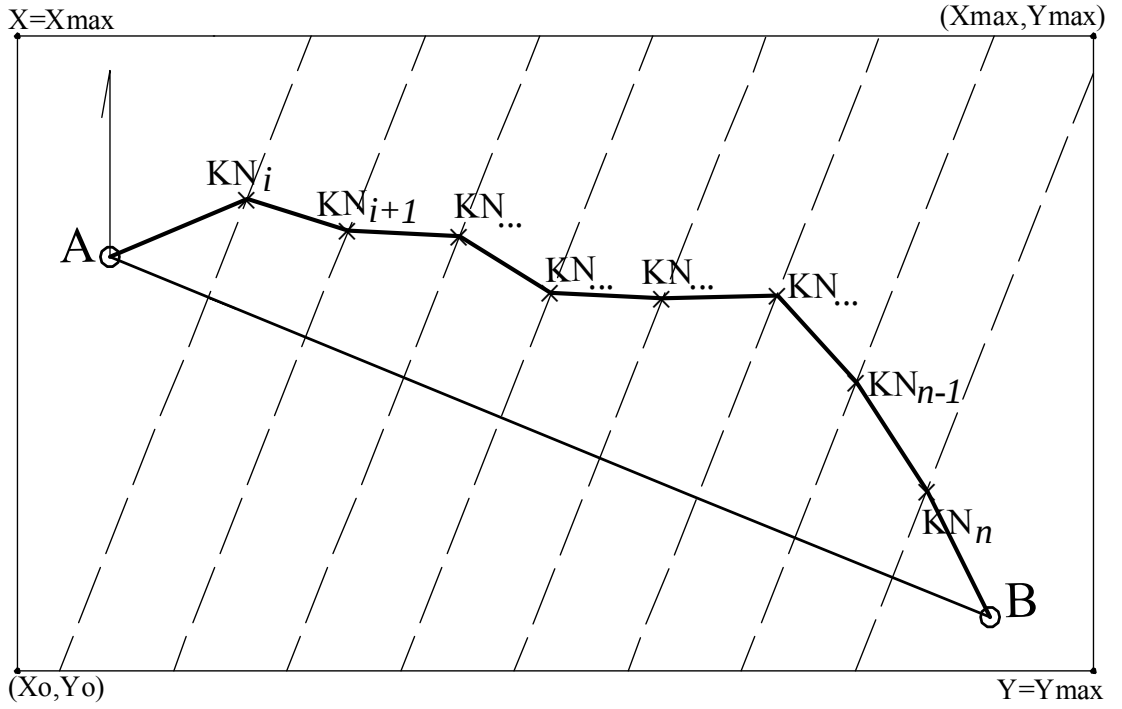
$$KK(i) = [A_z + \%S \times \bar{U}(i)] \quad (3.26)$$

ile hesaplanmaktadır.

Hesaplanan kırmızı kot değerlerine göre ardışık olarak çizdirilen her bir eşyükseklik eğrisini oluşturan noktalar, vektör matris olarak kaydedilmiştir. Bu noktadan itibaren problem iki doğrultunun kesişim noktasının hesabına dönüşmektedir (Şekil 3.16). Burada karşılaşılan sorun, eğimler yardımı ile hesaplanan iki doğrultunun kesişim yerinin, doğrultuların uzantıları boyunca da devam ettirilerek bulunmasıdır. Bunu engellemek için, yerel kontrol şartı konulmuştur. Buna göre eğer çakışan noktanın yatay koordinatları, eğri üzerinde hesabı yapılan iki noktanın sınırladığı alanın dışında ise; kesişim noktası arama işlemi, bir sonraki eş yükseklik eğrisi vektör matrisinde depolanan nokta çifti için devam ettirilmektedir. Eğer, bulunan kesişim noktası bu iki noktanın sınırladığı alanın içinde kalıyorsa, işlem durdurulmaktadır.



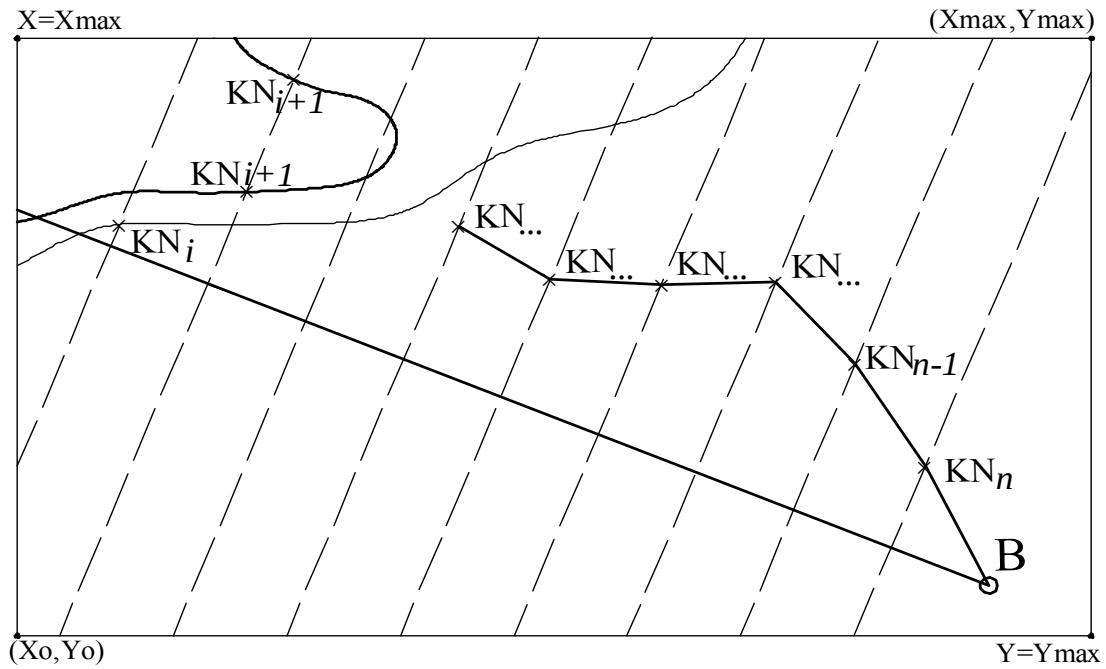
Şekil 3. 16 Eşyükseklik eğrisi ile çıkıştırma (KN: Kesişim Noktası, EN: Eşyükseklik Eğrisi Noktası)



Şekil 3. 17 Geçkinin yatayda gösterimi (KN: Kesişim Noktası)

Bir diğer yapılması gereken kontrol, aynı enkesit üzerinde eğri noktalarının birden fazla noktada kesişmesidir. Eğrinin geçki hattından uzaklaşarak döndüğü noktalarda oluşan bu durumun giderilmesi için, yerel bir kontrol şartı eklenmiştir. Çünkü kesişim birden çok noktada gerçekleşirse, geçki hattı bu noktalar boyunca birleştirilerek yatayda

çapraz hareket etmek zorunda kalacaktır. Bu yüzden, eğri noktaları ile enkesit doğrultusu tek bir noktada kesişiyorsa işleme devam edilmekte (Şekil 3.16), birden çok noktada kesişme sağlanıyorsa boykesit hattına en yakın nokta, geçki noktası seçilerek geçki ara noktası olarak kaydedilmektedir. Şekil 3.18' de $(i+1)$. eşyükseklik eğrisinin, bu enkesit doğrultusunda iki farklı nokta ile kesişim yaptığı görülmektedir. Bu gibi durumlarda, yukarıda bahsedildiği gibi ilk oluşturulan geçki hattına en yakın mesafeli olan nokta, yatay geçki için Kesişim Noktası (KN) olarak kabul edilmektedir.

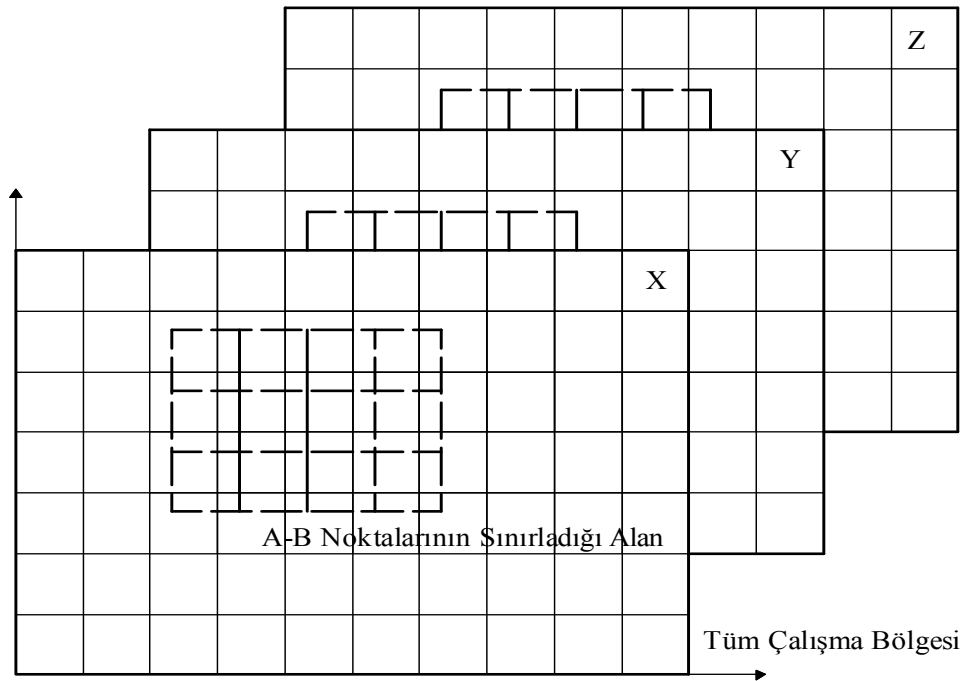


Şekil 3. 18 Aynı yükseklik değerine sahip iki nokta için kesişim noktası seçimi

3.2.3 Basamak Yöntemi Yaklaşımı

Bu yöntemeye dayalı geçki araştırma yaklaşımında, birbirini takip eden eşyükseklik eğrileri arasında doğrusal olarak kurulan ilişkiye dayalı olarak, çalışma bölgesinin sınırladığı alan içerisinde yatay geçki noktalarının hesaplanması amaçlanmıştır. Yaklaşımında hesaplama süreci, başlangıç noktasının bulunduğu eşyükseklik eğrisine ait kot değeri ile bitiş noktasının bulunduğu eşyükseklik eğrisine ait kot değeri arasında sabit eğim koşulu dikkate alınarak, eğriler üzerinde bu koşula uygun ara noktaların bulunmasına dayanmaktadır. Hesaplama adımlarına başlanılmadan önce, çalışma bölgesi ve verilen iki noktanın sınırladığı alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bunun nedeni, kurgulanan hesaplama modelinde, oluşturulacak yükseklik bilgilerini içeren

verilerin depolanması sürecinde, tekrar eden veya dönen eğrilerin bulunmaması gerekliliğidir. Aksi halde, yaklaşım tekrar eden bir döngüye girmekte ve düşey geçki için doğru değeri yakalamasına rağmen, yatay geçki üzerinde yanlış sonuçlar üretmektedir. Bu durum, A ve B noktalarının sınırladığı alanın tüm çalışma bölgesi olarak tanımlanan alandan daha küçük bir alan olarak seçilmesi ile giderilmektedir. Bu aralık değeri, arazi verisinin gridlenme aralığına göre değişim göstermektedir. Şekil 3.19 üzerinde, uygulama için gerekli olan çalışma bölgesinin seçimi gösterilmektedir.



Şekil 3. 19 Çalışma bölgesinin seçimi

Şekil 3.21' de algoritması gösterilen önerilen yaklaşımın çalışmaya başlaması için iki tip veri grubuna ihtiyaç bulunmaktadır. Bunlardan ilki, sayısal yükseklik modeli olarak üretilmiş ve grid veri yapısında depolanmış araziye ait üç boyutlu arazi verisidir. İkinci veri grubu ise başlangıç ve bitiş noktalarını temsil eden sırasıyla, A ve B olarak gösterilen noktaların üç boyutlu koordinatlarıdır.

Verilen $A(x_A, y_A, z_A)$ ve $B(x_B, y_B, z_B)$ noktalarına göre eğim hesabının ve düşey geçki hattına ait kırmızı kot değerlerinin hesaplanması için

$\forall i = 1 : n, n =$ Oluşturulacak eğri sayısı,

%G = Boyuna eğim değeri,

S_{AB} = A ve B noktaları arasındaki izdüşüm mesafesi,

$\bar{U}$ = Noktalar arası mesafeler vektörü,

ss= Arama aralığı,

$\mathbf{KK}$ = Kırmızı Kot vektörü,

olmak üzere;

$$S_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (3.27)$$

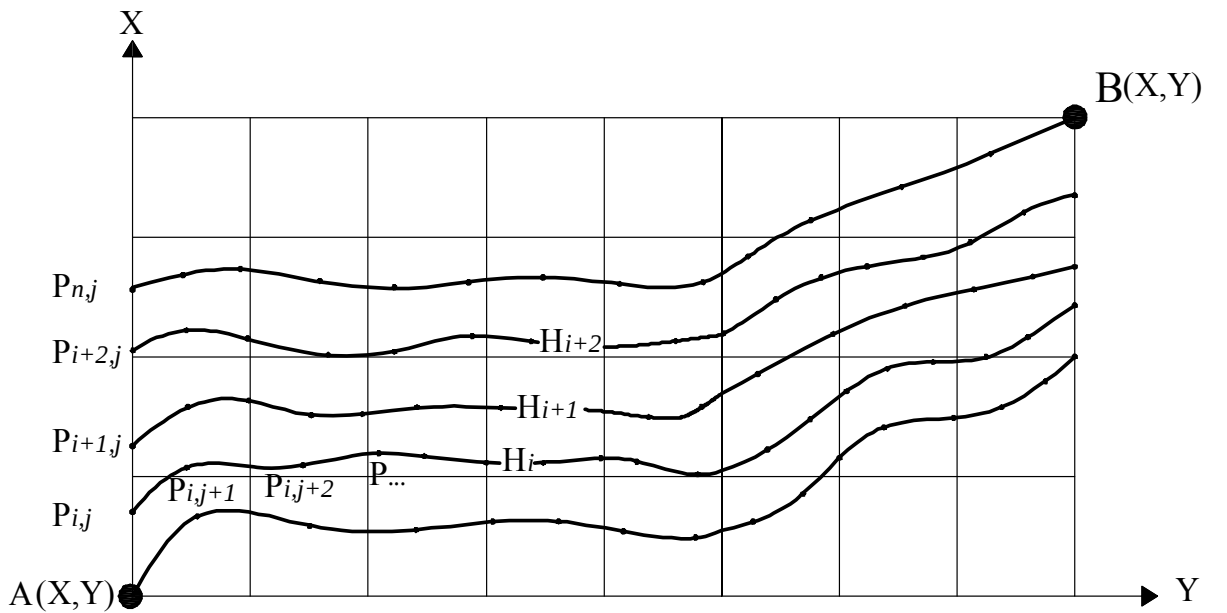
$$\%G = (z_B - z_A) / S_{AB} \quad (3.28)$$

$$\bar{U} = [0 : ss : S_{AB}]$$

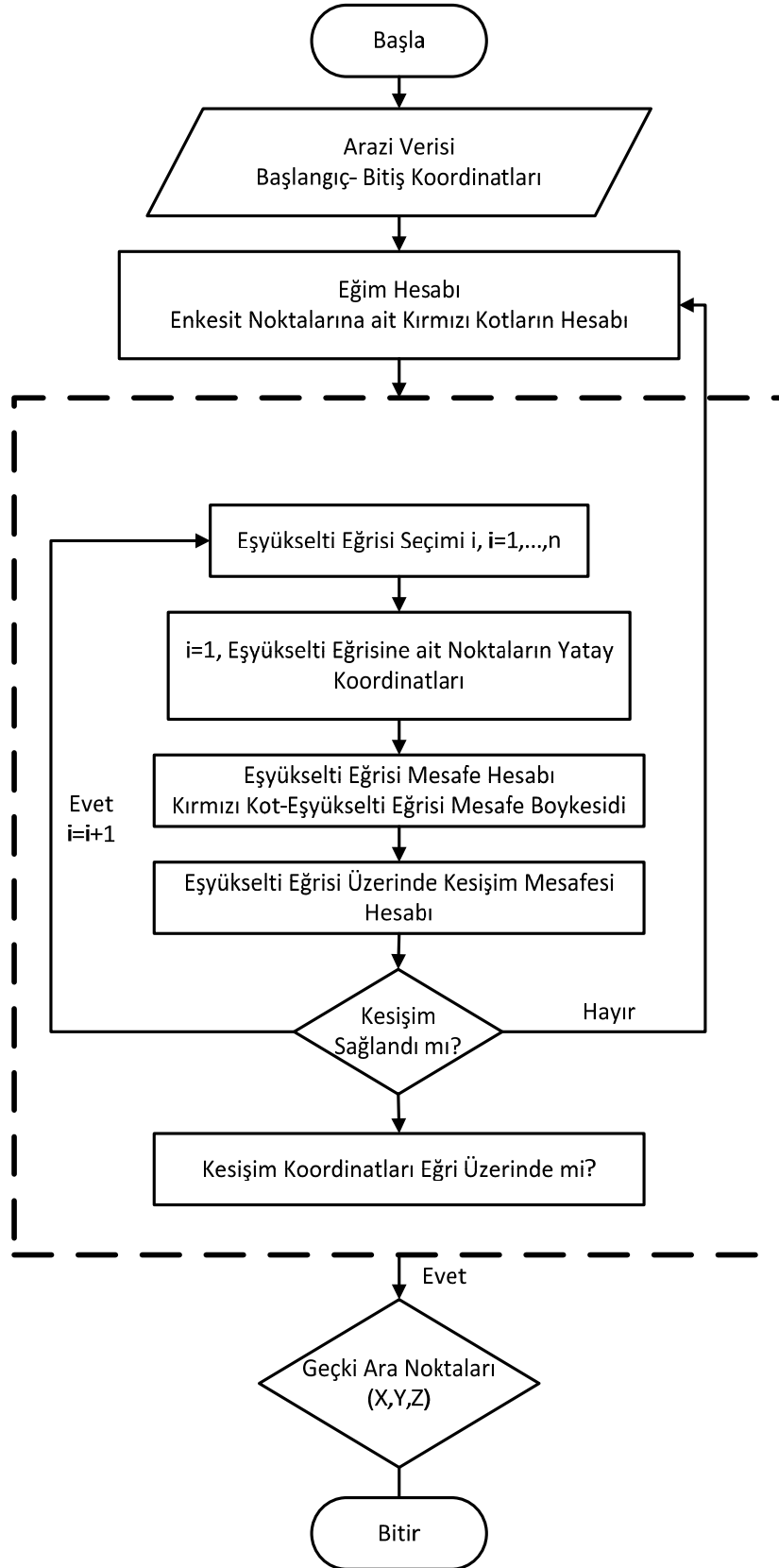
$$KK(i) = [A_z + \%G \times U(i)] \quad (3.29)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

Çalışma bölgesinin tanımlanmasının ardından, seçilen ilk eşyükseklik eğrisi ile son eşyükseklik eğrisi arasında kalan tüm arazi noktaları, hesaplanan yükseklik artış miktarlarına bağlı olarak eşyükseklik eğrili harita olarak üretilmektedir. Bu sayede, nokta yükseklikleri arasındaki ilişki başlangıç ve bitiş ana kontrol noktalarının yatay koordinatlarına bağlı olarak kurulmaktadır. Şekil 3.20’ de tanımlanan çalışma bölgesinin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.



Şekil 3. 20 Seçilen çalışma aralığının grafiksel gösterimi



Şekil 3. 21 Basamak yöntemi yaklaşımının işlem akışı

Yatay koordinatlar ve yükseklik değerleri ile sınırlı kalan alan içerisindeki tüm eşyükseklik eğrilerinin, eğriyi oluşturan noktalarının yatay koordinat değerleri ve hangi yükseklik eğrisine ait olduklarına dair bilgiler yardımıyla, eğri uzunlukları ayrı ayrı hesaplanmakta ve ait oldukları yükseklik değerine göre iki boyutlu grafiksel gösterimleri yapılmaktadır. Grafik üzerine yerleştirilen veriler ile iki boyutlu yerel koordinatlandırmanın yapılması gerekmektedir. Bu amaçla grafik üzerinde başlangıç noktası ilk ana kontrol noktası ve bitiş noktası son ana kontrol noktası olmak üzere doğrusal bir eğri geçirilerek, her bir yükseklik eğrisini kestiği noktadaki eğri kilometraj değerleri bulunmaktadır. Hesaplanan bu kilometraj değerleri, eşyükseklik eğrisi üzerinde bu aralık değerinde kalan eğrilerin başlangıç noktasından itibaren, eğri üzerinde izledikleri yolun kilometraj değerleridir. Burada amaçlanan, A ve B noktalarına bağlı olarak uygun eğim değerinin mesafe ve yükseklik değerine göre belirlenmesi ve her eşyükseklik eğrisini kesen bu eğim değerinin yatayda konumunun bulunmasıdır. Yaklaşımda ilk düşünce, düşeyin uygun sabit eğimle geçilmesi ve boyuna eğim değeri kestirilen mesafeler boyunca aranan ara noktaların yatay hat üzerinde kesiştiği noktaların yatay koordinatlarının (x, y) bulunmasıdır.

Aşağıda, grafik gösterimi yapılacak olan kesişim grafiğinin hesap akışı verilmektedir. Bunun için, her eğriyi oluşturan nokta sayısı ve bu eğrilere ait olan yükseklik değerleri ile birlikte eğri noktalarının yatay koordinatları ayrı bir matris içinde depolanmaktadır.

n = A ve B noktaları arasında oluşturulan eşyükseklik eğrisi sayısı,

i = Her eğri için eğriyi oluşturan nokta sayısı,

m = her eğri için değişken nokta sayısı,

olmak üzere;

$$S(n) = \sum_{i=1}^m ((x_{(i+1)} - x_{(i)})^2 + (y_{(i+1)} - y_{(i)})^2)^{0.5} \quad (3.30)$$

eşitliği ile eğri uzunlukları hesaplanmaktadır.

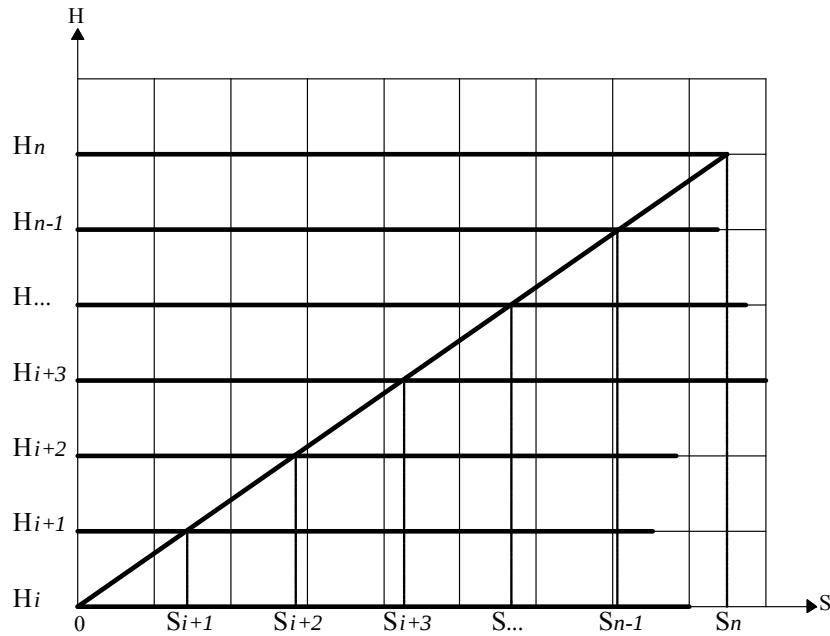
PB_a = Profil başlangıç koordinatları

PB_i = Profil bitiş koordinatları

$$PB_a = \begin{bmatrix} 0 \\ S_{i+1} \\ S_{i+2} \\ \dots \\ S_n \end{bmatrix} \quad (3.31 a)$$

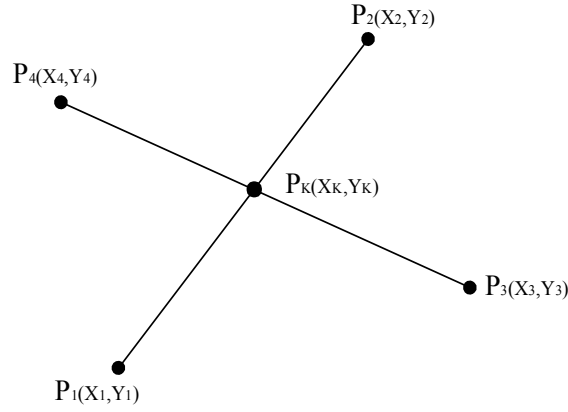
$$PB_i = \begin{bmatrix} h_i \\ h_{i+1} \\ h_{i+2} \\ \dots \\ h_n \end{bmatrix} \quad (3.31 b)$$

olmak üzere; Şekil 3.22' de eğri mesafeleri ve yükseklik değerlerini içeren boykesit grafiği çizilmiştir. Şekil 3.22' de verilen ilk ve son (h_i ve h_n) yükseklik değerleri A ve B noktalarına ait olan eğri yükseklik değerleridir. Buna göre, A noktası sabit bir başlangıç noktası olarak alınmakta, son nokta olan B' ye yaklaşım ise, iteratif olarak eğim değerinin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır.



Şekil 3. 22 Yükseklikler ve eğri uzunluklarına göre oluşturulan boykesit

Şekil 3.22' de verilen kesişim probleminin çözümü için, Şekil 3.23' de gösterilen iki doğrunun kesişimi probleminden yararlanılmıştır.



Şekil 3. 23 İki doğrunun kesişimi

Buna göre,

P_1 ve P_2 = İlk doğrunun başlangıç ve bitiş koordinatları,

P_3 ve P_4 = İkinci doğrunun başlangıç ve bitiş koordinatları,

olmak üzere;

P_K kesişim noktasının hesabında:

$$d = (x_3 - x_4)(y_1 - y_2) - (x_1 - x_2)(y_3 - y_4) \quad (3.32)$$

eşitliği ile elde edilen çözüm; $d = 0$ ise iki doğru paraleldir, $d \neq 0$ ise iki doğru kesişir, durumları için kesişme koşulu tanımlanmaktadır. Kesişim için öngörülen noktaların oluşturduğu doğrusal denklemlerin eğimleri;

$$u_1 = \frac{(x_1 - x_2)(y_4 - y_1) - (x_4 - x_1)(y_1 - y_2)}{d} \quad (3.33 \text{ a})$$

$$u_2 = \frac{(x_4 - x_1)(y_3 - y_4) - (x_3 - x_4)(y_4 - y_1)}{d} \quad (3.33 \text{ b})$$

ile hesaplanmaktadır.

Buna göre;

$0 \leq u_1 \leq 1$ ve $0 \leq u_2 \leq 1$ için kesişim noktası doğru parçasının üstündedir.

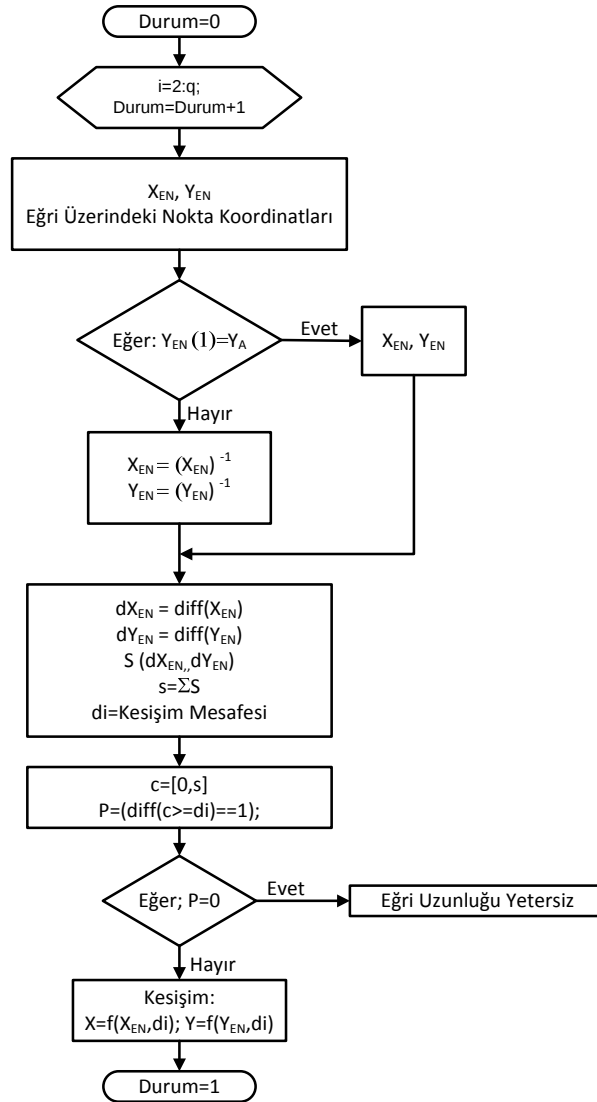
Bu durumda P_K kesişim noktası koordinatları;

$$x_K = x_4 + u_1 \times (x_3 - x_4) \quad (3.34 \text{ a})$$

$$y_K = y_4 + u_1 \times (y_3 - y_4) \quad (3.34 \text{ b})$$

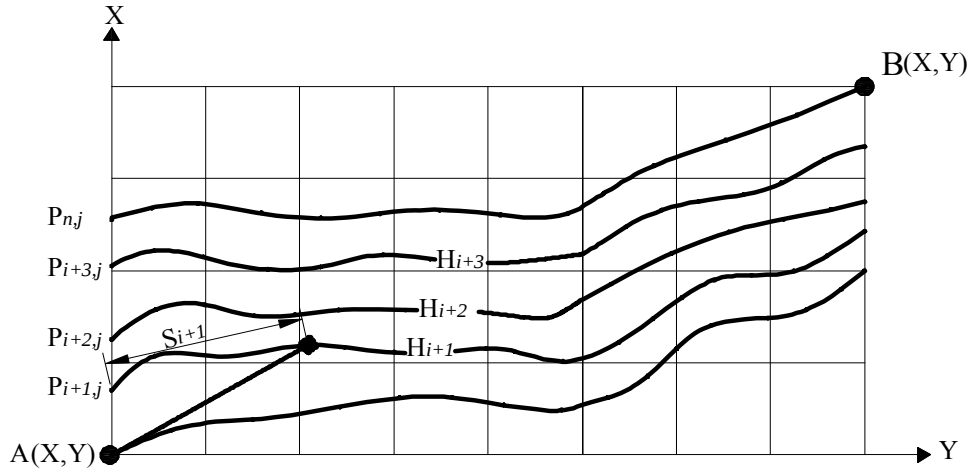
formülleri ile hesaplanmaktadır.

Kümülatif mesafe toplamı ve yükseklik değeri belirlenen ara noktalarının; ait oldukları eğri üzerinde yatay koordinatlarının hesabı ise akış şeması Şekil 3.24' de verildiği gibi bulunmaktadır.



Şekil 3. 24 Eğri üzerinde kesişim noktalarının hesaplanması için işlem akışı

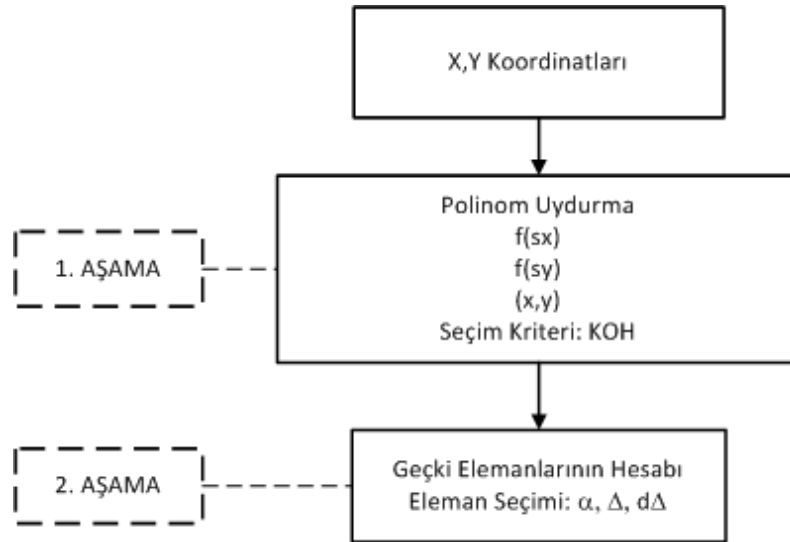
İşlem akışı verilen modelin çalıştırılması ile her eğriye ait mesafe değerleri ve eğrilerin yükseklik değerleri ayrı bir veri olarak depolanmaktadır. Bu sayede, başlangıç ve bitiş noktaları arasında kalan alanda her bir eğrinin bir sonraki eğriye geçiş yapabilmesi için gerekli olan değerler eğri mesafeleri olarak hesaplanmaktadır. Elde edilen geçki hattının grafiksel gösterimi Şekil 3.25' de verildiği gibidir.



Şekil 3. 25 Yaklaşımın eğriler üzerinde gösterimi

3.3 Geçki Noktalarının Polinom Fonksiyon ve Geçki Elemanları ile Gösterimi

Bu bölümde, dengeli bir toprakışı miktarının oluşması için düşey hattın korunması kriteri ile oluşturulan yatay geçki hatlarının proje değerleri ile temsil edilmesi için bir dizi işlem adımı önerilmektedir. Yaklaşımların uygulanması ile elde edilen yatay geçki çok sayıda ardışık kırıklı çizgilerden oluşmaktadır. Buna göre önerilen işlemler, (1) Elde edilen kırıklı çizgilerin polinom fonksiyon ile temsil edilmesi (2) 1. aşamada elde edilen polinom fonksiyonun geçki elemanlarının hesabında kullanılması, şeklinde olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Şekil 3.26' da giriş verisi olarak görülen X, Y koordinatları, her bir yöntem ile elde edilen yatay hat noktalarını göstermektedir.



Şekil 3. 26 Geçki elemanları hesabı işlem akışı

İşlem akışı verilen bu yöntem için ilk aşamada, yatay koordinatlar ile temsil edilen geçki hattının polinom fonksiyonu uygulaması yapılmıştır. Bunun için, her bir yatay koordinat değeri ile bunlara karşılık gelen kümülatif uzunluklar arasında polinom fonksiyonu uygulanmıştır.

Polinom fonksiyonuna ait genel eşitlikler:

$$f(s, x) = a_0 + a_1s + a_2s^2 + + a_{n-1}s^{n-1} + a_ns^n \quad (3.35 a)$$

$$f(s, y) = b_0 + b_1y + b_2y^2 + + b_{n-1}y^{n-1} + b_ny^n \quad (3.35 b)$$

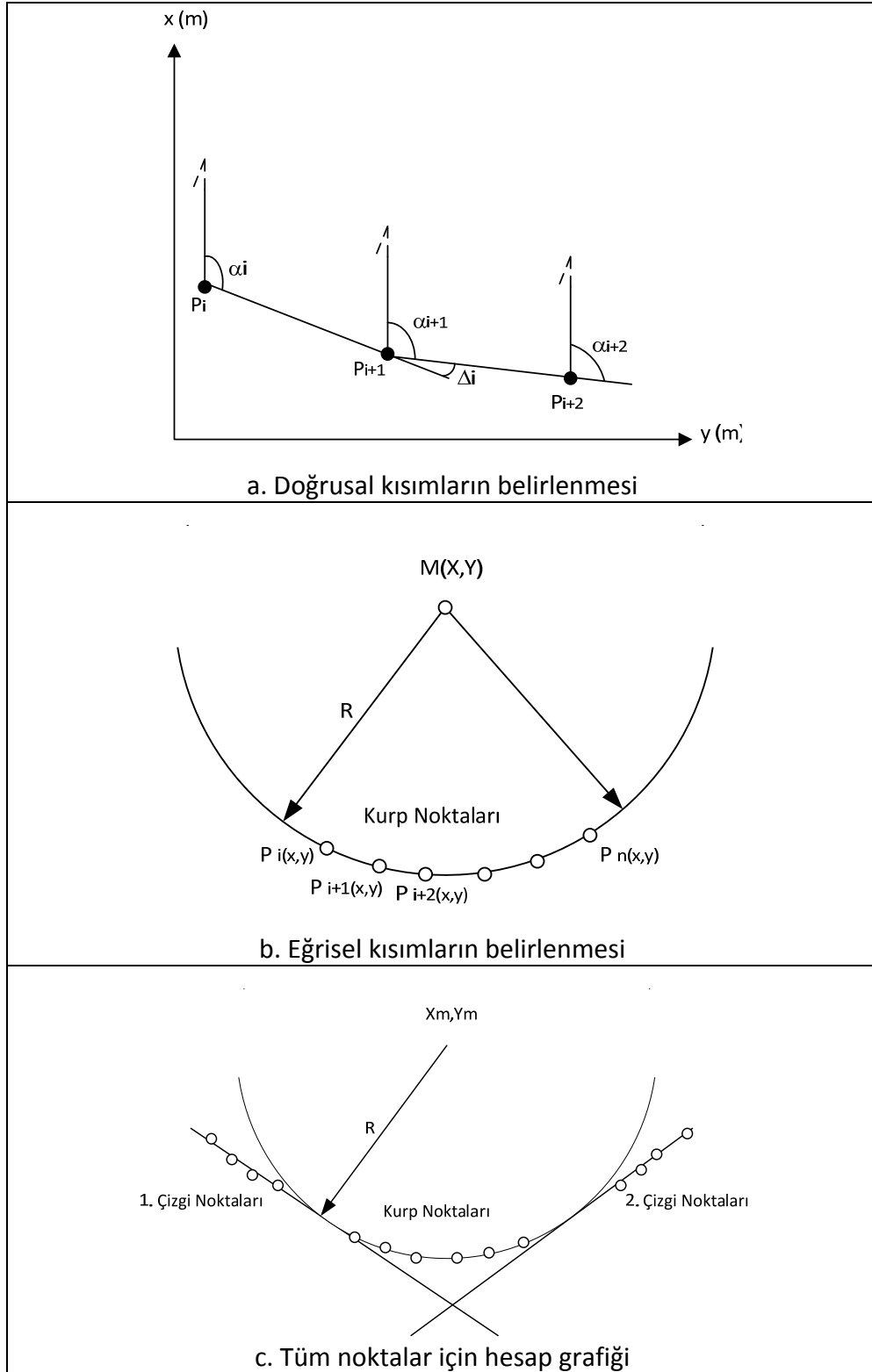
şeklindedir. Yukarıdaki eşitliklerde görülen fonksiyonlara ait katsayıların elde edilmesi için En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi ile çözüm yapılmıştır. Eşitlik 3.36' da olduğu gibi polinom regresyon modeli,

$$o = A\beta + e \quad (3.36)$$

ifadesi ile verilmektedir. Burada; $o=n \times 1$ gözlem vektörü; $A=n \times u$ katsayılar matrisi; β =bilinmeyen parametreler matrisi; e = normal dağılımlı rastgele hatalar vektörü; n = gözlem sayısı; ve u = bilinmeyen parametreler sayısıdır. En Küçük Kareler yönteminde $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T o$ genel denklemi kullanılmaktadır. Burada, artık hatalar vektörü $v = o - X\hat{\beta}$ ile elde edilmektedir.

Birinci aşamada elde edilen (x,y) değerlerine ait proje verilerinin elde edilmesi için, geçki elemanlarının hesabı işlem akışı uygulanmıştır. Bu hesap akışı iki aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada, geçkinin düz kısımlarının tanımlanması, ikinci aşamada ise geçkinin eğrisel kısımlarının tanımlanması işlemi yapılmaktadır. Bu şekilde, kurplara ait yarıçap kestirimi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin yapılabilmesi için verilerin tanımlandığı gibi iki farklı veri grubuna ayrılması gerekmektedir. Bu amaçla, ardışık devam eden geçki noktalarının sapma açıları (Eşitlik 3.37), açıklık açılarından (Eşitlik 3.38) hesaplanmış, yine ardışık olarak farkları (Eşitlik 3.39) alınmıştır. Buna göre, farkların sıfır veya sıfıra yakın olarak devam eden kısımları, geçkinin düz devam eden bölümü yani alıyman kısmı olarak ayrılmakta, bu noktaların dışında kalan kısımlar ise eğrisel bölümlerin hesaplanması için kullanılmaktadır. Aliymanların hesabı için EKK

yöntemi ile lineer regresyon işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.27' de, alıyman ve eğrisel bölümlere ait veri gruplarının tanımlanması aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3. 27 Geçki elemanları kurp yarıçapı kestirimi işlem akışı

Buna göre, $i=1,...,n$; n =geçki hattı üzerindeki nokta sayısı olmak üzere,

$$\alpha_i = \tan^{-1}((y_{i+1} - y_i)/(x_{i+1} - x_i)) \quad (3.37)$$

$$\Delta_i = \alpha_i - \alpha_{i+1} \quad (3.38)$$

$$|\Delta_i - \Delta_{i+1}| \leq \varepsilon \quad (3.39)$$

eşitlikleri ile elde edilen farklardan alıyman bölümüne ait veriler ayrılmaktadır.

İkinci aşama için, dairesel kurp yarıçap kestirim işlemi uygulanmıştır. Dairesel kurp bölümlerinde, lineer olmayan eşitliklerin çözümü için Newton yöntemi kullanılarak iteratif çözüm uygulanmıştır.

Eşitlik 3.40' da verilen çember denklemi ile kurpun merkez koordinatları ve yarıçap hesabı yapılmaktadır.

$$R^2 = (x_i - x_m)^2 + (y_i - y_m)^2 \quad (3.40)$$

Burada, (x_m, y_m) çemberin merkez koordinatları, ve R çembere ait yarıçap değeridir.

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & 1 \\ x_{i+1} & y_{i+1} & 1 \\ x_{i+2} & y_{i+2} & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -x_i^2 - y_i^2 \\ -x_{i+1}^2 - y_{i+1}^2 \\ -x_{i+2}^2 - y_{i+2}^2 \\ \dots \\ -x_n^2 - y_n^2 \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Eşitlik 3.41' daki a , b ve c değerlerinin;

$$a = 2 \times x_m$$

$$b = 2 \times y_m$$

$$c = x_m^2 + y_m^2 - R^2 \quad (3.42)$$

Eşitlik 3.42' da verilen denklemler yardımıyla çözülmesi ile geçki hattına ait eğri kısımlarda dairesel kurp uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Yatay eksen tasarımı için uygulanan bu işlem akışı, düşey eksen tasarımı için de aynı şekilde uygulanmıştır. Bunun için ilk olarak yatay tasarımı tamamlanan geçkilerin boykesitleri oluşturulmuştur. Boykesit üzerinde mevcut olan siyah kot ve kümülatif uzunluk değerleri ile polinom fonksiyon uygulaması yapılarak, polinom derecesi

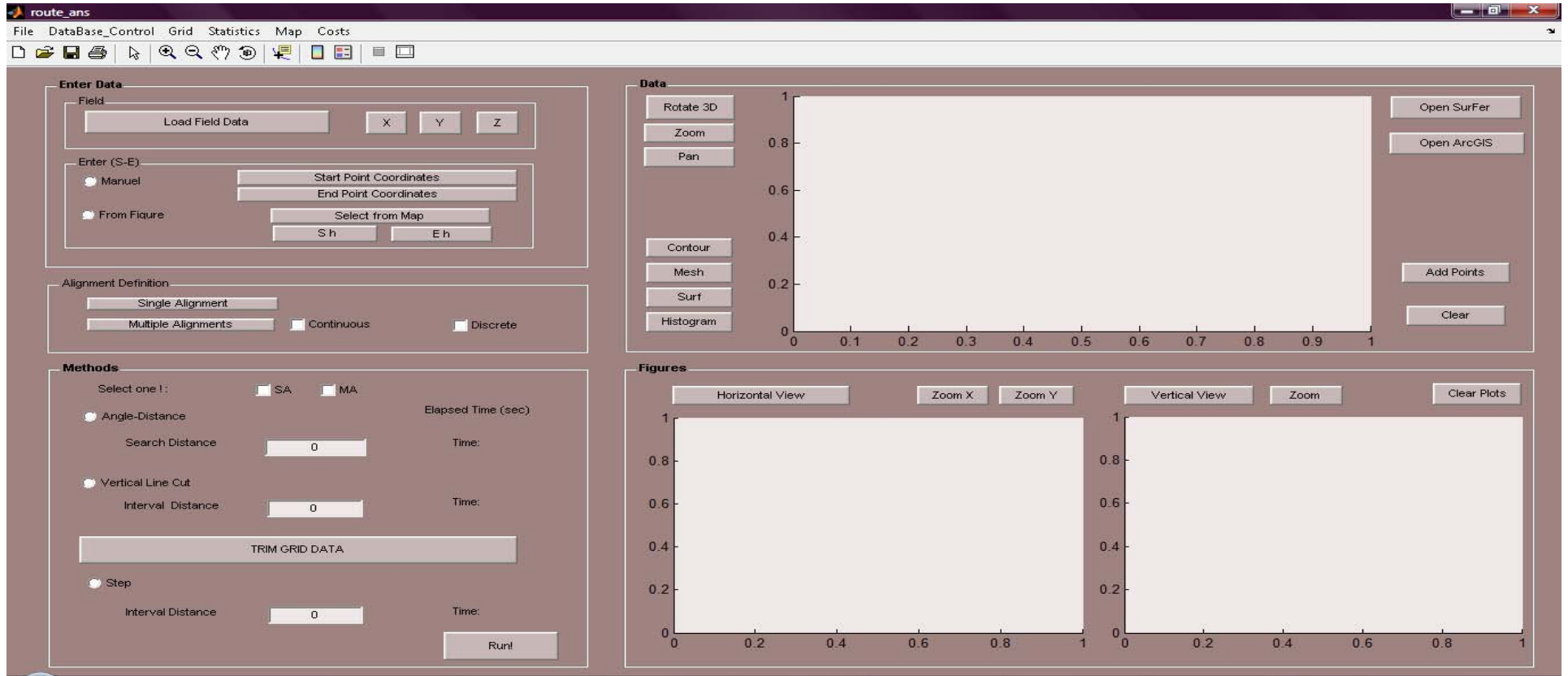
seçiminde KOH' ları minimum yapan değer kullanılmıştır. Elde edilen hat üzerinde, düşey kurp yarıçapı kestirimi işlemi gerçekleştirilmiştir. şekil 3.27' deki grafik gösterimde olduğu gibi rampa kısımlar ve eğrisel kısımlar hesaplanmıştır. Bu noktadan itibaren, Eşitlik 3.40' da verilen çember denklemi, polinom uydurulmuş siyah kot ve kümülatif uzunlukların kullanılması ile düşey kurp yarıçapı kestirimi problemi olarak çözülmüştür.

şekil 3.3' de gösterilen yaklaşık hacim hesabı, yatay eksen tasarımı ile elde edilen yatay plana ait yükseklik değerlerinin siyah kot ve düşey eksen tasarımı sonucunda elde edilen yükseklik değerlerinin ise kırmızı kot olarak alınması ile yapılmıştır.

GEÇKİ ARAŞTIRMA YAZILIMININ TASARLANMASI

4.1 Geçki Araştırma Yazılımı

Tez çalışmasında geliştirilen geçki tasarımı alternatif geçki araştırma yöntemlerinin, ulaştırma planlaması çalışmalarında kullanımına olanak sağlamak için bir değerlendirme yazılımı oluşturulmuştur. Bu amaç doğrultusunda, verilen iki ana kontrol noktasının istenilen kısıtlar altında geçki oluşturmak amacıyla birleştirilmesi için, grafik taban uygulamalı, fonksiyon ve Matlab derleme dosyaları ile grafiksel kullanıcı arayüzüne sahip bir değerlendirme yazılımı Matlab R2006a ortamında tasarlanmıştır. Değerlendirme yazılımı, çalışma kapsamında özgün olarak geliştirilen ve çalışma algoritmaları ile sunulan alternatif yöntemlerin derlenmesi ile hazırlanmıştır. Bu doğrultuda geliştirilen değerlendirme yazılımının çalışması için, sayısal yükseklik modeline ve başlangıç-bitiş noktalarının üç boyutlu koordinatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilen yazılım ile aynı zamanda verilen iki noktayı bir geçki oluşturacak şekilde birleştirme işleminin kullanıcı etkileşimli hale getirilmesi amaçlanmıştır. Program temel olarak 5 ana modülden oluşmaktadır: (1) Veri girişi, (2) Geçki tipi seçimi (3) Görüntüleme (4) Yaklaşımların değerlendirilmesi ve (5) Sonuç görüntüleme. Ana modüllerin yanı sıra, program alt menülerinde: (1) Veritabanı kontrolü (2) Sayısal yükseklik modelleme ve (3) İstatistiksel analiz bölümü bulunmaktadır. Oluşturulan programın kullanıcı arayüzü Şekil 4.1’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 4. 1 Geçki araştırma ve değerlendirme yazılımının grafiksel kullanıcı arayüzü

4.2 Değerlendirme Yazılımının Ana Modülleri

4.2.1 Veri Girişi Modülü

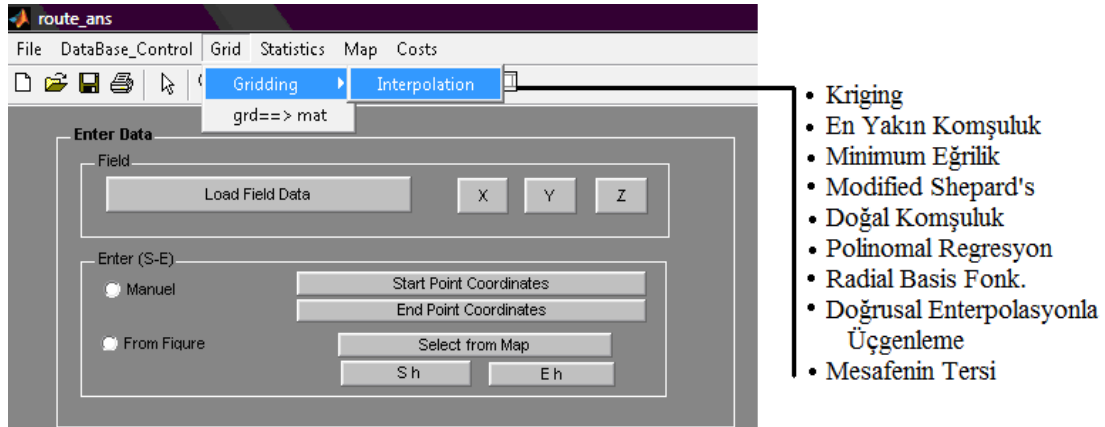
Geliştirilen değerlendirme yazılımına veri girişinin yapılabilmesi için iki farklı veri tipine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar: (1) çalışma bölgesini tanımlayan arazi verisi (2) geçki oluşturmak için birleştirilmesi amaçlanan iki ana kontrol noktasıdır (Şekil 4.2). Yazılımda kullanılan veri yapısı grid veri yapısı olduğundan dolayı, girdi olarak kullanılacak ve çıktı olarak sunulacak verilerin entegrasyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu yüzden, çalışma bölgesini kapsayan arazi verisinin yazılımda tanımlanması, iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan ilki, ham-dağınık yapıdaki 3 boyutlu arazi verisinin yazılımının alt menülerinde geliştirilen sayısal yükseklik modelleri yardımıyla grid veri yapısında modellemesi şeklindedir.

Dağınık yapıdaki ham arazi verisi (*.txt ve *.mat), seçilen arazi modelleme yöntemlerine göre grid aralığı seçimi yapılarak modellenmektedir. Modellenen arazi verisi, bundan sonraki aşamalarda kullanılmak amacıyla otomatik olarak (*.mat) kaydedilmektedir.

Şekil 4. 2 Veri girişi modülü

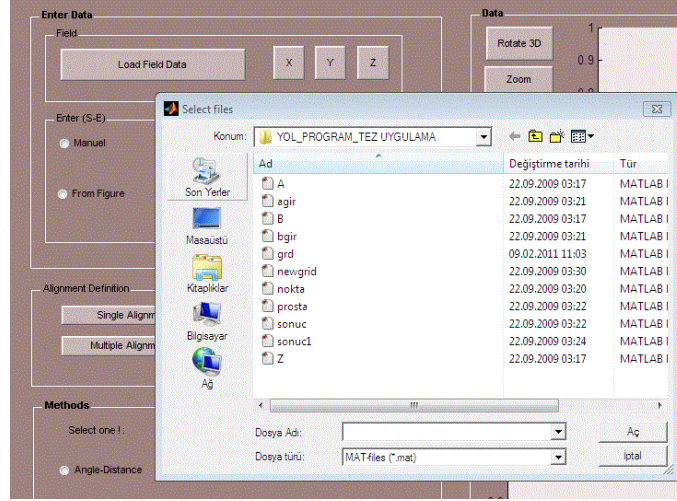
Değerlendirme yazılımı, arazi verisinin grid veri yapısına dönüştürülmesi ile çalışmaktadır. Bu yüzden, bir diğer arazi verisi girişi de farklı programlarda modellenen ve (*.grd) formatında kaydedilen verilerin, (*.mat) formatına çevrilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Farklı programlardan elde edilen SYM' nin yazılıma aktarılması ve

yazılım içinde kullanılabilir hale getirilmesi için alt menüye format dönüştürücü menüsü eklenmiştir (Şekil 4.3).



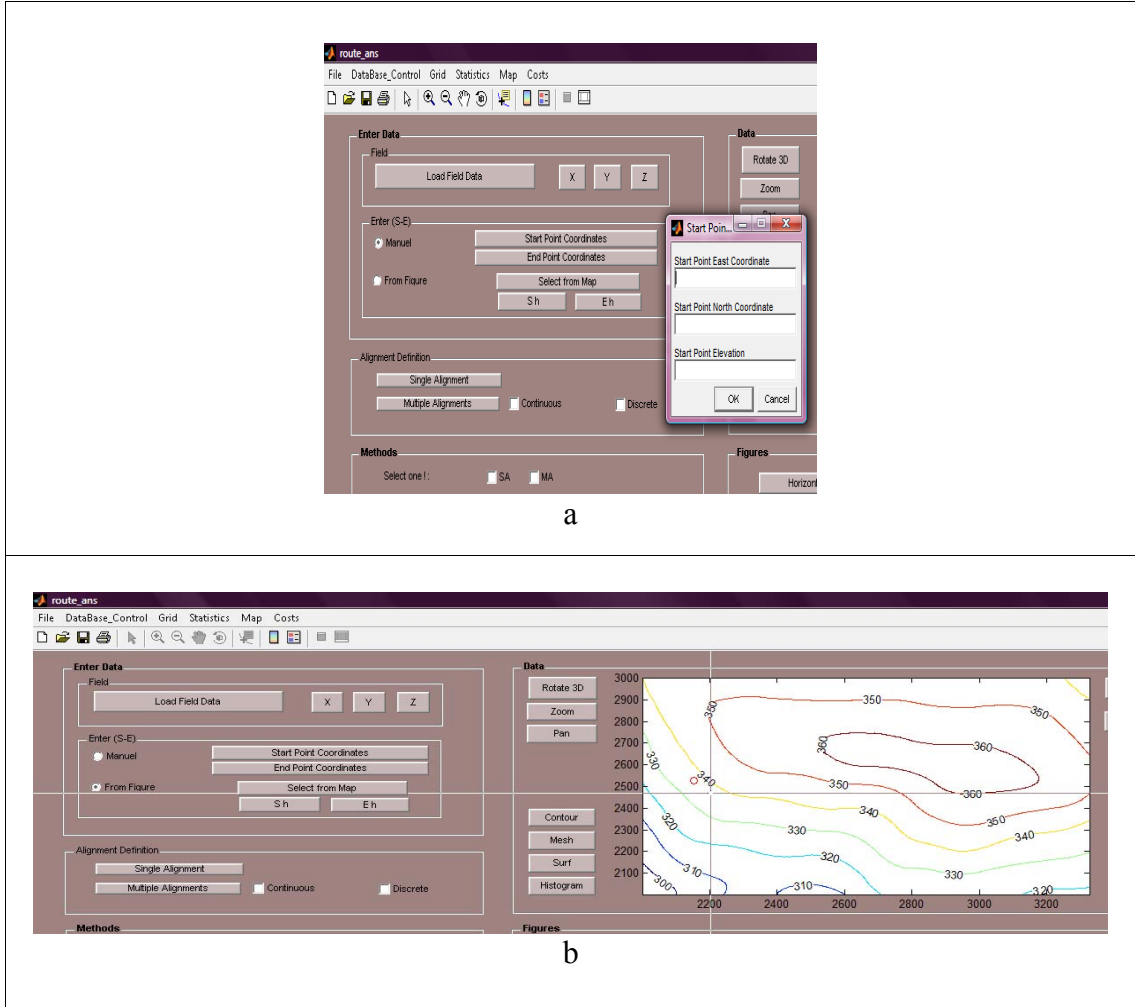
Şekil 4. 3 Yazılım içinde sayısal yükseklik modeli oluşturma seçim paneli

Yazılımın çalıştırılması işlemi için ilk olarak arazi modelinin giriş verisi olarak eklenmesi gerekmektedir. Değerlendirme yazılımında kullanım için istenen koşullarda hazırlanan arazi verisi, veri giriş panelinde bulunan "Load field data" butonu yardımıyla yazılıma aktarılmaktadır. İlgili butonun tıklanması ile açılan seçim ekranından (*.mat) seçilen arazi verisi üç boyutlu matris olarak kaydedilmektedir. Veri girişi modülü, kullanılacak verinin yapısına göre iki farklı dosya yükleme düğmesine sahiptir. Araziye ait veri, çok boyutlu matris şeklinde tek bir dosyada tutulabileceği gibi, sağa, yukarı ve yükseklik olarak farklı dosyalar içinde de olabilir. Burada, verinin yapısına göre seçim olanağı bulunmaktadır. Şekil 4.4, arazi verisinin yazılıma aktarılması işlemini göstermektedir. Yazılımın alt programlarında kullanılması için bu veri grubunun X, Y ve Z değerlerinin ayrı matris olarak saklanması gerekmektedir. Bu amaçla, aynı modül üzerinde bulunan "X", "Y" ve "Z" butonlarının tıklanması ile her bir koordinat değeri matris formatında ayrı ayrı depolanmaktadır.



Şekil 4. 4 Arazi verisinin yazılıma aktarılması

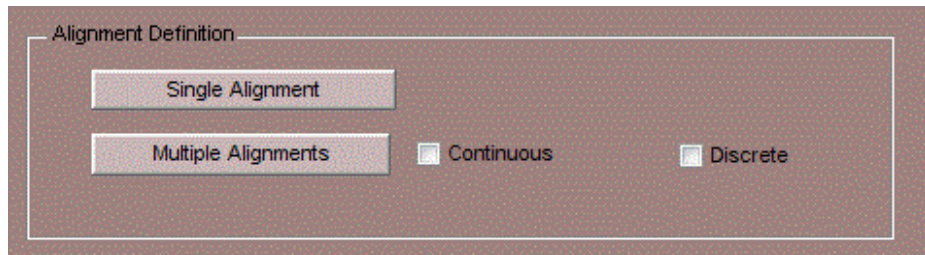
Diğer bir veri girişi ise, gečki için tanımlanacak başlangıç ve bitiş noktalarıdır. Bu noktalara ait 3 boyutlu koordinatların programa girdi olarak eklenmesi iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Çalışma klasörü altında, bu noktaların koordinatlarının kaydedilmiş dosya şekli ile kullanılabileceği gibi, modül üzerindeki butonlar yardımı ile de giriş yapılabilmektedir. Bunun için: (1) Manüel giriş paneli (2) Görüntüleme ekranında oluşan şekil üzerinden seçim, seçenekleri kullanılmaktadır (Şekil 4.5). Şekil 4.5.a’ da manüel veri girişi gösterilmiştir. Buna göre, “Manüel” sekmesinin seçilmesi durumunda, ilgili alanda bulunan “Start Point Coordinates” ve “End Point Coordinates” butonlarının tıklanması ile sırasıyla ilk noktaya ve son noktaya ait veri sağa değer, yukarı değer ve yükseklik bileşenleri değerlerinin panelden girilmesi ve kaydedilmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.5.b’ de ise bu iki noktanın girişinin “Data (Görüntüleme)” modülünde gösterimi yapılan arazi verisi üzerinden grafik olarak seçimi gösterilmektedir. Programa aktarılan arazi verisi “Data” modülünde görüntülendikten sonra veri girişi modülünden “From Figure” sekmesinin seçilmesi halinde seçim imleci aktif olmakta ve görüntülenen şekil üzerinden seçim yapılmaktadır.



Şekil 4. 5 İki ana kontrol noktasının a. Manuel veri girişi b. Şekil üzerinden seçim ile veri girişi

4.2.2 Geçki Tipi Seçimi Modülü

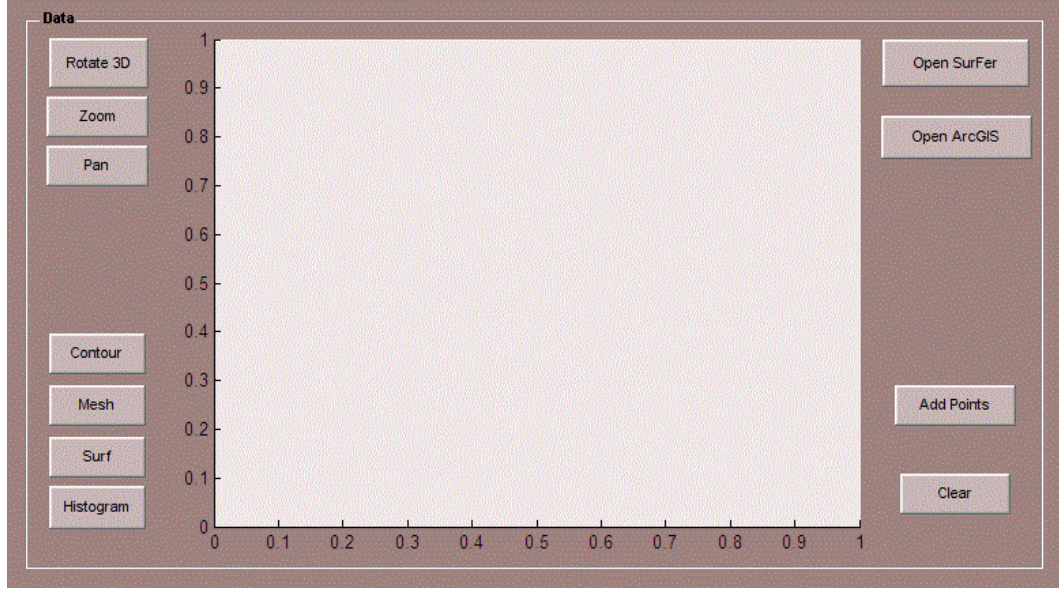
Hazırlanan değerlendirme yazılımında, tanımlanması gereken iki farklı geçki tipi bulunmaktadır. Bunlar, başlangıç ve bitiş noktası olmak üzere iki noktadan oluşan tekli geçki ve ikiden fazla noktaya sahip çoklu geçki tanımlarıdır. Tekli geçki tanımında, iki ana kontrol noktası için işlem yapılırken, çoklu geçki tanımında ardışık devam eden noktalar arasında geçki birleştirme çalışması yapılmaktadır.



Şekil 4. 6 Geçki tipi seçimi modülü

4.2.3 Görüntüleme Modülü

Arazi verisinin ve verilen iki noktanın görselleştirilerek kullanıcıya sunulması için görüntüleme modülü değerlendirme yazılımına eklenmiştir. Oluşturulan şekil üzerinden aynı zamanda geçki oluşturması istenen iki noktanın seçimine de olanak sağlanmaktadır.



Şekil 4. 7 Değerlendirme yazılımı veri görüntüleme modülü

Veri Girişi modülü ile verilerin girişi sağlandıktan sonra, “Data” veri görüntüleme modülü kullanılabilir hale gelmektedir. Veri görüntüleme modülü üzerinde, eşyükseklik eğrili harita gösterimi, üç boyutlu yüzey ve üç boyutlu grid görüntüleme ile yüksekliklere ait histogram görüntüleme düğmeleri mevcuttur. Görüntüleme sonucu oluşan şekiller üzerinde büyütme/ küçültme, kaydırma ve döndürme düğmelerinin kullanımı ile bu işlemler de yapılabilir.

4.2.4 Yaklaşımların Değerlendirilmesi Modülü

Bu modül üzerinde geçki araştırmasında alternatif yöntem olarak önerilen “Açı ve uzunluk ile gridlerde arama”, “Enkesitler boyunca arama” ve “Basamak yöntemi” yaklaşımlarının fonksiyon dosyaları ile hazırlanmış program yapıları bulunmaktadır. Şekil 4.8, oluşturulan modülün yöntemlere göre ayrılmış alanlarını göstermektedir.

Bu modül üzerinde tanımlanmış olan herhangi bir yöntemin seçilmesinden önce geçki türünün tanımlanması gerekmektedir. Geçki türünün tanımlanması işlemi için, oluşturulan panel üzerinde (SA) ve (MA) olarak belirtilen, sırasıyla “Tekli Geçki Tanımı” ve “Çoklu Geçki Tanımı” olan kutulardan birinin seçilmesi gerekmektedir. Bu sayede, program bir üst panelde yapılan geçki tipi tanımını doğrulamaktadır ve bir önceki panelde yapılan veri girişleri bu panele aktarılmaktadır.

The image shows a software interface titled "Methods". At the top, there is a "Select one !:" label with two radio buttons, "SA" and "MA". Below this, there are three method options, each with a radio button and a text input field:

- Angle-Distance**: Search Distance input field (value 0). A red box highlights this section. An arrow points from the "Time:" label to a box labeled "Açı-Mesafe ile Gridlerde Arama Yaklaşımı".
- Vertical Line Cut**: Interval Distance input field (value 0). A red box highlights this section. An arrow points from the "Time:" label to a box labeled "Enkesitler Boyunca Arama Yaklaşımı".
- Step**: Interval Distance input field (value 0). A red box highlights this section. An arrow points from the "Time:" label to a box labeled "Basamak Yöntemi Yaklaşımı".

Below these options is a button labeled "TRIM GRID DATA". At the bottom right is a "Run!" button. The entire interface is enclosed in a dark grey border.

Şekil 4. 8 Önerilen alternatif yöntemlerin seçimi için oluşturulan modül

İlgili alandaki alt programların çalıştırılabilmesi için, yazılım kendi içerisinde başlangıç kontrol bölümleri içermektedir. Bunlardan ilki, iki noktanın üç boyutlu koordinatlarının programa girilmesine olanak sağlayan manüel veri girişi kısmında, çalışma alanının içinde ya da dışında olmalarının kontrolünün yapılmasıdır. Bir diğer kontrol ise arama aralığı değerinin sıfır veya negatif bir değer olarak girilmesi durumunda hata mesajının kullanıcı ekranında görünmesidir.

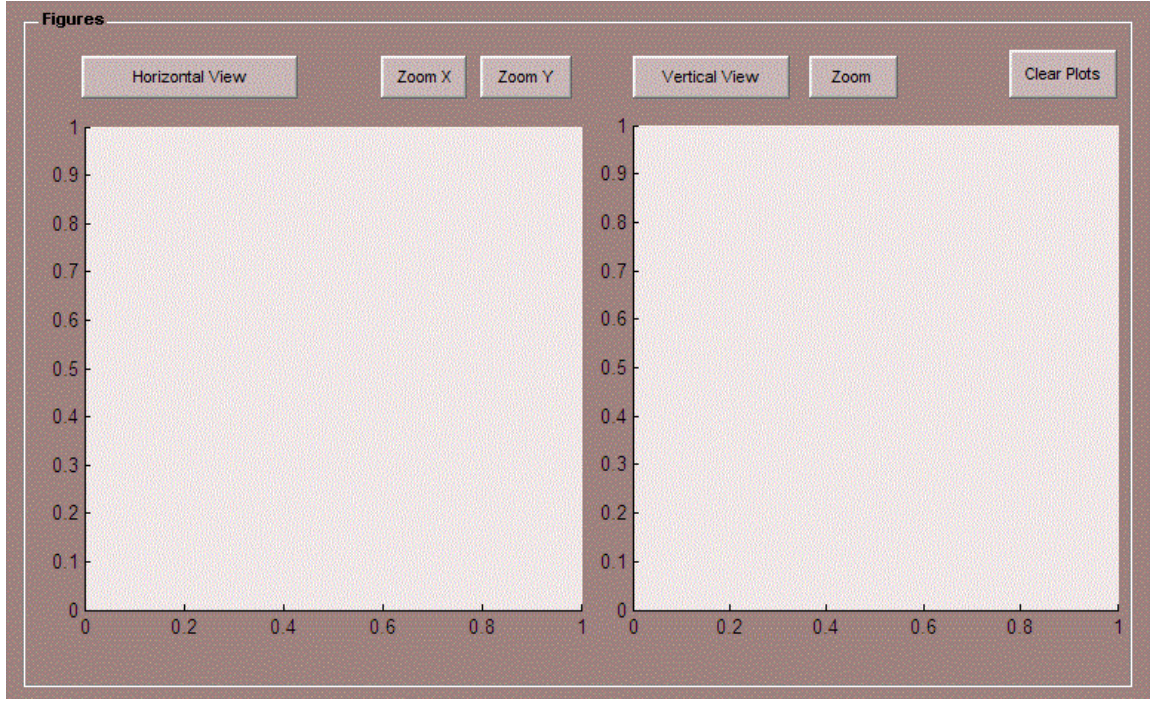
Basamak yöntemi yaklaşımı ile çözüm üretilmesinde işlem akışı, veri girişi yapılan iki ana kontrol noktasının sınırladığı alanın tüm çalışma bölgesinden kesilmesi ve oluşan yeni alanın bu yöntemde kullanılması için saklanmasını kapsamaktadır. Bunun için oluşturulan “Trim Grid Data” düğmesine basılması halinde oluşan yeni çerçeve sınırlarına sahip olan grid verisi, “Step” komutu ile belirtilen yukarıda açıklanmış olan yaklaşımda kullanılmak üzere depolanarak, bu program fonksiyonuna

gönderilmektedir. Bu sayede elde edilen yeni çalışma alanı verisi kullanılarak, istenilen arama aralığı değeri girilmekte ve arama başlatılmaktadır. Bundan sonraki işlemlerde, ilk arazi verisi ile değil, düşmenin çalıştırılması ile elde edilen grid arazi verisi kullanılmaktadır.

Bir sonraki panel; yöntem seçiminin belirlendiği ve seçilen yöneme göre programın hesaplama için başlatıldığı paneldir. Burada önerilen iki farklı yöntem vardır. Yöntemler, kullanılacak arazi verisinden bağımsız olarak kullanıcı müdahalesi gerektirmeyen şekilde getirilmiştir. Kullanıcı için seçim yapması gereken tek değişken, her iki yöntem için de arama için kullanacağı mesafe aralığı olacaktır. Her iki yöntemde de mesafenin girilmemesi (başlangıç değeri=0) veya negatif bir değer girilmesi durumunda hata mesajı ekrana gelmektedir. Kullanılan hata kutusu “modal” özellikte olup, kullanıcı tarafından onaylanmadığı sürece bir sonraki aşamaya geçişe izin vermemektedir.

4.2.5 Sonuç Görüntüleme Modülü

Bu modül altında çalışan dosya, seçilen yöntemin hesapladığı geçki ara noktalarına ait iki boyutlu koordinat değerlerini ve yükseklik bileşenini alt programa yükleyerek, yatay ve düşey planları ekranda görüntülemektedir. Ekran üzerinde “Horizontal View” sekmesinin işaretlenmesi ile yatay geçki çizdirilirken, “Vertical View” sekmesinin işaretlenmesi ile mesafeye bağlı yükseklik değerleri çizdirilmektedir. Aynı veri seti kullanılarak üç yöntemin de çalıştırılması durumunda, yaklaşımların değerlendirilmesi modülünde hangi yöntem işaretlendi ise ona ait grafiksel gösterimler yapılmaktadır.



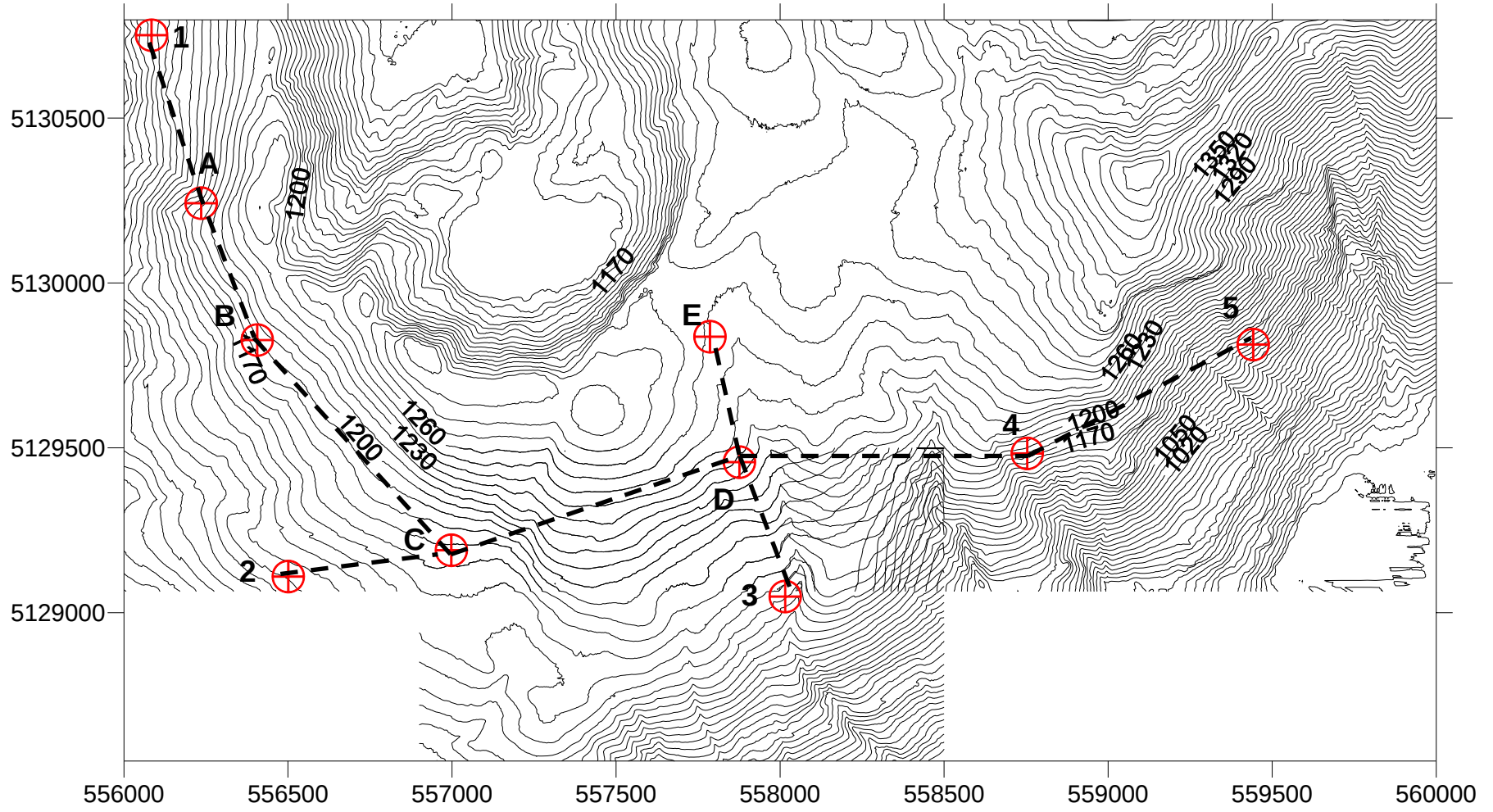
Şekil 4. 9 Değerlendirme yazılımının yatay ve düşey sonuç görüntüleme ekranı

ÖNERİLEN YAKLAŞIMLARIN TEST EDİLMESİ

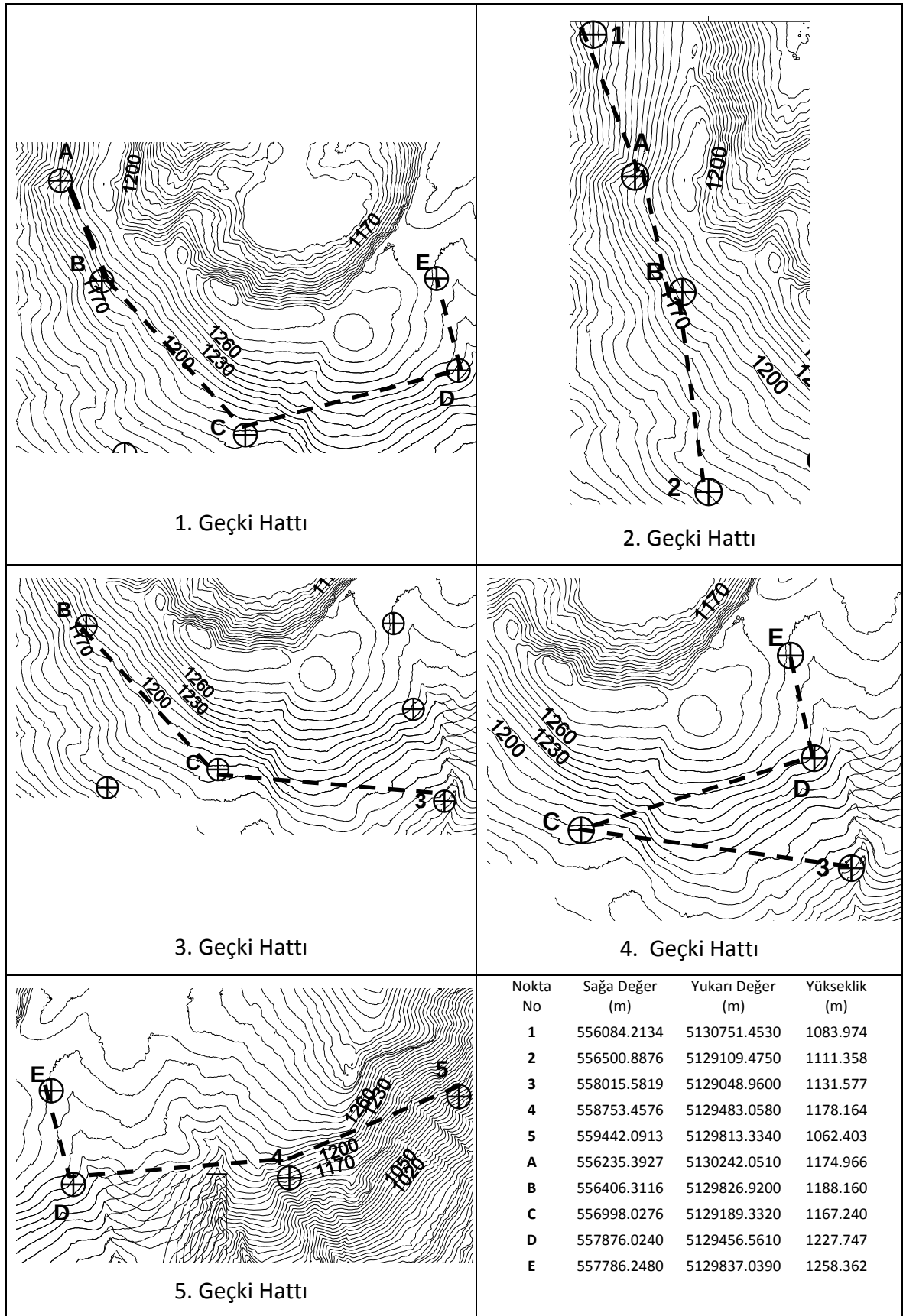
Bu bölümde, tez çalışmasında geçki araştırması için önerilen alternatif yaklaşımlar, geliştirilen değerlendirme yazılımı kullanılarak test edilmiştir. Çalışmada kullanılacak yüksek çözünürlüklü SYM' nin oluşturulması için LIDAR veri seti kullanılmıştır. Oluşturulan SYM üzerinden seçilen noktalar, arazi özelliklerine göre gruplandırılarak geçki ana kontrol noktalarından dizi hatlar belirlenmiştir. Bölüm 3' te değinildiği gibi, yapılan literatür çalışmasına dayanılarak, SYM üretiminde Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. SYM' si oluşturulan model grid veri modelinde gridlenerek, değerlendirme yazılımına arazi verisi olarak girişi yapılmıştır. Verilen başlangıç ve bitiş noktalarına göre her üç yaklaşımın da çalıştırılması ile geçki ara noktaları elde edilmiştir. Elde edilen geçki ara noktalarına düzgün bir hat oluşturması amacıyla bir dizi işlem uygulanarak proje değerleri ile gösterilmesi sağlanmıştır.

5.1 LIDAR Verisi Kullanılarak Önerilen Yaklaşımların Test Edilmesi

Çalışma bölgesi olarak, ABD' nin Washington Eyaleti' ndeki Mount Saint Helen bölgesine ait bir alan seçilmiş ve bölgeye ait LIDAR verisi internet aracılığı ile temin edilmiştir. LIDAR verisi kullanılarak gerçekleştirilecek uygulama için seçilen çalışma bölgesi 1,341,886 noktadan oluşmaktadır. Araziye uygun grid aralığının seçilebilmesi için Eşitlik 3.1 kullanılarak g_a değeri 2.29 m olarak bulunmuştur. Buna bağlı olarak grid aralığı 3 m olarak seçilmiştir. Sayısal yükseklik modeli oluşturmak amacı ile Kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmış ve seçilen grid değerine göre 3×3 m kare grid aralığında model oluşturulmuştur.



Şekil 5. 1 LIDAR verisine dayalı elde edilen SYM ve geçki noktaları



Şekil 5. 2 Test çalışması için oluşturulan geçki hatları

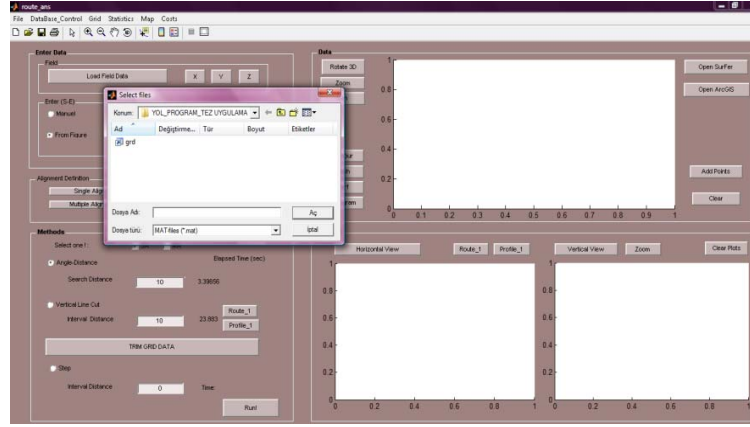
Şekil 5.1’ de görüldüğü gibi seçilen çalışma bölgesi çoğunlukla dalgalı bir arazi yapısına sahip olmakla birlikte, kısmen düz ve dağlık alanların da bulunduğu bölgeler seçilerek farklı arazi yapılarının bir arada test edilmesi amaçlanmıştır.

Harita üzerinde, farklı yapıda geçki hatları oluşturmak için beş farklı çalışma bölgesi belirlenmiştir. Bölgeler üzerinde işaretlenen geçki noktaları ve oluşturdukları hatlar Şekil 5.2’ de gösterilmiştir. Seçilen çalışma bölgeleri arazi topografik özellikleri bakımından sınıflandırıldığında, 1. ve 2. hattı kapsayan bölgenin dalgalı, 3. ve 5. hattı kapsayan bölgenin dağlık ve 4. bölgenin ise kısmen düz ve dalgalı bir arazi yapısında olduğu belirlenmiştir.

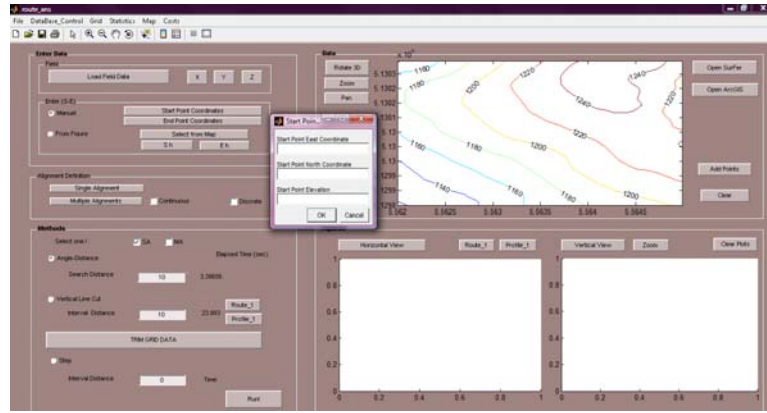
Test çalışmasında, değerlendirme yazılımı kullanılarak önerilen yaklaşımların arazi topografik yapısı da dikkate alınarak performans değerlendirmeleri yapılmış, uygun yöntemin hangi koşullar altında ve hangi topografyada iyi sonuçlar vereceği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, tüm geçki hatları yazılım üzerinde değerlendirilirken, sadece 1. geçki hattı kullanılarak değerlendirme yazılımından elde edilen verilerin proje verileri ile temsili için bir dizi işlem uygulanmıştır.

5.2 Açı ve Uzunluk ile Gridlerde Arama Yaklaşımının Test Edilmesi

Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının uygulanması için seçilen LIDAR verisinin değerlendirmesi işlemi, arazi verisine ait (.grd) dosyasının programa aktarılması ile başlamaktadır (Şekil 5.3). Giriş paneli üzerinden aktarımı gerçekleştirilen veri, görüntüleme modülü yardımıyla ekran üzerinde eşyükseklik eğrili harita olarak gösterilmektedir. Bu noktada, geçkilere ait başlangıç ve bitiş noktalarının koordinat girişleri iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan ilki, eşyükseklik eğrili harita üzerinden doğrudan bu iki noktanın yerinin seçilmesi, diğer işlem ise elle giriş paneli kullanılarak bu noktalara ait koordinat bilgilerinin girilmesi şeklindedir. Uygulamada, elle giriş paneli kullanılarak kontrol noktalarına ait koordinat bilgilerinin programa girilmesi sağlanmıştır (Şekil 5.4).

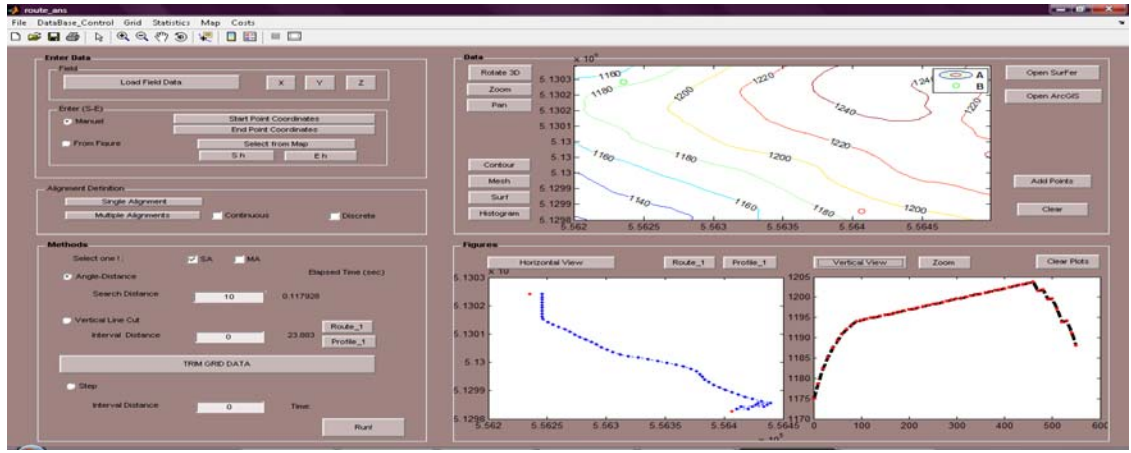


Şekil 5. 3 LIDAR verisi kullanılarak elde edilen SYM' nin yazılıma aktarılması

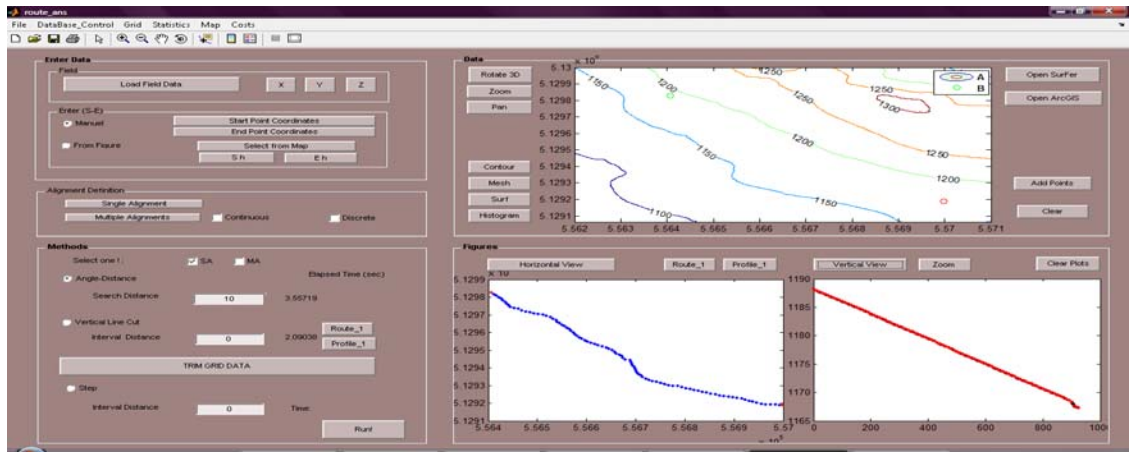


Şekil 5. 4 Geçki noktalarına ait üç boyutlu koordinatların manüel girişi

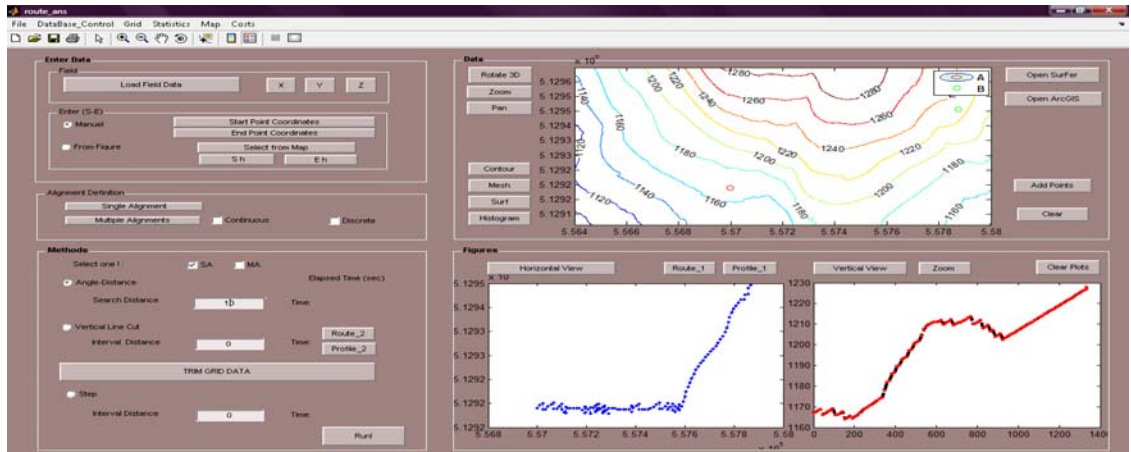
Şekil 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8' de, 1. geçki hattını oluşturan başlangıç ve bitiş noktalarının sırasıyla oluşturduğu A-B, B-C, C-D ve D-E geçkilerinin Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı kullanılarak elde edilen yatay plan ve profil hatlarının değerlendirme yazılımı kullanılarak gösterimleri yapılmıştır. D-E geçki hattı için arama uzunluğu 15 m alınmak üzere, diğer tüm geçkilerde bu değer 10 m olarak alınmıştır. Arama uzunluğunun seçiminde, arazi verisinin grid çözünürlüğü dikkate alınmıştır. Bu değerın tespit edilmesi için yapılan deneysel çalışmalarda grid aralığının üç katına kadar olan uzunlukların arama uzunluğu olarak alınmasının çalışma hassasiyetini değıştirmediği görölmüştür. 2., 3., 4. ve 5. geçki hatlarına ait seçilen geçkilerin yazılım çıktıları Ek-A' da göröldüğü gibidir.



Şekil 5. 5 Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen A-B geçkisi



Şekil 5. 6 Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen B-C geçkisi

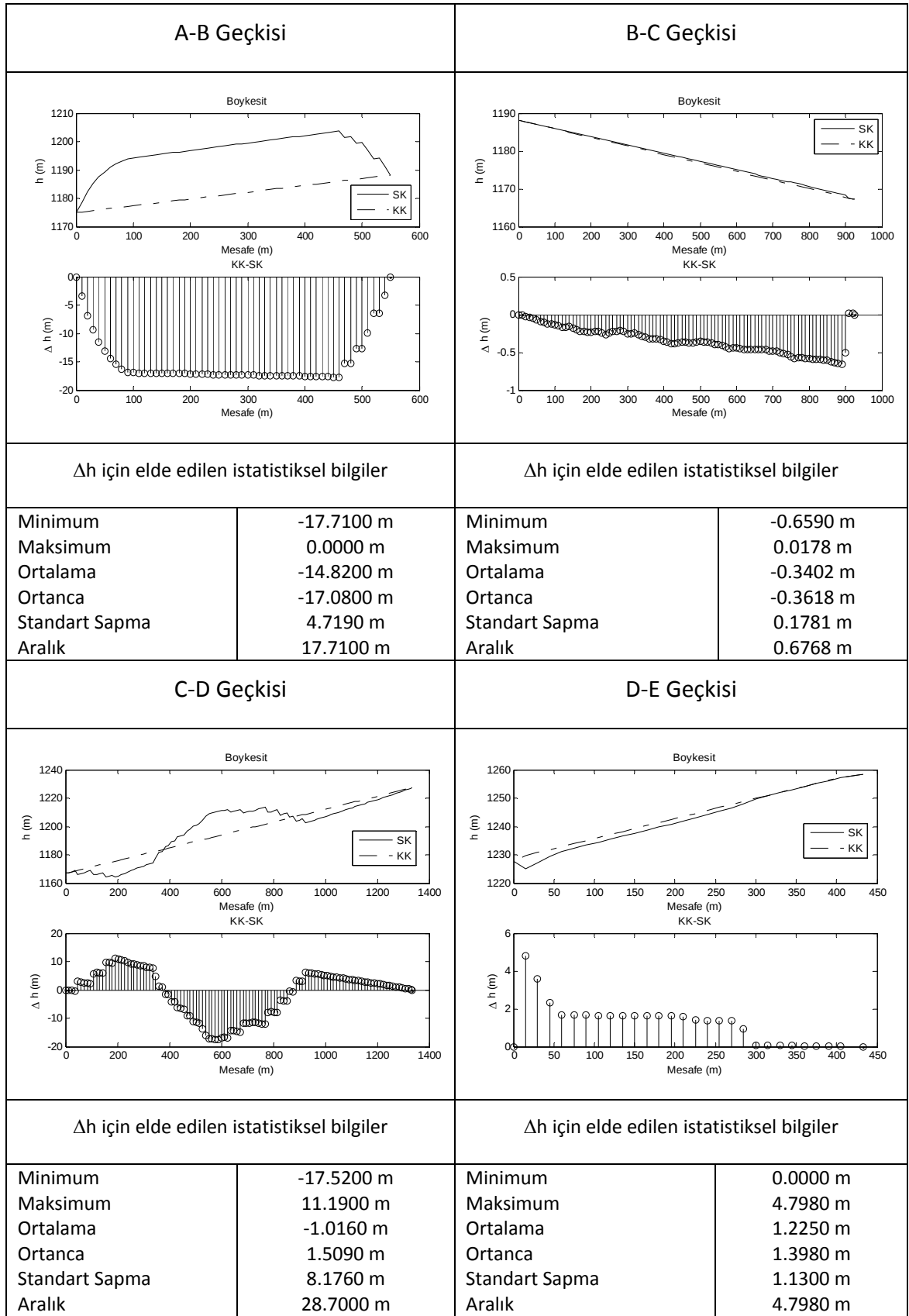


Şekil 5. 7 Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen C-D geçkisi

sonuçlar retilenemiştir. Zorlamalı yapı, eğimin sürekli değiştiği bir profil meydana getirmiştir.

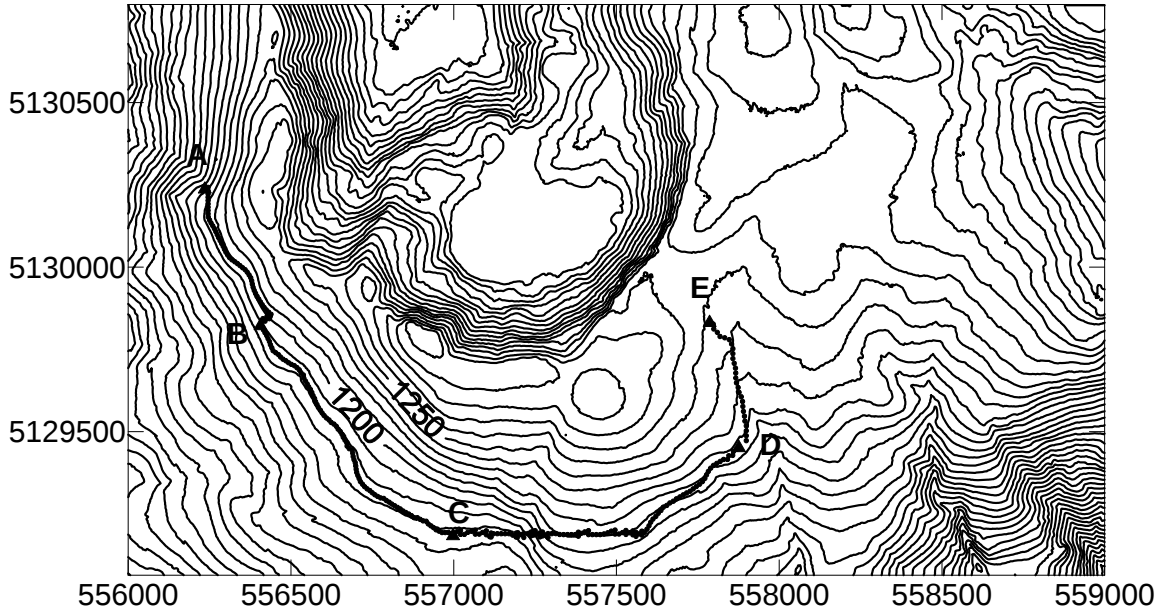
Bu sonuçlar doğrultusunda, Aı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının dalgalı ve nispeten düz arazi yapısına sahip arazi topografyasında uygun sonuçlar ürettiği grlmştr. Beklendiği gibi, bu yaklaşım dağlık arazi yapısında yani yükseklik farklarında ani ve büyük değişimlerin yaşandığı arazilerde amaç fonksiyonu koşulunu sağlayamamış ve profil üzerindeki eğim değerlerinde süreksizlikler meydana gelmiştir. Bunun nedeni, arama uzunluğu ve arama açısına bağlı sınırlı bir alanda geçki ara noktalarının seçiminin iteratif yapılmaya çalışılmasıdır. Bu zellik aynı zamanda zorlamalı bir arama oluşturmuş ve bunun neticesinde yerel optimum noktalarının yakalanmasını sağlamıştır.

Önerilen Aı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı yönteminin uygulanması sonucu elde edilen yatay koordinatlar ardışık devam eden çok sayıda kırıklı çizgi oluşturmaktadırlar. Bu durum, geçkilerin tasarım elemanları ile birlikte bir proje olarak ifade edilememe sorununu meydana getirmiştir. Bu problemin giderilmesi için hat noktalarına polinom uydurma işlemi uygulanmıştır. Artık hataların minimum olduğu polinom derecesinin hatta en uygun polinom fonksiyonu olarak seçilmesi sağlanmıştır. Ancak burada, yüksek dereceli polinom fonksiyonlarının hatta uyum sağlamasına rağmen ondülasyonlar meydana getirmesinden dolayı polinom derecesi kriteri konulmuştur. Bu uygulamada seçilen polinom derecesi st sınırı 20 olarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda llerin ağırlıkları eşit ve 1 olarak kabul edilmiştir. Fonksiyonun uygulanması, X koordinatı ile bunlara karşılık gelen hat toplam mesafesi, Y koordinatı ile bunlara karşılık gelen hat toplam mesafesi olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen X ve Y değerleri bir sonraki proje elemanlarının hesabı için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, geçki ara noktalarının hesaplanmasından sonraki aşamalar için sadece 1. geçki hattına ait veriler kullanılmıştır. Buna göre, yazılımdan hesaplanan bu noktalar sırasıyla, polinom uydurma işlem ve kurp yarıçapı ile proje elemanları kestirimi işlemine tabi tutulmuştur. Son aşama yatay plan ve profil için ayrı ayrı uygulanmış ve aynı zamanda düşey elemanların da hesabı yapılmıştır.



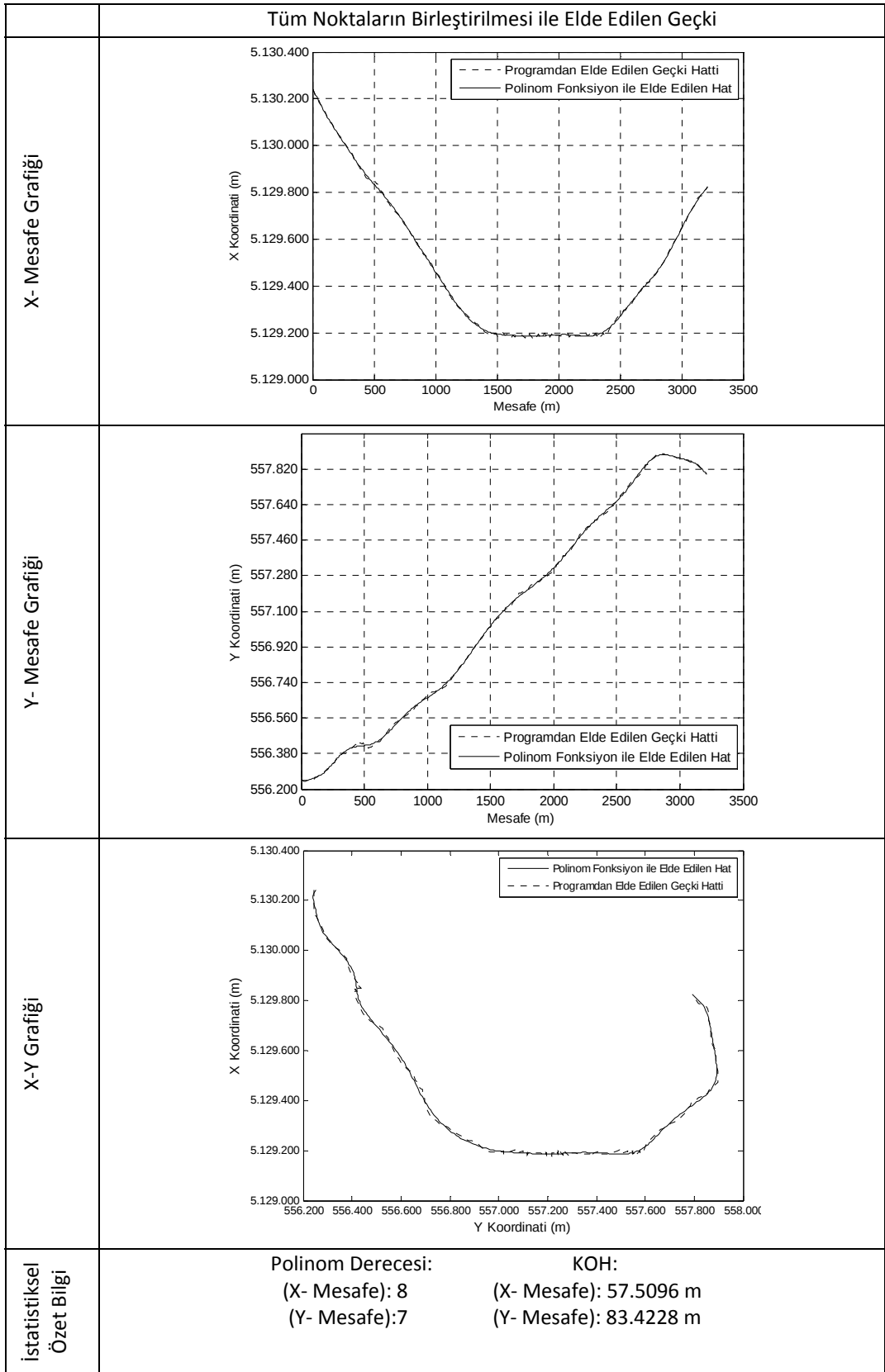
Şekil 5. 9 Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar

Elde edilen geçki hatları düşeyde istenen sabit eğim koşulunu sağlamasına rağmen, yatay hat üzerinde çok sayıda kırıklı çizgiden oluşmaktadır (şekil 5.10). Elde edilen bu yatay hattın geçki oluşturması amacıyla polinom uyarlama işlemi uygulanmıştır (Bkz Bölüm 3.3).



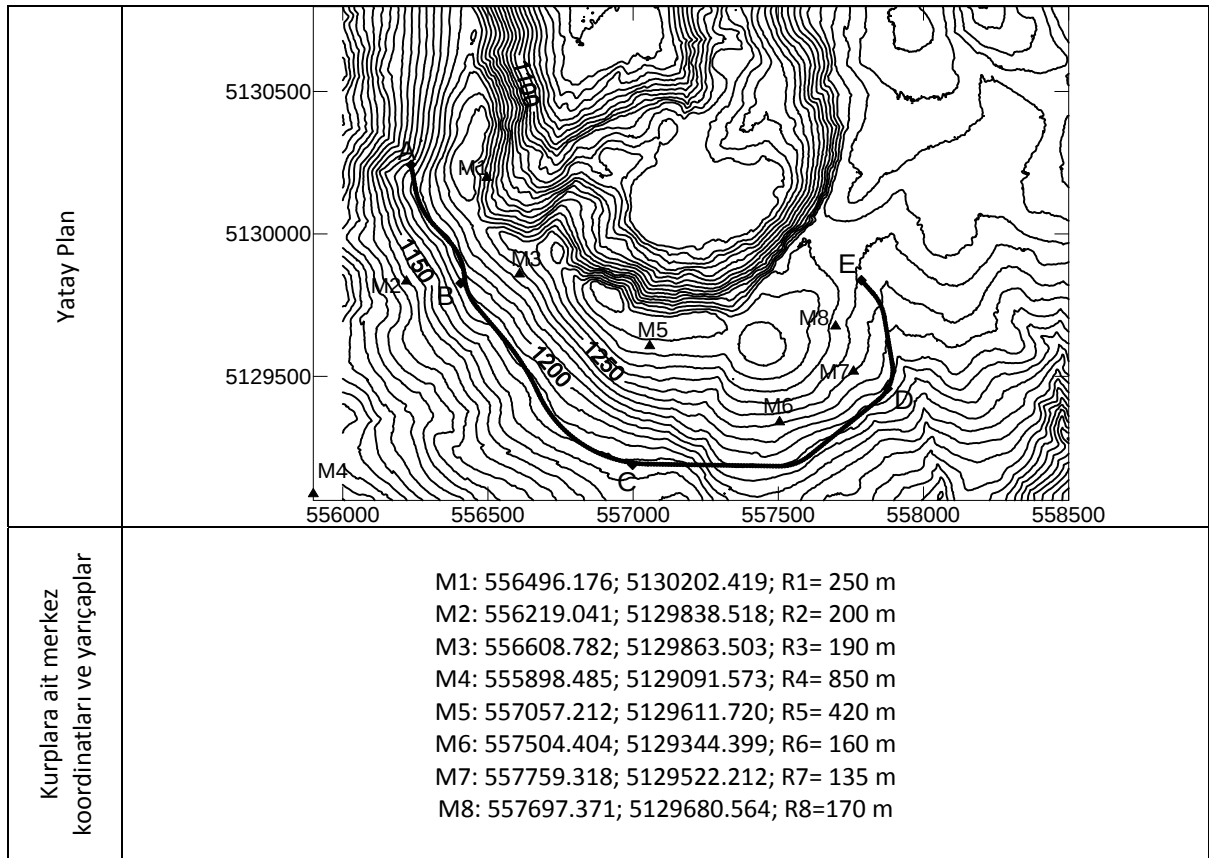
şekil 5. 10 Aı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ile elde edilen 1. geçki hattı plan gösterimi

şekil 5.11' de Aı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı uygulanarak elde edilen dört geçkiye ait tüm noktaların yatay koordinatları kullanılarak polinom uyarlama işlemi sonucunda elde edilen grafikler, fonksiyona ait zet bilgiler ile birlikte sunulmuştur. Buna göre, tüm geçki noktaları kullanarak, X ve Y değerleri ile mesafe arasında kurulan fonksiyon sonucunda elde edilen polinom dereceleri sırasıyla 8 ve 7, KOH değerleri ise yine sırasıyla ve 57.5096 m m ve 83.4228 m' dir.



Şekil 5. 11 Açık ve mesafe ile gridlerde arama yaklaşımında 1. geçki hattına ait polinom fonksiyon uygulaması

Yatay koordinatlar ile mesafe arasındaki polinom fonksiyonun açılımından elde edilen X ve Y değerleri kesin proje elemanlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Bunun için, elde edilen X ve Y değerlerinin oluşturduğu geçki hattının proje elemanları Şekil 3.26' da verilen işlem akışı kullanılarak bulunmuştur. Şekil 3.26' da görüldüğü gibi işlemler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiş ve her iki aşama için gerekli olan veriler Şekil 3.27.a ve b' de verildiği gibi ikiye ayrılmıştır. Tüm geçkiler için kestirilen proje değerlerine göre oluşturulan geçki Şekil 5.12' de gösterilmiştir.



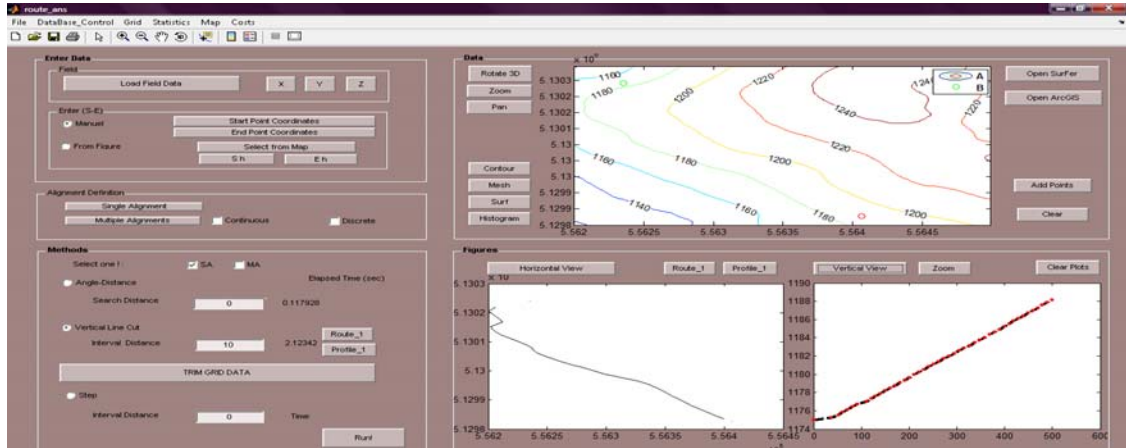
Şekil 5. 12 Açık ve mesafe ile gridlerde arama yaklaşımında elde edilen geçkinin yatay planı

Şekil 5.12' de gösterilen geçki hattı, polinom uydurma işleminden sonra projelendirildiği için, çalışmada başlangıç ve bitiş noktaları olarak verilen noktalar geçki hattı üzerinde bulunması gereken yerlerinden sapmalar göstermişlerdir. Bu noktalar oluşan hat üzerine dik düşürülerek, yükseklik değerleri B', C' ve D' noktalarına taşınmıştır. Bunun nedeni, hattın siyah kot değerine göre oluşturulan boykesidi üzerinde yatayda kurp yarıçapı için önerilen yöntemin düşey ekseninde uygulanarak kırmızı kot değerlerinin hesaplanmasıdır. Çalışmanın bu aşamasında, yatay planı

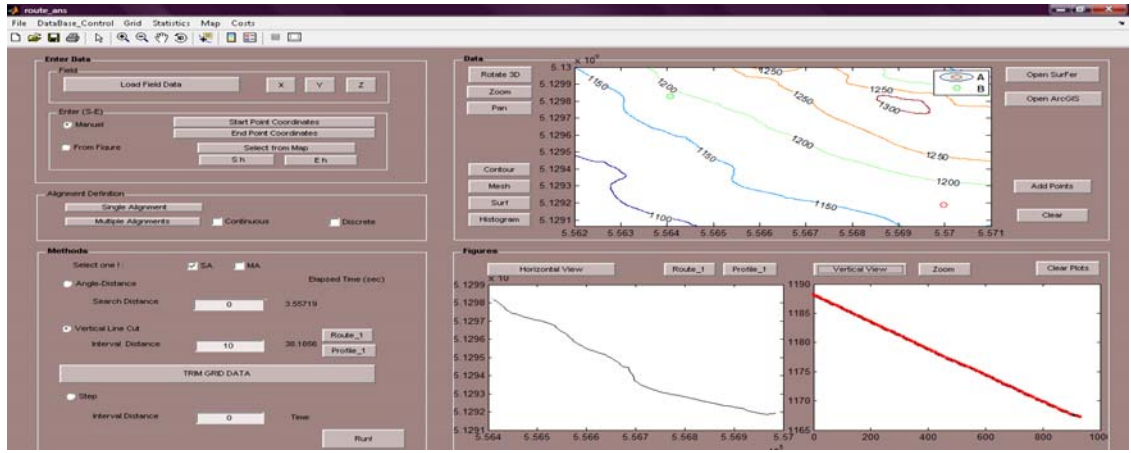
oluşturulan hattın boykesit grafiği çizdirilmiştir. Bu noktada, yatay plana ait kırmızı çizginin geçirilmesi için Şekil 3.26’ da yatay geçki elemanlarının belirlenmesi için önerilen işlemler iki aşamalı olarak siyah kot değerleri ve mesafeye bağlı gerçekleştirilmiştir. Her iki aşama için gerekli olan veriler Şekil 3.27.a ve b’ de verildiği gibi ikiye ayrılmıştır. Ayrılan veri noktalarında, eğri kısımlar için yarıçap kestirimi uygulanmış ve elde edilen kırmızı kot ve siyah kot değişimleri Ek-B’ de gösterilmiştir. Son olarak, elde edilen geçkiler için farklı platform genişlikleri kullanılarak kazı dolgu hacimleri hesaplanmıştır (Ek-B). Yaklaşım sonucunda istenen eğim değerinden sapmaların oluşması ve zorlamadan dolayı eğim değerinin büyümesi nedeniyle hat boyunca kazı fazlası oluşmuştur.

5.3 Enkesitler Boyunca Arama Yaklaşımının Test Edilmesi

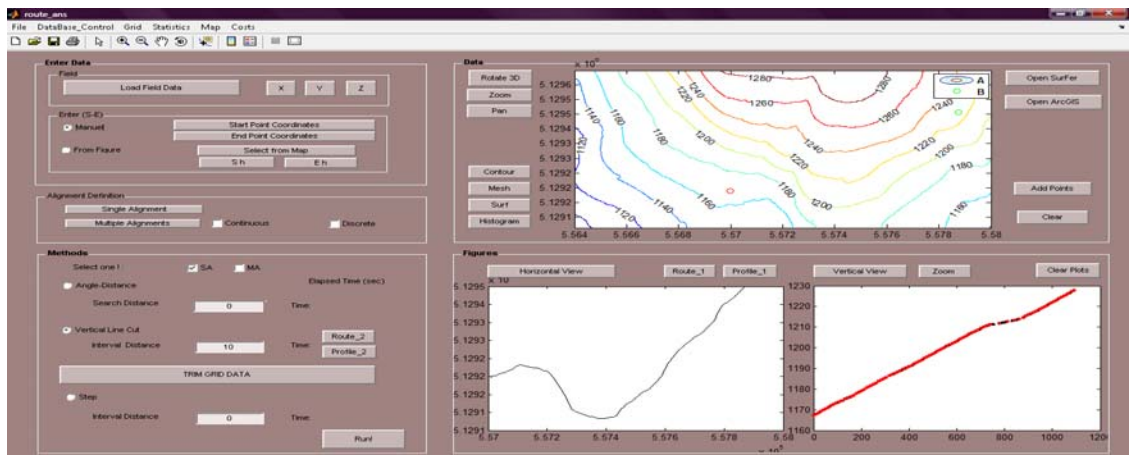
Enkesitler boyunca arama yaklaşımı kullanılarak seçilen çalışma bölgelerinden 1. geçki hattına ait değerlendirme sonuçları Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16’ da gösterilmektedir. Diğer geçki hatlarına ait değerlendirme yazılımı sonuçları ise Ek-C’ de verildiği gibidir. Her bir geçki için enkesit aralığı 10 m olarak alınmıştır.



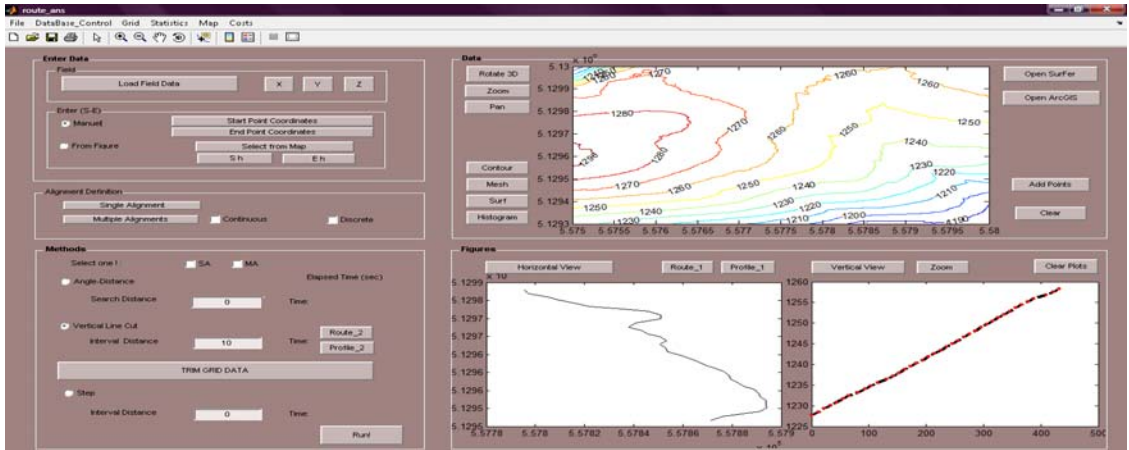
Şekil 5. 13 Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen A-B geçkisi



Şekil 5. 14 Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen B-C geçkisi



Şekil 5. 15 Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen C-D geçkisi

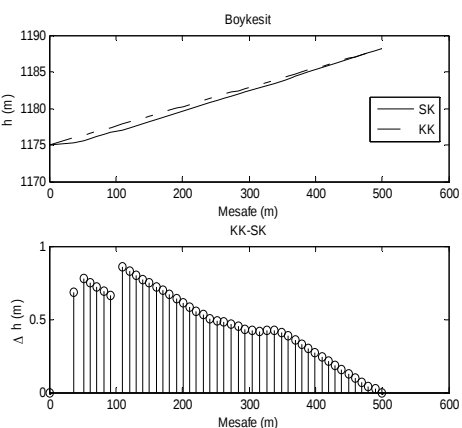
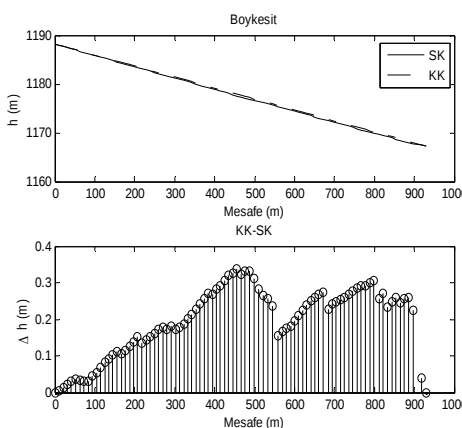


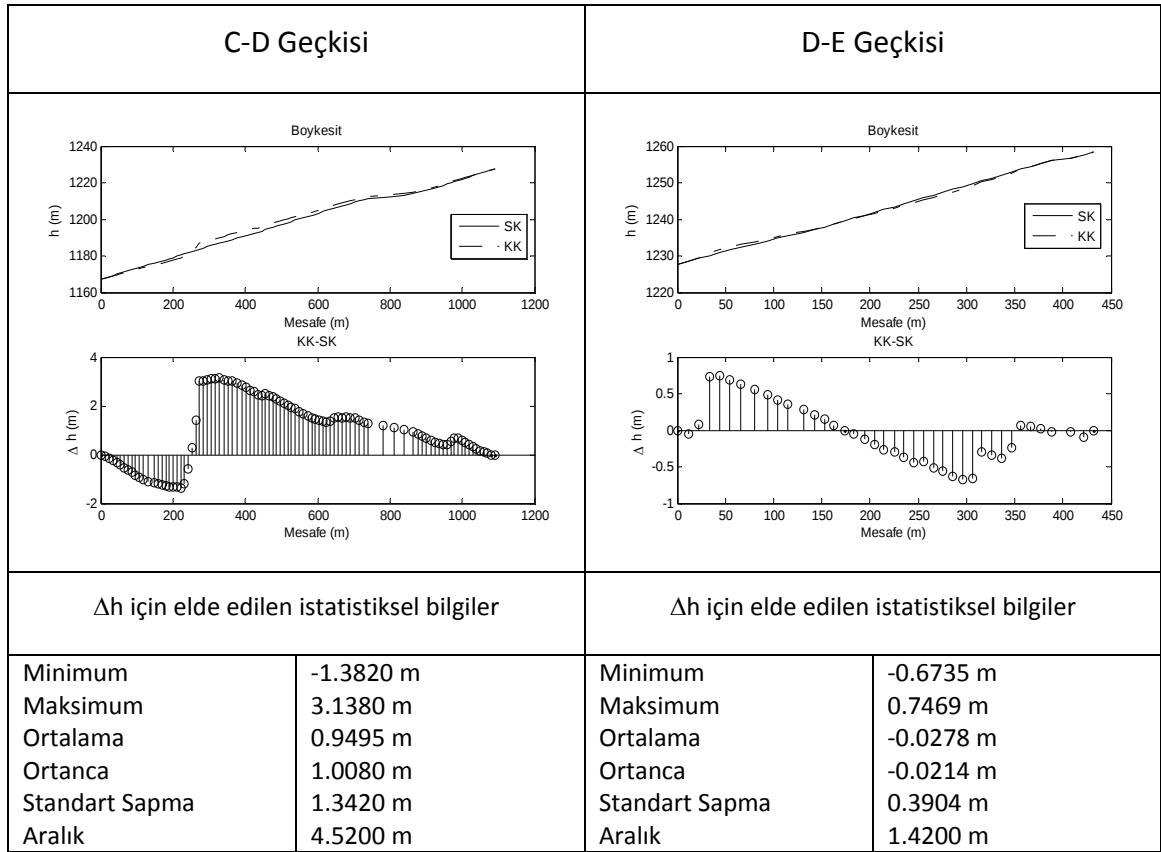
Şekil 5. 16 Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen D-E geçkisi

Elde edilen geçki ara noktalarının öngörülen sabit eğim değerlerinden sapma miktarları ve bu sapmalara ait istatistiksel bilgiler Şekil 5.17’ de verilmiştir. Buna göre, 2. geçki, 0.3388 m aralık değeri ve 0.0949 m standart sapma değeri ile en az farkın olduğu geçki olarak bulunmuştur. Yaklaşımın eşyükseklik eğrilerine dayalı olarak sonuç

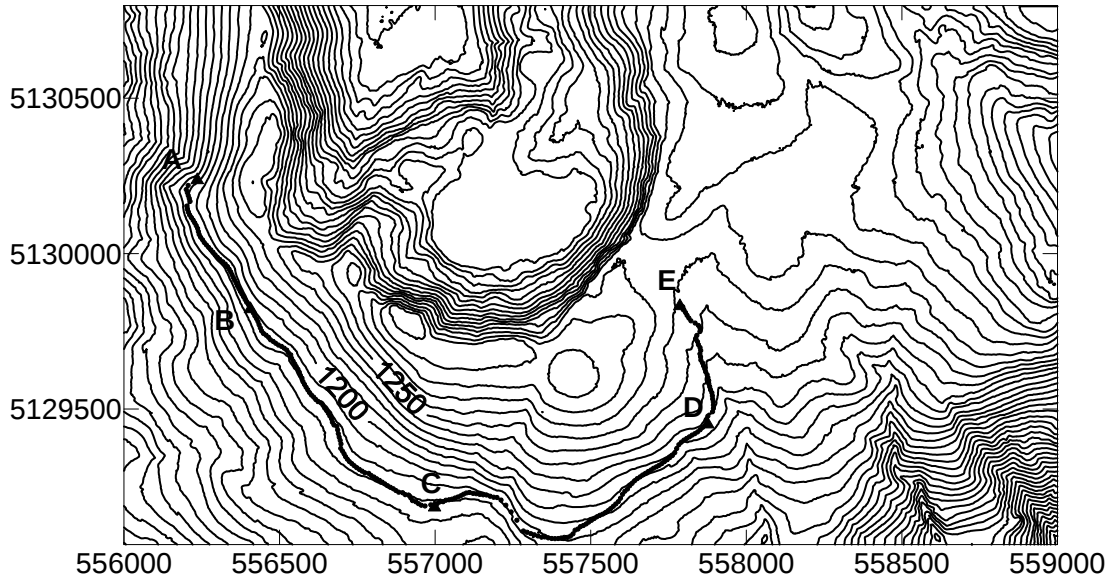
retmesinden dolayı, istenilen eğim koşuluna dayalı olarak her türlü arazi yapısında iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Kırmızı kot ile siyah kot arasındaki farkların en fazla olduğu bölge ise 3. geçkinin geçirildiği bölge olmuştur. 3. geçki için hesaplanan yüksekliklere ait fark aralığı 4.5200 m olup, maksimum fark 3.1380 m, minimum fark - 1.3820 m ve standart sapma değeri ise 1.3420 m olarak bulunmuştur. Yaklaşımın doğası gereği, hesaplara belirlenen doğrultu üzerindeki eşyükseklik eğrilerinin enkesitlerle keşişimin sağlanması rağmen, bu eğriyi yakalamak için enkesit doğrultu yapılan hareket nedeniyle, eğim hesabında kullanılan ilk mesafe değeri artmakta ve bu da farkların oluştmasına neden olmaktadır. Bu yüzden bu yöntem, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha uzun bir geçki oluşturmaktadır. Şekil 5.17’ de tüm geçkilere ait fark grafikleri ve farkların istatistiksel bilgileri verilmiştir.

Seçilen diğer bölgelerdeki diğer tüm gekilerde hesaplanan sonuçlar göz önüne alındığında enkesitler boyunca arama yaklaşımının, bütün arazi tiplerinde istenen veya istenene yaklaşan sonuçlar ürettiği görülmektedir.

A-B Geçkisi		B-C Geçkisi	
			
Δh için elde edilen istatistiksel bilgiler		Δh için elde edilen istatistiksel bilgiler	
Minimum	0.0000 m	Minimum	0.0000 m
Maksimum	0.8556 m	Maksimum	0.3378 m
Ortalama	0.4569 m	Ortalama	0.1962 m
Ortanca	0.4576 m	Ortanca	0.2256 m
Standart Sapma	0.2499 m	Standart Sapma	0.0949 m
Aralık	0.8556 m	Aralık	0.3378 m



Şekil 5. 17 Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar

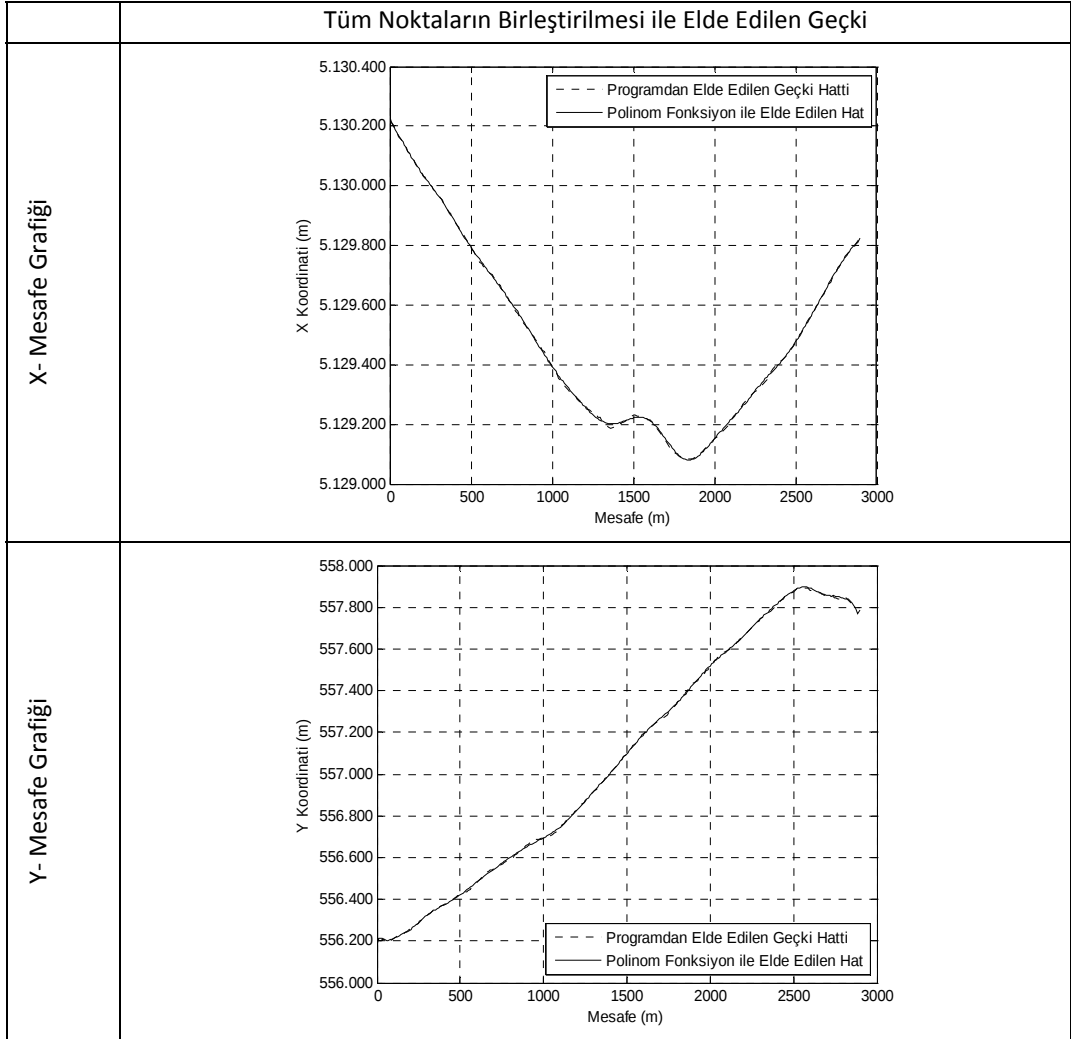


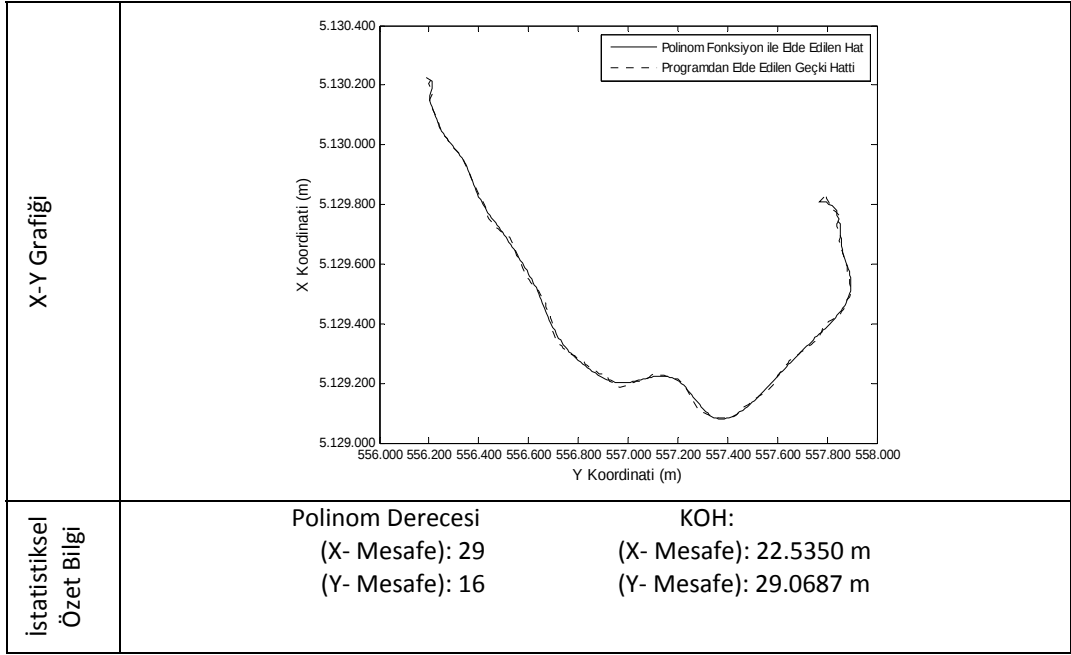
Şekil 5. 18 Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ile elde edilen 1. geçki hattı plan gösterimi

Elde edilen geçki hatları (Şekil 5.18), bir önceki alt bölümde olduğu gibi düzeyde istenen sabit eğim koşulunu sağlamasına rağmen, yatay hat üzerinde çok sayıda kırıklı çizgiden oluşmaktadır. Önerilen Enkesitler Boyunca Arama yaklaşımında, her bir enkesit

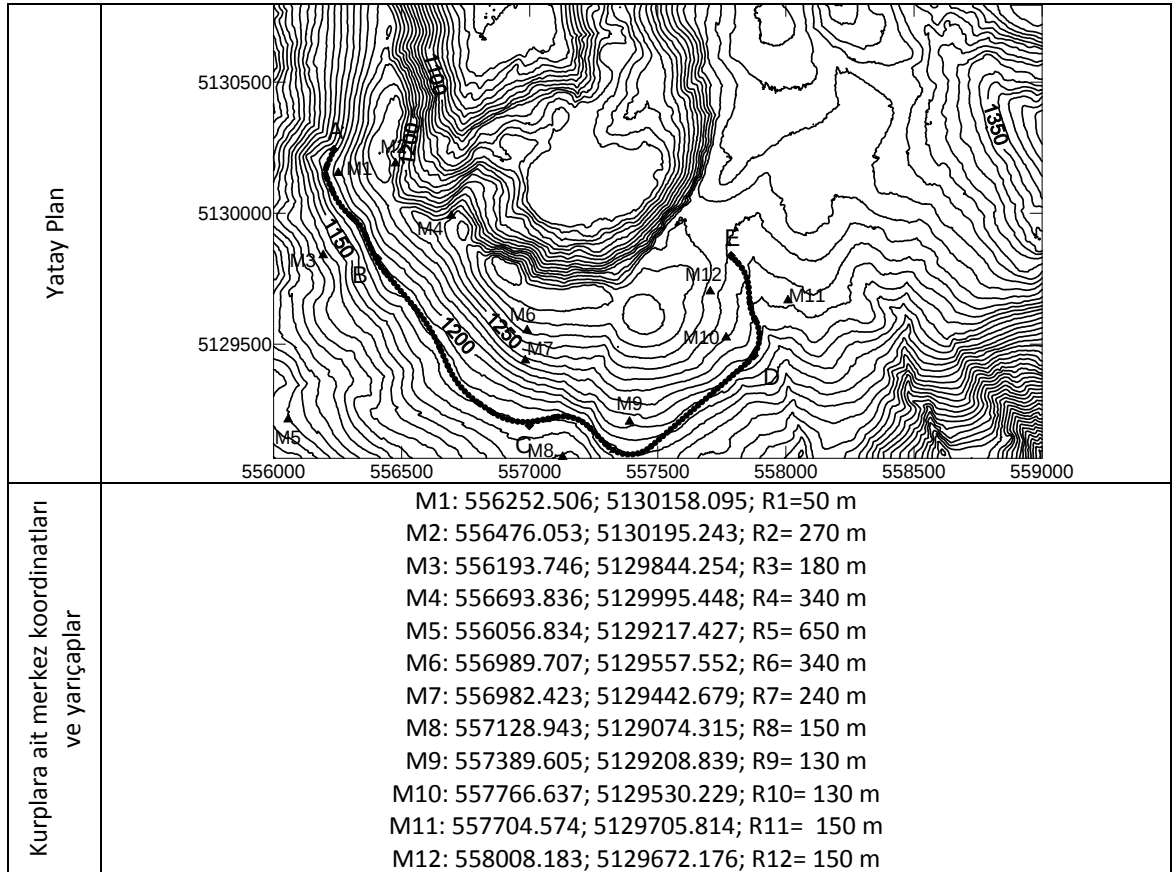
sağa ve sola dik bir doğrultu boyunca çalışma alanının sınırlarına kadar tanımlanmış ve oluşturulan bu enkesitler üzerinde her bir enkesit eksen kotuna ait eşyükseklik eğrileri çizdirilmiştir. Sonuç olarak, ilk önerilen yöntemle benzer yapıda süreksiz bir hat oluşmaktadır. Bu problemin giderilmesi için önerilen bir dizi işlem burada da uygulanmıştır. Bu uygulamada seçilen polinom derecesi üst sınırı 30 olarak belirlenmiştir.

Hesaplanan değerler ve polinomlara ait grafiksel gösterimler Şekil 5.19’ da gösterilmiştir. Buna göre, X ve Y değerleri ile mesafe arasında kurulan fonksiyon sonucunda elde edilen polinom derecesi sırasıyla 29 ve 16, KOH değerleri ise yine sırasıyla ve 22.5350 m ve 29.0687 m’ dir. Tüm geçkiler için hesaplanan proje değerlerine göre oluşturulan geçki Şekil 5.20’ de gösterilmiştir.





Şekil 5. 19 Enkesitler boyunca arama yaklaşımında 1. geçki hattına ait polinom fonksiyon uygulaması

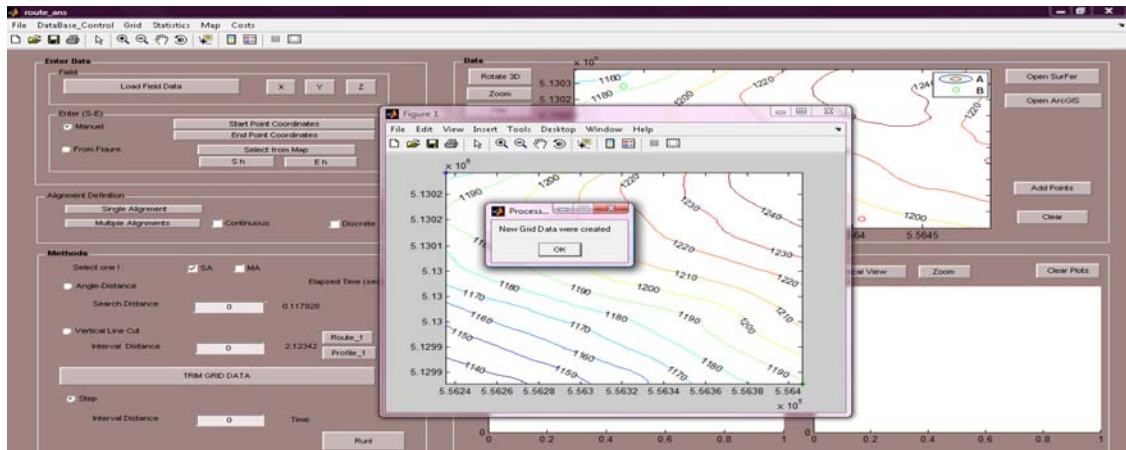


Şekil 5. 20 Enkesitler boyunca arama yaklaşımında elde edilen geçkinin yatay planı

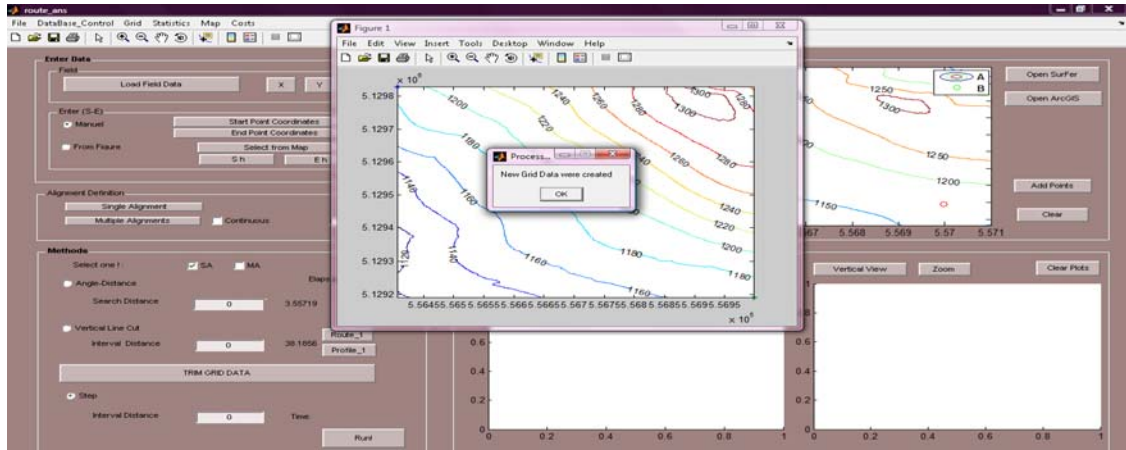
Çalışmanın bu aşamasında, yatay planı oluşturulan hattın boykesit grafiği çizdirilmiştir. Bu noktada, yatay plana ait kırmızı çizginin geçirilmesi için eğri kısımlar için yarıçap kestirimi uygulanmış ve elde edilen kırmızı kot ve siyah kot değişimleri Ek-D’ de gösterilmiştir. Son olarak, elde edilen geçkiler için farklı platform genişlikleri kullanılarak kazı dolgu hacimleri hesaplanmıştır (Ek-D). Enkesitler boyunca arama yaklaşımında, tanımlanan tüm geçkiler için çözüm üretildiğinden, hesaplanan değerler A ve E noktaları arasında tanımlanan geçkiler için geçerlidir. Enkesitler boyunca arama yaklaşımında, yükseklik farklarına ait standart sapma değerlerinin düşük olmasına rağmen düşey için uygulanan kırmızı kot geçirme işlemi sonucunda, hacimler tablosunda dolgu fazlası oluşmuştur.

5.4 Basamak Yöntemi Yaklaşımının Test Edilmesi

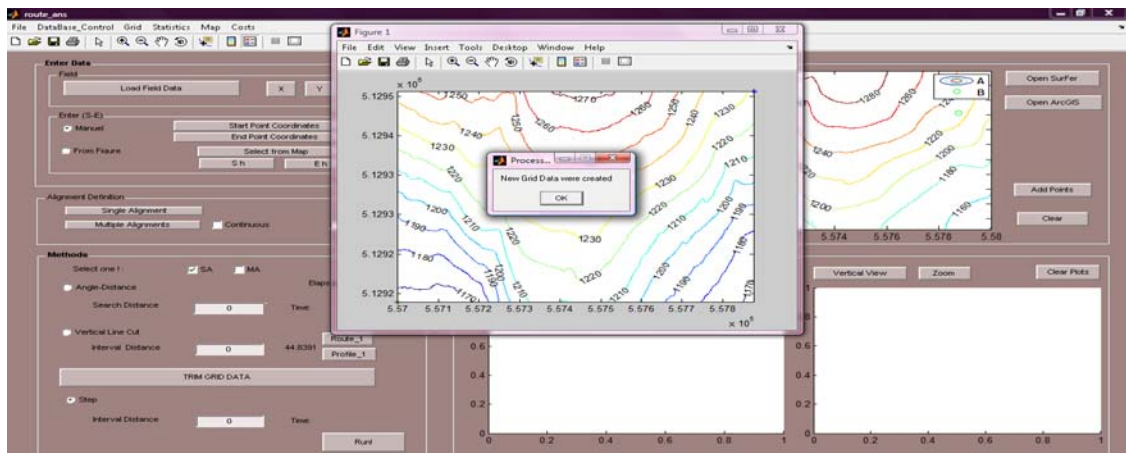
Basamak yöntemi yaklaşımının test edilmesi için çalışma, verilen başlangıç ve bitiş noktalarının sınırladığı yeni bir veri setinin tanımlanmasını gerektirmektedir. Bunun için, tasarlanan program üzerinden arazi verisi ile geçki noktalarının koordinat verileri girilerek, önerilen yöntemlerin test edilmesi panelinde “Trim Data” sekmesinin seçilmiştir. Şekil 5.21, 5.22, 5.23 ve 5.24’ de, bu sekmenin seçilmesi ile oluşturulan yeni veri setine ait eşyükseklik eğrili harita, bilgi mesajı ile birlikte gösterilmiştir.



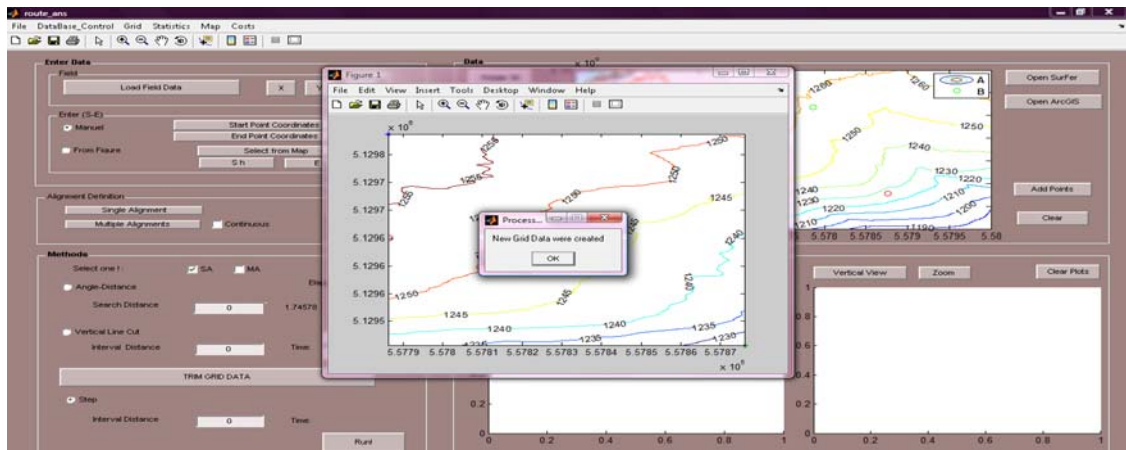
Şekil 5. 21 A-B geçkisine ait sınırlandırılmış alan



Şekil 5. 22 B-C geçişine ait sınırlandırılmış alan



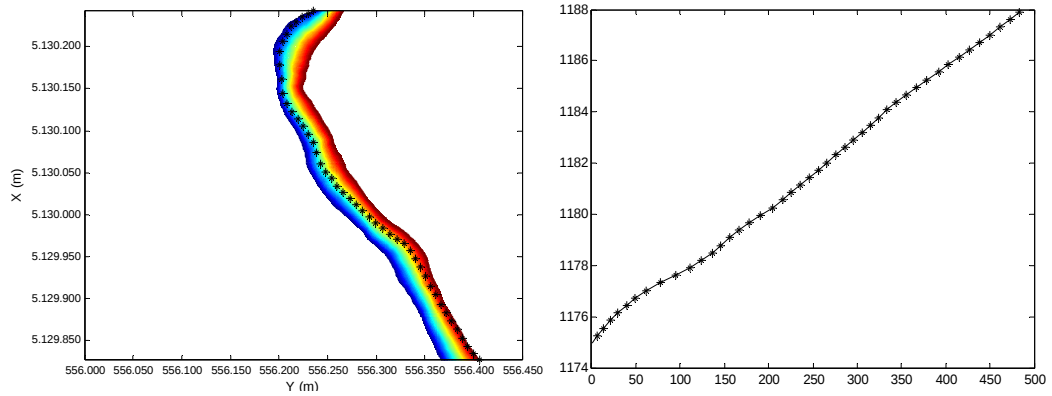
Şekil 5. 23 C-D geçişine ait sınırlandırılmış alan



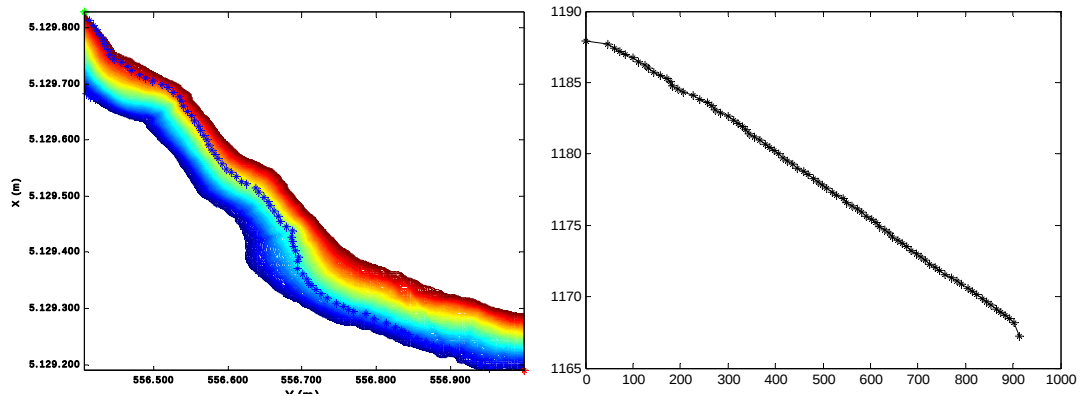
Şekil 5. 24 D-E geçişine ait sınırlandırılmış alan

Şekil 5.21, 5.22, 5.23 ve 5.24' de sunulan A-B, B-C, C-D ve D-E geçkilere ait sınırlandırılmış alanlar için oluşturulan eşyükseklik eğrili haritalara bakıldığında, A-B ve C-D sınırlandırılmış alanları için, Basamak yöntemi yaklaşımında tanımlanan artık eğri

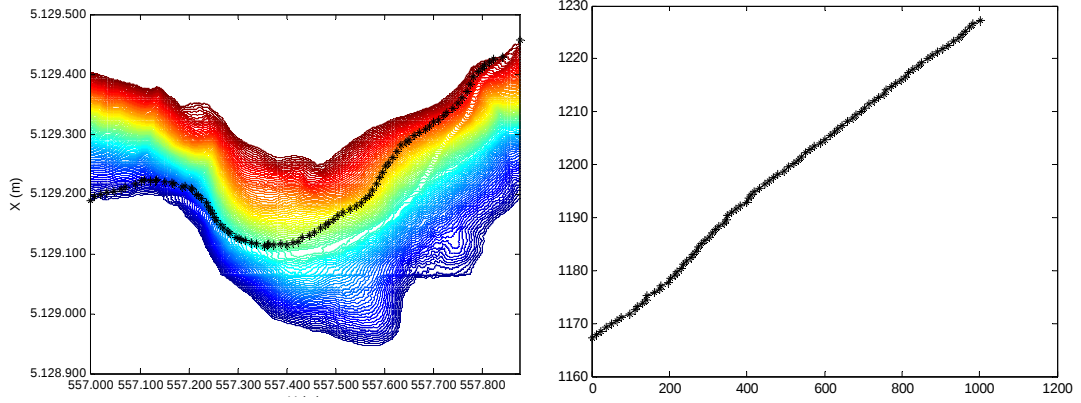
oluşumunun olduğu görülmektedir. Böyle bir durumda, hesaplama için kullanılacak eğri uzunlukları kısaltmakta ve program kesişim yapacağı eğri üzerinde yeterli mesafeyi bulamadığından dolayı sonuç üretememektedir. D-E geçkisine ait sınırlandırılmış alanda ise bu özellikten farklı olarak, kısa eğri uzunlukları verilen iki nokta doğrultusunda dik kesişimler meydana getirmektedir. A-B ve C-D geçkilerini kapsayan alanlarda meydana gelen bu sakıncanın giderilmesi için, veri aralığı genişletilerek, eşyükseklik eğrilerinin bölünmesi ve kesilmesi engellenmiştir. Şekil 5.25, 5.26 ve 5.27' de Basamak yöntemi yaklaşımının uygulanması ile elde edilen yatay geçki noktaları ve noktalara ait profiller gösterilmiştir. D-E geçkisine ait bölgenin topografik özelliğinden dolayı Basamak yöntemi yaklaşımı sonuç üretmekte yetersiz kalmıştır.



Şekil 5. 25 Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen A-B geçkisi



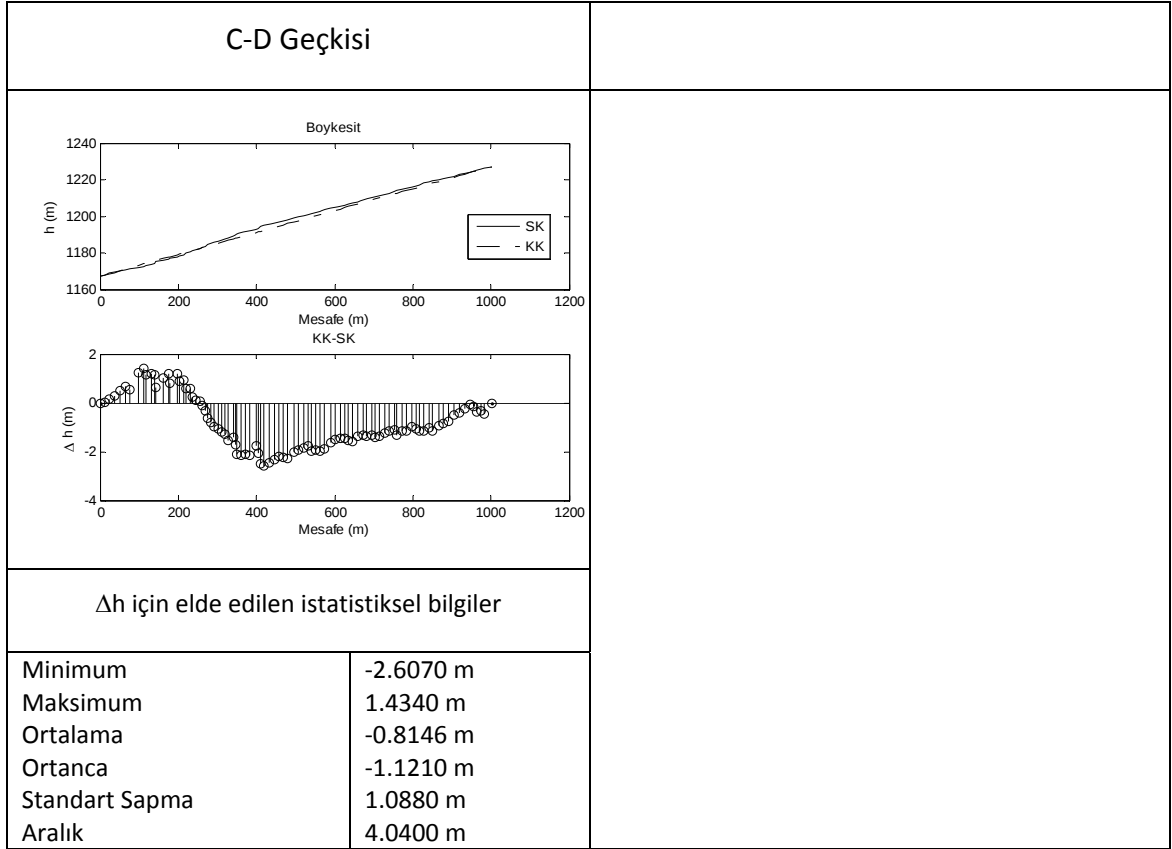
Şekil 5. 26 Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen B-C geçkisi



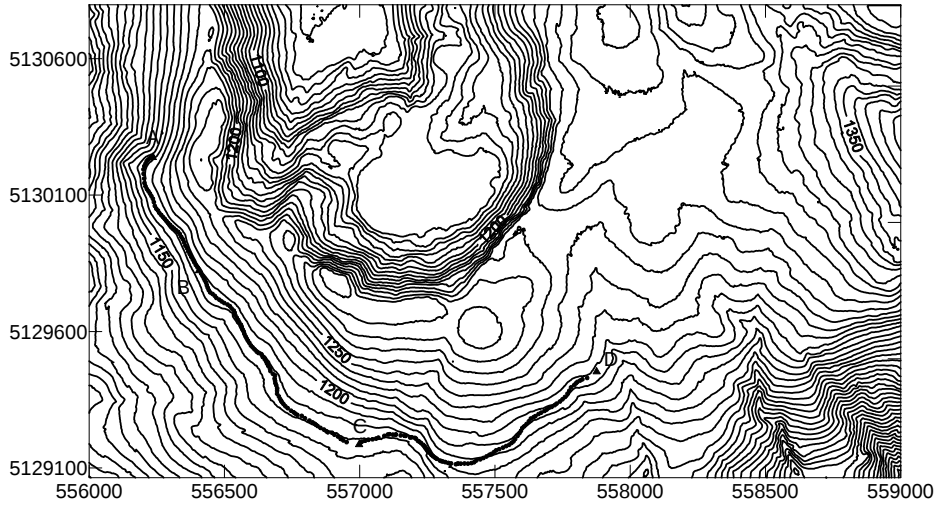
Şekil 5. 27 Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen C-D geçkisi

Şekil 5.28' de yaklaşım ile elde edilen sonuçların öngörülen değerlere göre hesaplanan istatistiksel değerleri sunulmuş ve Şekil 5.29' da yaklaşımdan elde edilen geçki ara noktalarının yatay koordinatları verilmiştir. Elde edilen üç geçki hattına ait yatay koordinat değerleri ile polinom uydurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Polinom üst sınır derecesi 30 olarak alınmıştır. Hesaplanan değerler ve polinomlara ait grafiksel gösterimler Şekil 5.30' da gösterilmiştir. Buna göre, X ve Y değerleri ile mesafe arasında kurulan fonksiyon sonucunda elde edilen polinom derecesi sırasıyla 30 ve 27, KOH değerleri ise yine sırasıyla ve 14.0137 m ve 19.2232 m olarak hesaplanmıştır.

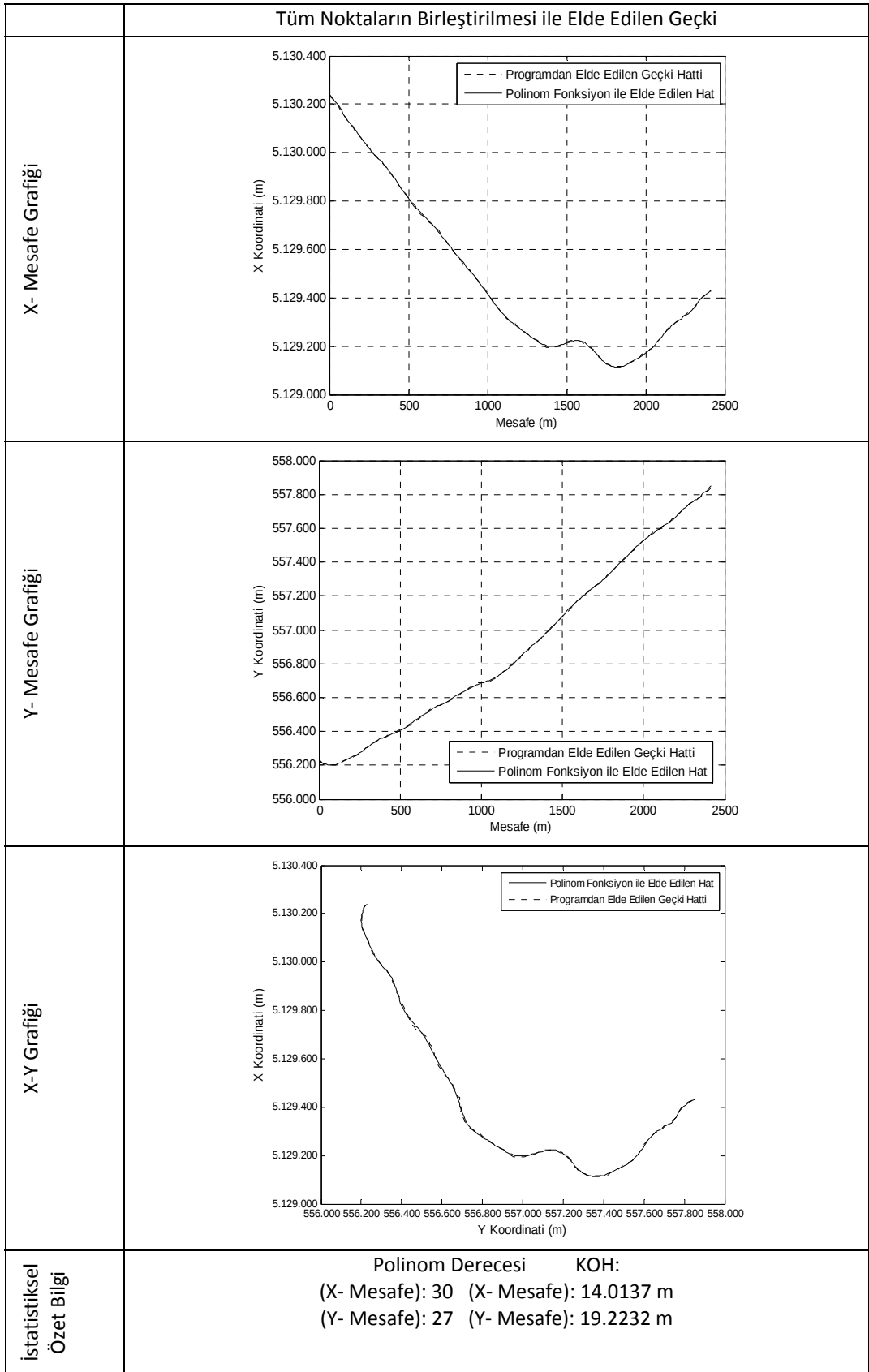
A-B Geçkisi		B-C Geçkisi	
Δh için elde edilen istatistiksel bilgiler		Δh için elde edilen istatistiksel bilgiler	
Minimum	-0.4650 m	Minimum	0.0000 m
Maksimum	0.1160 m	Maksimum	0.8143 m
Ortalama	-0.1438 m	Ortalama	0.3647 m
Ortanca	-0.1700 m	Ortanca	0.3763 m
Standart Sapma	0.1600 m	Standart Sapma	0.2246 m
Aralık	0.5810 m	Aralık	0.8143 m



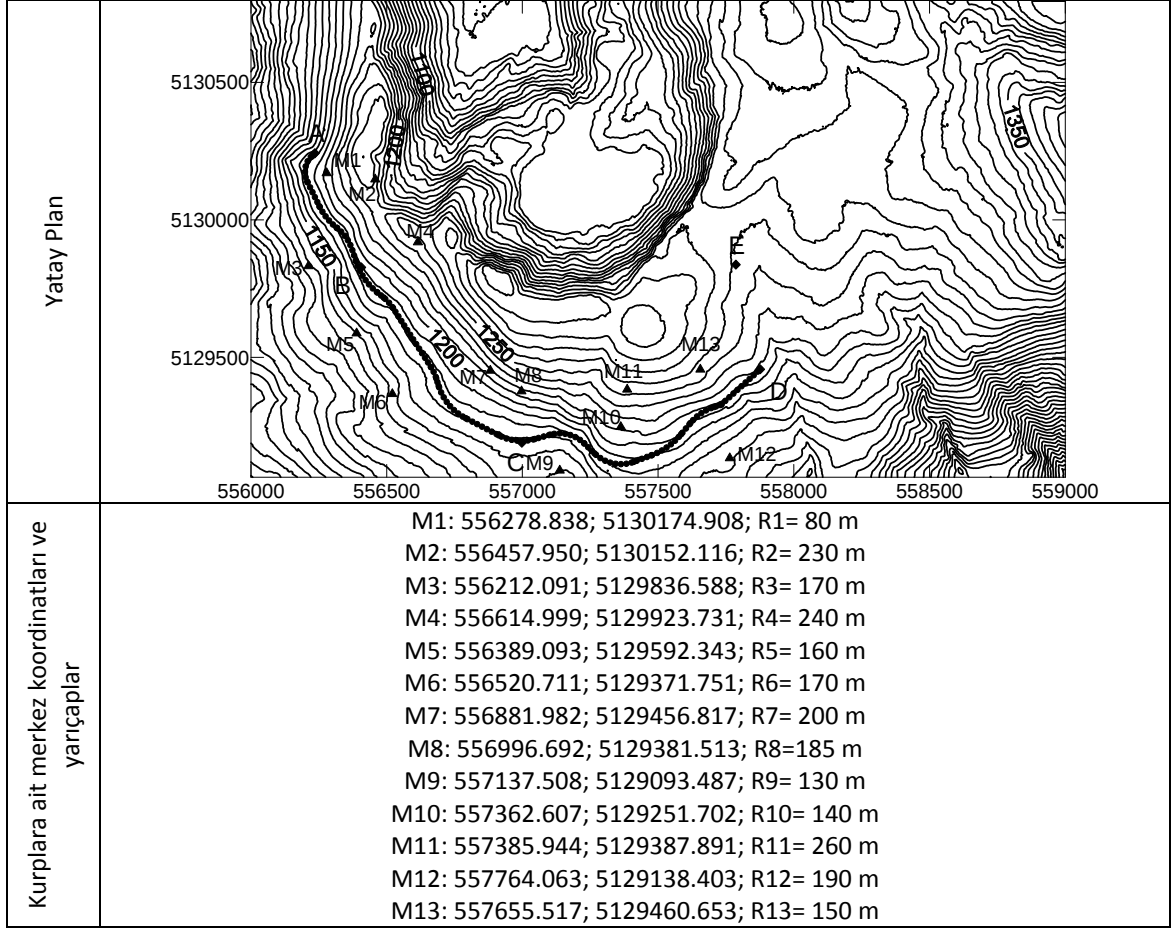
Şekil 5. 28 Yaklaşımın uygulanması sonucu elde edilen geçki noktalarının kırmızı kot (KK) ve siyah kot (SK) değerleri arasındaki farklar



Şekil 5. 29 Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edilen 1. geçki hattı plan gösterimi



Şekil 5. 30 Basamak yöntemi yaklaşımında 1. geçki hattına ait polinom fonksiyon uygulaması



Şekil 5. 31 Basamak yöntemi yaklaşımında elde edilen geçkinin yatay planı

Şekil 5.31’ de kestirilen proje değerlerine göre oluşturulan geçki sunulmuştur. Çalışmanın bu aşamasında, yatay planı oluşturulan hattın boykesit grafiği çizdirilerek yatay plana ait kırmızı çizginin geçirilmesi işlemi uygulanmıştır (Ek-F).

5.5 Önerilen Yaklaşımların Performans Değerlendirmesi

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde farklı arazi yapısına sahip çalışma bölgelerindeki geçki yapılarına dayalı olarak önerilen yöntemlerin birbirlerine göre üstünlük ve zayıflık içeren yönleri tespit edilmiştir. Buna göre, yöntemlerin KOH’ lar dikkate alındığında farklı arazi topografyasında kullanılabilirlikleri belirlenmiştir. Aşağıda, değerlendirme yazılımından elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve yöntemlerin hangi arazi yapısında kullanılabilir özelliklere sahip oldukları incelenmiştir.

- Tez çalışmasında önerilen ilk yöntem, Açı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımıdır. Yöntem, iteratif bir arama süreci ile geçki ara noktalarının öngörülen arama aralığı ile bulunmasını amaçlamaktadır. Yöntemin genelleştirilmesinde, sabit

olarak alınan geçki son noktası ile hesaplanan geçki ara noktalarının yatay koordinat farkları ve buna bağlı olarak hesaplanan açıklık açıları uygun eğim değeri dikkate alınarak kullanılmıştır. Yöntem, dalgalı arazi tiplerinde ve doğrusal eğim değişimine sahip bölgelerde, bulunan geçki noktalarının yükseklikleri ile öngörülen eğim değerine ait yükseklik değerleri arasındaki farklar incelendiğinde hassas sonuçlar üretmektedir. Tanımlanan bu yapıya B-C geçkisi örnek olarak verilebilir. B-C geçkisi için, bulunan yükseklik değeri ile hesaplanan yükseklik değeri arasındaki farkların aralık değeri 0.6768 m ve standart sapması 0.1781 m olarak bulunmuştur. Bunun yanında, yöntemde önerilen yapının tüm arazi tiplerinde uygulanabilirliğinin sağlanması için yapılan genelleştirme, arazide dönüşün yařandėı kesimlerde arama çemberi sınırlarının zorlanmasına neden olmakta ve bu çemberin sınır noktalarında geçki ara noktaları üretilmektedir. Bu tanıma örnek olarak A-B geçkisi ve C-D gekisinde oluşan durum verilebilir. A-B gekisinde, açıklık açısı 2. bölge ve $\Delta x > \Delta y$ için oluşan ilk durumda, arama çemberi tanımlanan bölgede oluşturulmasına rağmen, arazide dönüş meydana geldiğinden uygun eğim değeri 3. bölgede bulunmaktadır. Sonuçta, uygun geçki ara noktaları arama çemberinin sınırlarında oluşmaktadır. Buna bağlı olarak, A-B gekisinde yükseklik farklarına ait aralık değer 17.7100 m ve standart sapması 4.7190 m olarak hesaplanmıştır. Bu duruma benzer bir yapı, C-D gekisinde de oluşmuştur. C-D gekisinde, açıklık açısı 4. bölge ve $\Delta y > \Delta x$ için oluşan durumda, arama çemberi tanımlanan bölgede oluşturulmasına rağmen, arazide dönüş meydana geldiğinden uygun eğim değeri 3. bölgede bulunmaktadır. Sonuçta, uygun geçki ara noktaları arama çemberinin tanımlandėı alan içinde veya bu çemberin sınırlarında oluşmaktadır. Buna bağlı olarak, C-D gekisinde yükseklik farklarına ait aralık değer 28.7000 m ve standart sapması 8.1760 m olarak hesaplanmıştır. Her aday arama noktasında, öngörülen eğim değeri farklarının minimum olması koşulundan dolayı çözüm üretilmesine rağmen belirtilen arazi yapısına sahip alanlarda düşeyde ondülasyonların meydana gelmesi kaçınılmaz olmaktadır. Sonuç olarak, Aı ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı, arazi yapısının ani değişti bölgelerde yerel optimum noktalarını yakalayarak, istenen çözümleri üretmekte yetersiz kalmakta, ancak bu bölgelerin dışındaki alanlarda yüksek çözünürlüklü arazi verisinin kullanılması ile arama

aralığına bağlı olarak standart sapması düşük hassas sonuçlar üretmektedir. Daha önce de değinildiği gibi, burada kullanılan arazi türünün düzgün dağılımlı olması da önemli bir etkidir.

- Tez çalışmasında önerilen ikinci yöntem, Enkesitler boyunca arama yaklaşımıdır. Enkesitler boyunca arama yaklaşımı, genel olarak düz, dalgalı ve dağlık arazilerde noktalar arasındaki kot farkına bağlı olarak uygun sonuçlar vermektedir. Ancak, hatta ait enkesit noktalarında aynı yükseklik değerine sahip aday çözüm noktalarının olması durumunda noktaları birleştiren doğru parçasına en yakın kesişim noktası geçki ara noktası olarak tespit edilmektedir. Yaklaşımda, çalışma bölgesindeki veri özelliklerine bağlı olarak yerel optimum noktalarından kaçınılmakta ve hatta bozulmalar meydana gelmemektedir. Genelde, yerel optimum noktalarının yakalanmasından kaçınmak için, çalışma alanının kenar bölgelerinde kalmış geçkiye uzak verilere filtre uygulanması çözüme katkı sağlamaktadır. Yaklaşım, noktalar arasındaki yükseklik farkına göre oluşturulan eşyükseklik eğrileri arasındaki uygun ara noktaları bulmaya çalıştığı için, yatay hat uzunluğu diğer yöntemlere göre uzamasına rağmen, düşeyde istenen eğim değeri yakalanmaktadır. Önerilen yaklaşım, farklı arazi verilerinde ve farklı geçki yapılarında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara örnek olarak A-B, B-C, C-D ve D-E geçkileri için, geçki noktalarının yükseklik farklarındaki aralık değer ve standart sapma değerleri; 0.8556 m ve 0.2499 m, 0.3378 m ve 0.0949 m, 4.5200 m ve 1.3420 m, 1.4200 m ve 0.3904 m olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlar, Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımına nazaran, daha düşük standart sapma değerine sahiptir. Buradaki, temel ayrım, ilk yöntemin grid bazlı olarak sınırlı alanlarda çalışması ve yerel optimumları yakalamasıdır. Bu yöntem ise eşyükseklik eğrisi bazlı ve yerel optimumlardan kaçınmaktadır. Bu yöntem için elde edilen sonuçlara da, ilk yöntem için verilen aşamalar uygulanmıştır.
- Çalışmada önerilen son yöntem ise Basamak yöntemi yaklaşımıdır. Önerilen yöntemeye dayalı geçki araştırma yaklaşımında, birbirini takip eden eşyükseklik eğrileri arasında doğrusal olarak kurulan ilişkiye bağlı olarak, çalışma bölgesinin sınırladığı alan içerisinde yatay geçki noktalarının eğriler üzerindeki kesişim yerlerinin bulunması amaçlanmıştır. Bu yaklaşımda verilen başlangıç ve bitiş

noktalarının sınırladığı alandan daha geniş bir çalışma alanına ihtiyaç vardır. Bu sayede, tekrar eden veya dönen aynı yükseklik değerine sahip eğrilerin çalışma alanının içine girmesi engellenmektedir. Aksi halde, yazılım tekrar eden bir döngüye girmekte ve düşey geçki için doğru değeri yakalamasına rağmen, yatay geçki üzerinde bozulmalar meydana getirmektedir. Yöntemin dezavantajı ise aynı yükseklik değerine ve dönen eğri yapısına sahip arazi yüzeylerinde sonuç üretememesidir. Bu gibi durumlarda, eğer aynı kot değerine sahip eşyükseklik eğrisi artık eğri olarak oluşuyorsa, sınırlanan alanın genişletilmesi ile eğrilerin tamamlanması gerekmektedir. Test için kullanılan 1. geçki hattı yukarıda açıklanan sınırlandırılmış alanlarda oluşabilecek durumlara örnek olarak incelendiğinde, Şekil 5.21 ve Şekil 5.23' de yaklaşımın çalışması için engel teşkil eden eğri kesilmelerinin yaşandığı, Şekil 5.22' de ise istenilen veri setinin oluştuğu görülmektedir. Şekil 5.24' de D-E geçkisi için elde edilen eşyükseklik eğrili modelde kısa ve hatta dik oluşan eğri yapısından dolayı yazılım sonuç üretememiştir. Şekil 5.21 ve Şekil 5.23' de oluşan durumun giderilmesi için çalışma alanı genişletilerek eşyükseklik eğrilerinde süreklilik sağlanmıştır. Yazılımda kullanılacak veri setleri hazırlandıktan sonra, yaklaşımın uygulanması ile elde edilen yatay plan ve boykesit için sonuçlar, A-B, B-C, C-D geçkileri için sırasıyla Şekil 5.25, Şekil 5.26 ve Şekil 5.27' de gösterilmiştir. Yaklaşım, Enkesitler boyunca arama yaklaşımında olduğu gibi eğri bazlı çalıştığı için, yükseklik farkları için yapılan standart sapma hesabında da görüldüğü gibi hassas sonuçlar üretmiştir. Şekil 5.28' de, sırası ile A-B, B-C ve C-D geçkileri için elde edilen sonuçlarda, geçki noktalarının yükseklik farkları için elde edilen aralık değer ve standart sapma değerleri; 0.5810 m ve 0.1600 m, 0.8143 m ve 0.2246 m, 4.0400 m ve 1.0880 m olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlar, diğer iki yöntem ile karşılaştırıldığında A-B ve B-C geçkileri için en düşük standart sapma değerlerinin Basamak yöntemi yaklaşımı ile elde edildiği görülmüştür. Yöntemin eğri bazlı çalışması ve programa girilecek verinin filtrelenmesi ile yerel optimumlardan kaçınılması bu sonuçların elde edilmesindeki temel nedenlerdir.

Önerilen yaklaşımlar ürettikleri sonuçlara bağlı olarak performansları bakımından incelendiğinde, sürekli ve düzgün yapıdaki yüksek çözünürlüklü arazi verisi kullanarak, Enkesitler boyunca arama yaklaşımının topografik olarak düzensiz arazilerde bile diğer

yöntemlere göre iyi sonuçlar üretebildiği görülmüştür. Önerilen 3. yaklaşım olan Basamak yöntemi yaklaşımı ise tüm çalışma alanından kesilerek alınan yeni arazi verisi ile çalışmaktadır. Eğer, istenen eğri yapısı sınırlandırılmış alanlarda sağlanamazsa, alanın genişletilmesi gerekmektedir. Genişletme için yeterli verinin olmaması durumunda, yaklaşım sonuç üretememektedir. Yapılan çalışmalarda en düşük standart sapma değerlerinin bu yöntem ile bulunduğu görülmüştür. Ancak, yöntemin uygulanabilmesi için oluşabilecek veri eksikliği sıkıntısının olmaması gerekmektedir. İlk yöntem olan Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımı ise, grid bazlı çalışan bir yöntem olup, sürekli ve düzgün dağılımlı yükseklik eğrilerinin olduğu alanlarda iyi sonuçlar vermektedir. Yaklaşım, iteratif bir arama sürecinde çözüm ürettiği için, arazi verisinin kalitesi ve arazinin topografyası sonuçların hassasiyetini diğer yöntemlere nazaran daha fazla etkilemekte ve yerel optimumları yakalamaktadır. Bu gibi durumlarda, farklı topografik özelliklere sahip geçki alanlarında, belirtilen üstünlük ve zayıflıkları içeren yöntemlerin entegreli veya birbirlerinin yerine kullanılmaları uygun sonuçlar oluşmasını sağlamaktadır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç ve öneriler bölümünde, farklı yol yazılım programlarının değerlendirilmesi ve bu çalışmanın mevcut yazılımlardan farklılıkların tespiti, tez çalışması kapsamında değerlendirilen yaklaşımların üstün ve zayıf yönleri ve son olarak da gelecek çalışmalarda neler yapılabileceğine değinilmiştir. Elde edilen değerlendirme sonuçları maddeler halinde aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- Açık ve uzunluk ile gridlerde arama yaklaşımının dalgalı ve sabit eğim değişimine sahip düz arazi kesimlerinde uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu yöntemin avantajı ise, hat üzerinde geri dönüşlerin oluşmamasıdır. Bunun yanı sıra dezavantaj olarak ise iteratif aramanın global çözüm noktalarını bulmada zorlanması, çoklu yerel optimum noktalarını yakalayabilmesi, elde edilen geçkinin süreksiz yapıda olması ve geçki olarak sunumu için bir dizi işlem gerektirmesi sıralanabilir.
- Enkesitler boyunca arama yaklaşımı ise algoritmanın özelliğinden dolayı düz ve dalgalı arazi kesimlerinde istenen sonuçları ürettiği görülmüştür. Arama algoritmasının hat üzerinde geri dönüş oluşmasına izin vermeyen bir yapıda tasarlanmış olması, geniş arama alanı nedeniyle global optimum noktalarının yakalanması yöntemin temel avantajlarıdır. Bunun yanı sıra, elde edilen geçkinin süreksiz yapıda olması, geçki olarak sunumu için bir dizi işlem gerektirmesi ise yöntemin dezavantajlarını meydana getirmektedir.
- Basamak yöntemi, düz, dalgalı ve dağlık arazilerde kabul edilebilir ve uygun sonuçlar üretmektedir. Ancak, algoritmanın çalışması için kullanılacak arazi verisinin eşyükseklik eğrileri ile temsilde eğri yapılarının düzgün ve kesintisiz olması

gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için ise, eğer kesikli yapıda yükseklik eğrisi oluşmuşsa veri setinin filtrelenmesi sureti ile istenen veri yapısında hazırlanması gerekmektedir. Diğer yöntemlerde de var olan ortak avantaj, hat üzerinde geri dönüşlerin oluşmaması bu yöntemde de görülmektedir. Aynı zamanda, arama için kısıtlayıcı etkenlerin olmaması geniş arama alanı oluşturmakta ve bu da global optimum noktalarının yakalanmasını sağlamaktadır. Ancak, elde edilen geçkinin süreksiz yapıda olması ve geçki olarak sunumu için bir dizi işlem gerektirmesi bu yöntem için de dezavantaj oluşturmaktadır.

- Sonuç olarak, tüm yaklaşımlar basit arama algoritmalarına sahiptirler. Aynı zamanda, çalışma zamanını kısaltmak ve kullanıcı etkileşimli hale getirmek için bir değerlendirme yazılımı geliştirilerek, program arayüzü kullanılmıştır.
- Geçki araştırması çalışmalarında, verilen başlangıç ve bitiş noktaları ile bu noktaların oluşturacağı geçki hattının geçebileceği çalışma bölgesi içindeki araziye ait sözel ve grafik veriler arasındaki ilişki göz önüne alınmaktadır. Günümüzde, geçki planlama çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla pek çok ticari ve bilimsel yazılımın geliştirilme çalışması yapılmaktadır. Alternatif yaklaşımlar, bu yazılımlardan geniş kullanım alanı bulan iki farklı yazılım için değerlendirilmiştir. Bunların içinde, uluslar arası platformda geçerliliği olan AutoCad Civil 3D ve ulusal anlamda Netcad gibi ticari kara ulaştırması yol yazılımları, mevcut programlarına ekledikleri farklı modüller ile kullanıcı sorunlarına bu yönde çözüm üretmeye çalışmaktadırlar. Netcad programı, koridor analizi adı altında geçki arama modülü hazırlamıştır. Netcad Koridor analizi, kot, yanal eğim gibi temel kriterler ile yasak alanlar, kamu alanları, tarımsal alanlar gibi farklı kriterler göz önüne alınarak iki nokta arasındaki en uygun bir ya da birden fazla geçkiyi bulmayı hedefleyen bir modüldür. Lineer programla kullanılarak, iteratif bir arama algoritmasına sahiptir. Seçim kriteri olarak verilerin ağırlıklı değerlerini kullanarak başlangıç noktasından bitiş noktasına ulaşmayı hedeflemektedir. Ağırlıkların değiştirilmesi halinde farklı geçki alternatifleri yaratılabilmektedir. Bu yazılımın çalışması için TIN veri yapısında SYM'ye ihtiyaç duyulmaktadır. Yazılımda arama başlangıç kriteri olarak eğim koşulu kullanılarak, öğrenmeli-iteratif arama yapılmaktadır. Ancak, bu tez kapsamında önerilen yaklaşımlardaki gibi eğim koşulunun benzer bir yapısının kullanılmasına

rağmen, başlangıç seçim kriteri belirsiz bir yapıda seçim yapmaktadır. Öğrenmeye başlanılacak öncül bir bilgi bulunmamakta, bunun yerine ağırlık modeli üzerinden seçim yapılmakta ve yazılım en kısa yol problemi olarak çözülmektedir. Bunun yanı sıra, AutoCad Civil 3D yazılımı, en iyi uyan geçki modülünü kullanmaktadır. Ancak, bu modülün çalışabilmesi için kırıklı çizgilerden oluşan bir sıfır poligonuna ya da tahmini bir geçki hattına ihtiyaç vardır. Bu hattın yazılım tarafından tanınmasından sonra, hat üzerinde plan oluşturulmakta, eğrisel ve doğrusal kısımlar otomatik olarak hesaplanmaktadır. Bu modül, geçki ara noktaları yaratmamakta, sadece belirtilen hat üzerinde plan çalışması yapmaktadır.

Yukarıda belirtilen hususlara ek olarak, yapılan çalışmaların geliştirilmesi amacıyla önerilen yaklaşımlara öneriler sunulmuştur. Bunlar aşağıdaki belirtilmiştir.

- Geçki ara nokta tespitinde kullanılan eğim kriterinin yanı sıra farklı kısıtların eklenmesi ile daha fazla seçenek göz önüne alınabilir. Yazılım, arazi verisinin topografik özelliklerini kullanmaktadır. Ancak, bu verinin yanı sıra geoteknik özellikler, mülkiyet durumu, kamulaştırma bedeli, kullanım alanlarının özellikleri vb. gibi verilerin de aynı veri formatında yazılıma eklenmesi ve bu özellikler için de koşulların belirtilmesi ile yazılım geliştirilebilir.
- Önerilen yaklaşımlara arama esnasında elde edilen kırıklı noktalardan oluşan geçki hattına kurp yerleştirme işlemi uygulanarak süreksiz geçki yapısı giderilebilir. Çalışmada, kırıklı hat olarak elde edilen noktalara uygulanan polinom uydurma ve kurp kestirimi işlemleri otomatik bir yapı haline getirilerek en uygun proje elemanları hesaplanabilir.
- Yaklaşımların ayrı ayrı değerlendirilmesinin yerine, kullanıcıdan bağımsız olarak, arazi yapısına bağlı ve yöntemlerin karışık olarak kullanılması ile en uygun geçki hattının seçimi otomatik hale getirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Macpherson, G., (1997). Highway & Transportation Engineering & Planning.
- [2] Hickerson, F.T., (1964). Route Location and Design.
- [3] Li, Z., Zhu, Q. ve Gold, C., (2005). Digital Terrain Modeling- Principles and Methodology, CRC Press, Florida
- [4] Gong, J., Li, Z., Sui, H. ve Zhou, Y., (2000). "Effects of various factors on the accuracy of DEM: an intensive experimental investigation", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66, 9: 1113-1117
- [5] Kienzle, S., (2004). "The effect of DEM raster resolution on first order, second order and compound terrain derivatives", Transactions in GIS, 8: 83-111.
- [6] Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J. ve Chandra, S., (2007). "The effect of lidar data density on DEM accuracy", Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07), Christchurch, New Zealand.
- [7] Yayla, N., (2006). Karayolu Mühendisliği.
- [8] Kiper, T., (2002). Karayolu Projesi Temel Bilgileri.
- [9] Jha, M.K., Schonfeld, P.M., Jong, J.C. ve Kim, E., (2006). Intelligent Road Design, WITpress, Southampton, Boston.
- [10] Wan, F.Y.M., (1995). Introduction to Calculus of Variations and its Applications, Chapman & Hall, New York.
- [11] Thomson, N. R. ve Skyes, J. F., (1998). "Route Selection through a Dynamic Ice Field by Using the Maximum Principle", Transportation Research Part B, 5: 339-356
- [12] OECD, (1973). Optimization of Road Alignment by the Use of Computers, Organization of Economic Co-operation and Development, Paris.
- [13] Turner, A. K. ve Miles, R. D., (1971). "A Computer-Assisted Method of Regional Route Location", Highway Research Record 348: 1-15.
- [14] Hogan, J. D., (1973). "Experience with OPTLOC- Optimum Location of Highways by Computer", In PTRC Seminar Proceedings on Cost Models and Optimization in Highways (Session L10), London.
- [15] Nicholson, A. J., Elms, D.G. ve Williman, A., (1976). "A Variation Approach to Optimal Route Location", Highway Engineers, 23: 22-25.

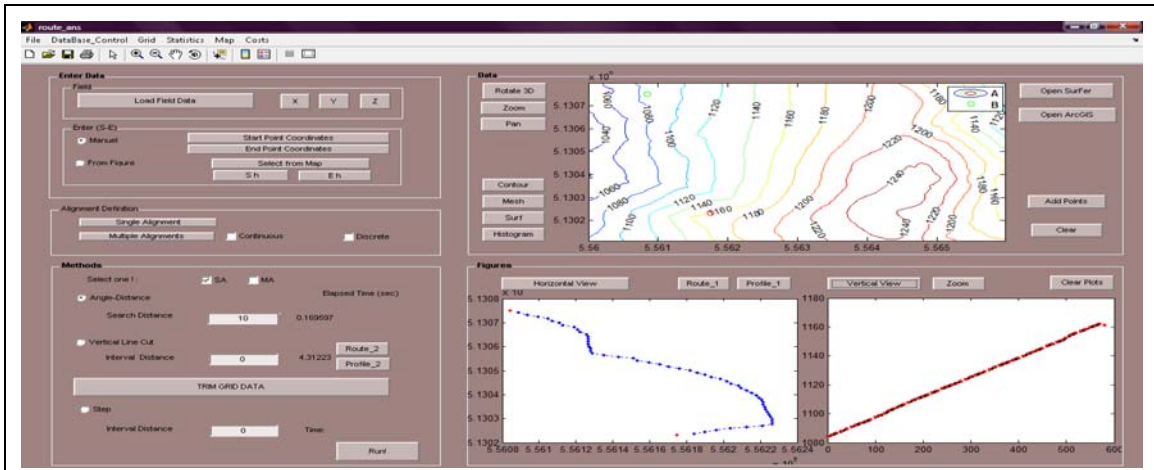
- [16] Trietsch D., (1987). "A Family of Methods for Preliminary Highway Alignment", *Transportation Science*, 21: 17-25.
- [17] Goldberg, D.E., (1989). *Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley. 41
- [18] Bingül, Z., Sekmen, A.S., Palaniappan, S. ve Sabattp, S., (2000). *Genetic Algorithms Applied to Real Time Multiobjective Optimization Problems*, *Proceedings of the 2000 IEEE SoutheastCon Conference*, 95-103.
- [19] Jong, J.C., Jha, M.K. ve Schonfeld, P., (2000). "Preliminary Highway Design with Genetic Algorithms and Geographic Information Systems", *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 15(4): 261-271.
- [20] Easa, S. M., (1988). "Selection of Roadway Grades That Minimize Earthwork Cost by Using Linear Programming", *Transportation Research, Part A*, 22A,2: 121-136.
- [21] Puy Huarte, J., (1973). "OPYGAR: Optimization and Automation Design of Highway Profiles", In *PTRC Seminar Proceedings on cost models and Optimization Highways (Session L13)*, London.
- [22] Winston, W.L., (1994). *Operations Research, Applications and Algorithms*, 3rd Edition, International Thomson Publishing, Boston.
- [23] Murchland, J.D., (1973). "Methods of Vertical Profile Optimization for an Improvement to an Existing Road", In *PTRC Seminar Proceedings on cost models and Optimization Highways (Session L12)*, London.
- [24] ReVelle, C.S., Whitlatch, E.E. ve Wright, J.R., (1997). *Civil and Environmental Systems Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- [25] Chapra, S.C., ve Canale, R.P., (1998). *Numerical Methods for Engineers*, McGraw-Hall, Inc., New York.
- [26] Hayman, R.W., (1970). "Optimization of Vertical Alignment for Highways Through Mathematical Programming", *Highway Research Record*, Highway Research Board, 306:1-9.
- [27] Goh, C.J., Chew, E.P. ve Fwa, T.F., (1988). "Discrete and Continuous Models for computation of Optimal Vertical Alignment", *Transportation Record Part B*, 22B,6: 399-409.
- [28] Fwa, T.F., (1989). "Highway Vertical Alignment Analysis By Dynamic Programming", *Transportation Research Record 1239*, TRB, National research council:1-9, Washington, D.C.
- [29] Pearman, A.D., (1973). "Investigation of the Objective Function in Problems of Optimizing Highway Vertical Alignment", In *PTRC Seminar Proceedings on cost models and Optimization Highways (Session L18)*, London.
- [30] Robinson, R., (1973). "Automatic Design of the Road Vertical Alignment", In *PTRC Seminar Proceedings on cost models and Optimization Highways (Session L19)*, London.

- [31] Goh, C.J., Chew, E.P. ve Fwa, T.F., (1988). "Discrete and Continuous Models for computation of Optimal Vertical Alignment", *Transportation Record Part B*, 22B, 6: 399-409.
- [32] Teo, K.L. ve Goh, C.J., (1987). "Simple Computational Procedure For Optimization Problems With Functional Inequality Constraints", *IEEE Transactions on Automatic Control*, 32: 940-941.
- [33] Goh, C.J. ve Teo, K.L., (1988). "Control Parameterization: A unified approach to optimal control problems with general constraints", *Automatica*, 24: 3-18.
- [34] Parker, N.A., (1977). "Rural Highway Route Corridor Selection", *Transportation Planning and Technology*, 3: 247-256.
- [35] Chew, E.P., Goh, C.J. ve Fwa, T.F., (1989). "Simultaneous Optimization of Horizontal and Vertical Alignments for Highways", *Transportation Research Part B*, 23B: 315-329.
- [36] Jong, J.C. ve Schonfeld, P., (2003). "An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments", *Transportation Research, Part B-Methodological*, 37: 107-128.
- [37] Jha, M.K., (2003). "Criteria-Based Decision Support System for Selecting Highway Alignments", *Journal of Transportation Engineering-ASCE*, 129: 33-41.
- [38] Kim, E., Jha, M.K. ve Son, B., (2004). "Improving the Computational Efficiency of Highway Alignment Optimization Models through a Stepwise Genetic Algorithms Approach", *Transportation Research, Part B*, 39: 339-360.
- [39] Kim, E. ve Jha, M.K., (2004). "Intersection Modeling for Highway Alignment Optimization", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19: 119-129.
- [40] Yıldız, F., (1992). *Sayısal Arazi Modelleri, Ders Notları, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya*.
- [41] Hake, G., (1982). "Kartographie I", Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- [42] Yaşayan, A., (1997). *Fotogrametri-II, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*.
- [43] Wehr, A. ve Lohr, U., (1999). "Airborne Laser Scanning—An Introduction and Overview", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 68–82.
- [44] Southern Mapping Company, <http://www.southernmapping.com/methodology.php>, Alınan Tarih: 09.07.2011
- [45] Ackermann, F., (1999). "Airborne laser scanning—present status and future expectations", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54: 64–67.
- [46] Haala, N. ve Brenner, C., (1999). "Extraction of buildings and trees in urban areas", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 130-137.

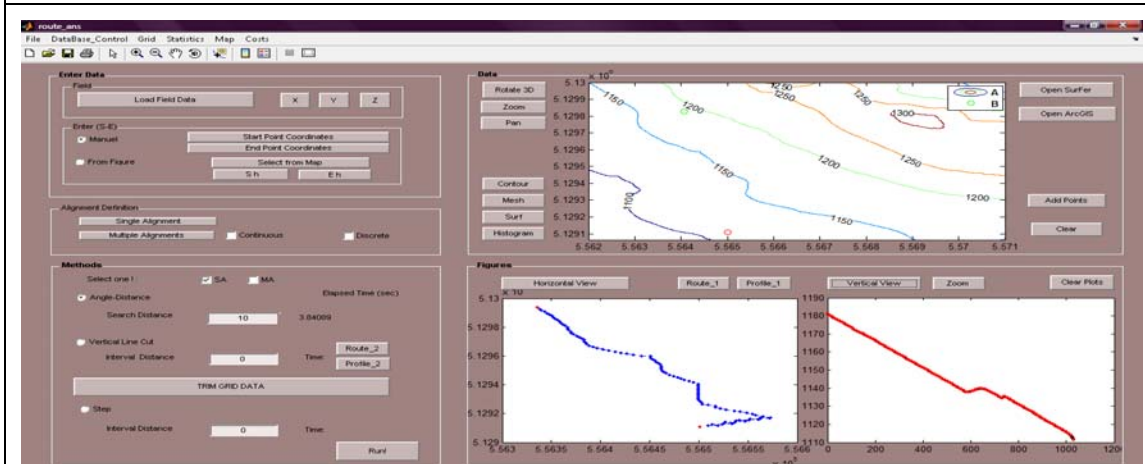
- [47] Soycan, A. ve Soycan M., (2002). "Yol Projelerinde Sayısal Arazi Modellerinin Kullanılması", Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya
- [48] Tunalıoğlu, N., Soycan, M., Gümüş, K. ve Öcalan, T., (2009). "Deriving Appropriate Digital Elevation Model (DEM) from Airborne LIDAR Data and Evaluating the Horizontal Highway Geometry for Transportation Planning", FIG Working Week 2009, Surveyors Key Role in Accelerated Development, Eilat, Israel
- [49] Golden Software, Surfer 8.0, Help Menu
- [50] Soycan, M., Tunalıoğlu, N., Öcalan, T., Soycan, A. ve Gümüş, K., (2011). "Three Dimensional Modeling of Forest Lands by Using Airborne Lidar Method", Arabian Journal for Science and Engineering, 36-4: 581-595.
- [51] Hofierka, J., Cebecauer, T. ve Šúri, M., (2007). "Optimisation of Interpolation Parameters Using a Cross-validation" Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Digital Terrain Modelling: 67-82.
- [52] Soycan, A. ve Soycan, M., (2009). "Digital Elevation Model Production from Scanned Topographic Contour Maps Via Thin Plate Spline Interpolation", The Arabian Journal for Science and Engineering, 34: 1A.
- [53] Gonçalves, G., (2006). "Analysis of Interpolation Errors in Urban Digital Surface Models Created From Lidar Data", In Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources And Environmental Sciences, Lisbon, Portugal.
- [54] Meneses, A.S., Ramírez, F., García, B., Cabrejas, J. ve González-Audícana, M., (2005). "Quality Control in Digital Terrain Models", Journal of Surveying Engineering, 131: 118-124.
- [55] Oksanen, J., (2006). Digital Elevation Model Error in Terrain Analysis, Helsinki University Press, Helsinki.
- [56] Weng, Q., (2002). Quantifying Uncertainty of Digital Elevation Models Derived from Topographic Maps, In: Advances in Spatial Data Handling, Richardson, D., van Oosterom, P., Eds.; Springer-Verlag, New York, USA.
- [57] Sartori, M., Starek, M. ve Slatton, K.C., (2004). "ALSM Data Processing", *GEM Center Report* No. Rep_2004-06-001, Geosensing Engineering and Mapping (GEM) Civil and Coastal Engineering Department, University of Florida.
- [58] Reutebuch, S.E., McGaughey, R.J., Andersen, H.E. ve Carson, W.W., (2003). "Accuracy of a High-Resolution Lidar Terrain Model Under a Conifer Forest Canopy", Canadian Journal of Remote Sensing 29: 527-535.
- [59] Kraus, K. ve Pfeiffer, N., (2001). "Advanced DTM Generation from Lidar Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 34, Annapolis, Maryland, USA.
- [60] Soycan, M. ve Soycan, A., (2003). "Surface Modeling For GPS-Levelling Geoid Determination", Bulletin of International Geoid Service-Newton's Bulletin, 1: 41-52.

- [61] Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J. ve Chandra, S., (2007). "Lidar-Derived High Quality Ground Control Information and DEM for Image Orthorectification", *Journal of Geoinformatica*, 11: 37-53.
- [62] Liu, X. ve Zhang, Z., (2008). "Lidar Data Reduction for Efficient and High Quality Dem Generation", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII, B3b.
- [63] McCullagh, M.J., (1988). "Terrain and surface modelling systems: theory and practice", *Photogrammetric Record*, 12: 747- 779.
- [64] Aggett, G., (2005). "Airborne Laser Mapping with Lidar for Dummies", *GIS for Local Government Conference*.
- [65] Behan, A., (2000). "On The Matching Accuracy of Rasterised Scanning Laser Altimeter Data", In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXIII, 3A: 548 - 555 Amsterdam, The Netherlands.
- [66] Hu, Y., (2003). "Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data", <http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html> (30.04. 2008)

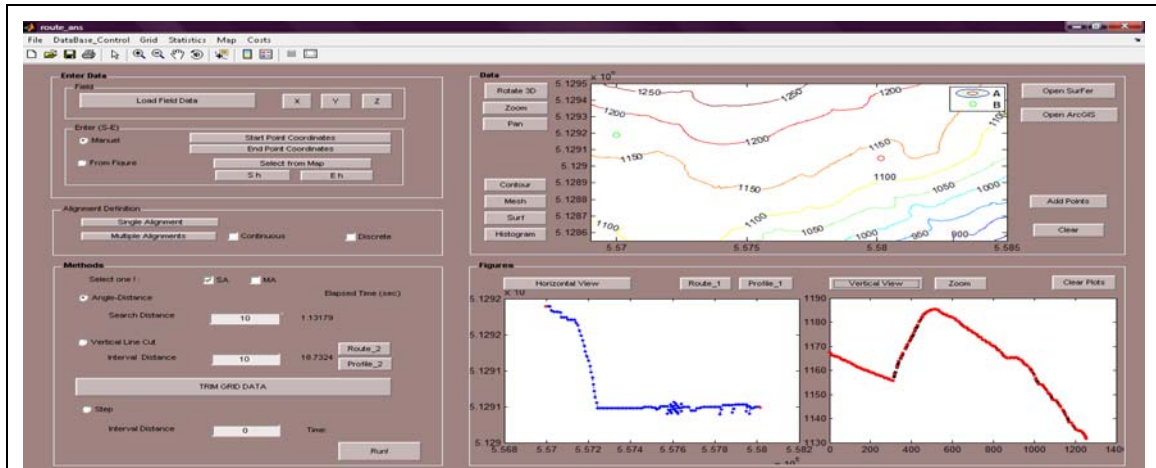
2., 3., 4. ve 5. GEÇKİ HATLARININ AÇI VE UZUNLUK İLE GRİDLERDE ARAMA YAKLAŞIMI SONUÇLARI



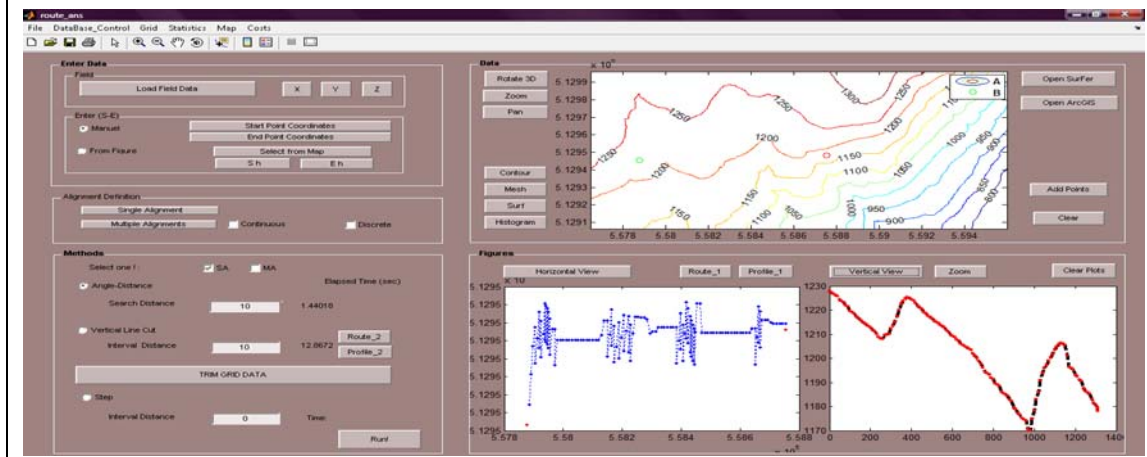
2. geçki hattına ait 1-A geçkisi



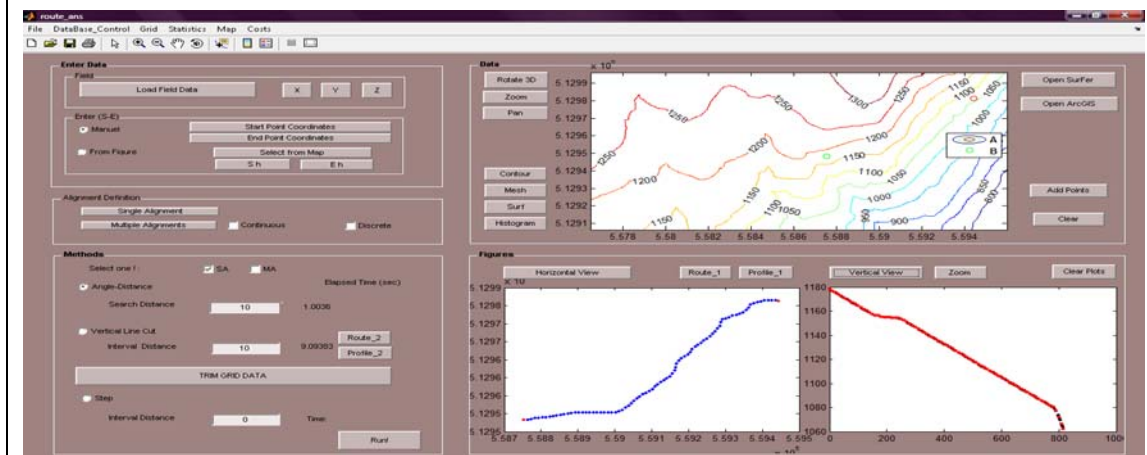
2. geçki hattına ait B-2 geçkisi



3. geki hattına ait C-3 gekisi

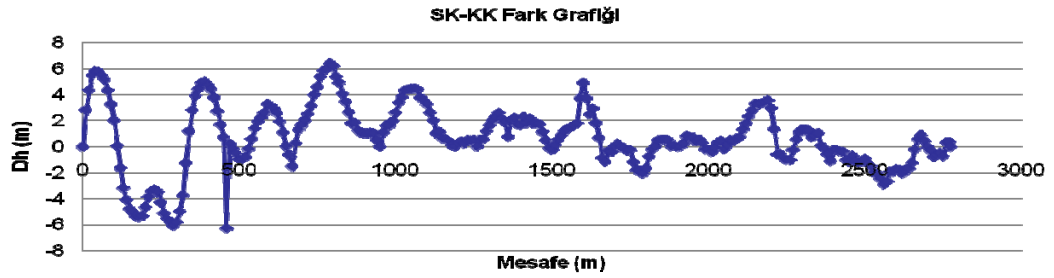
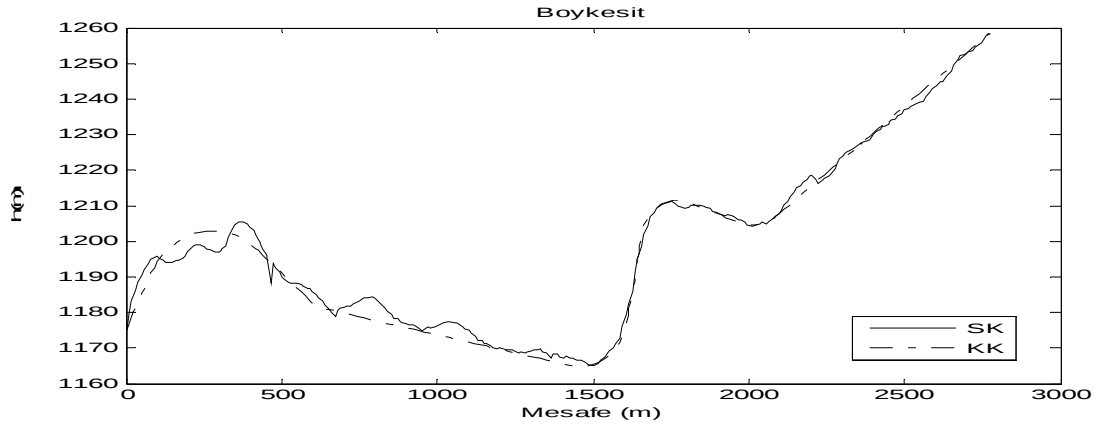


5. geçki hattına ait D-4 geçkisi



5. geçki hattına ait 4-5 geçkisi

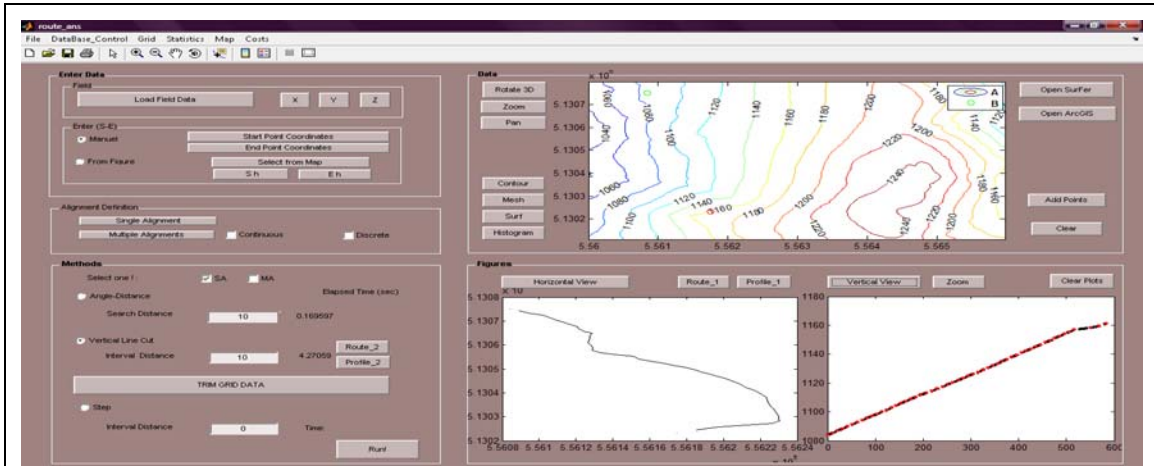
AÇI ve UZUNLUK ile GRİDLERDE ARAMA YAKLAŞIMINDA 1.GEÇKİ HATTI İÇİN PROFİL ÇÖZÜMLERİ



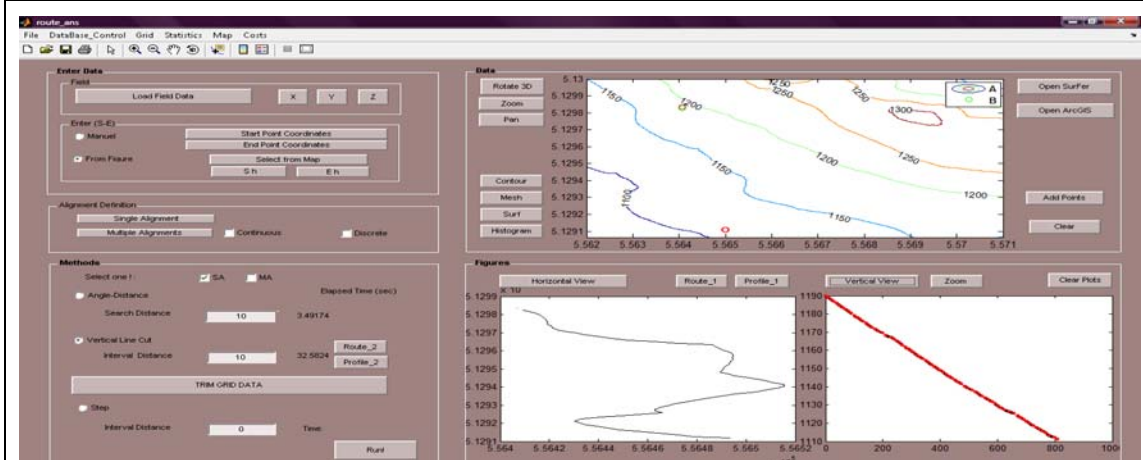
Hacimler Tablosu

Platform Genişliği (m)	Kazı Yüzey Alanı (m ²)	Kazı Hacmi (m ³)	Dolgu Yüzey Alanı (m ²)	Dolgu Hacmi (m ³)	Fark Kazı-Dolgu Hacmi (m ³)
10	18140	36821.523	9590	16216.118	20605.405
20	36290	73643.047	19180	32432.236	41210.811
30	54400	110464.6	28770	48648.354	61816.246
40	63500	128875.3	33560	56756.413	72118.887

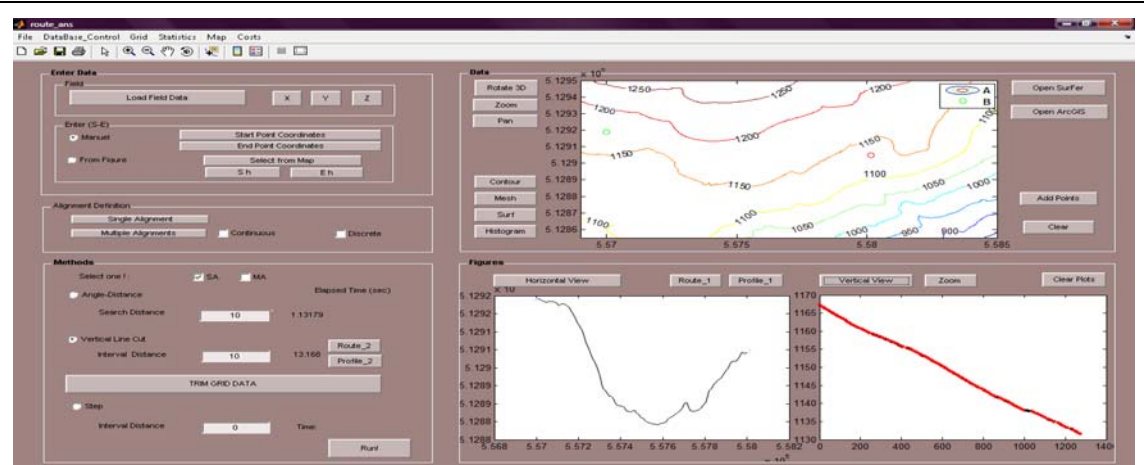
2., 3., 4. ve 5. GEÇKİ HATLARININ ENKESİTLER BOYUNCA ARAMA YAKLAŞIMI SONUÇLARI



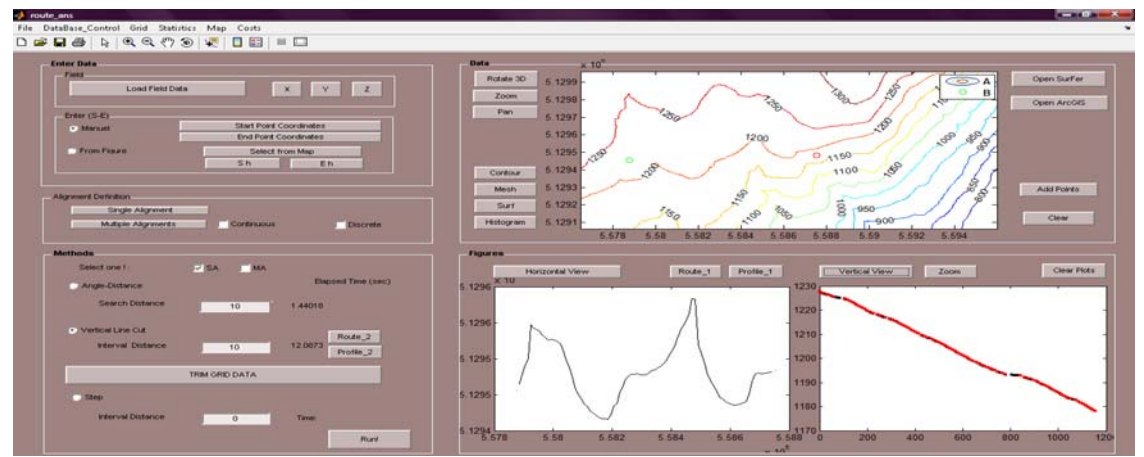
2. gečki hattına ait 1-A geçkisi



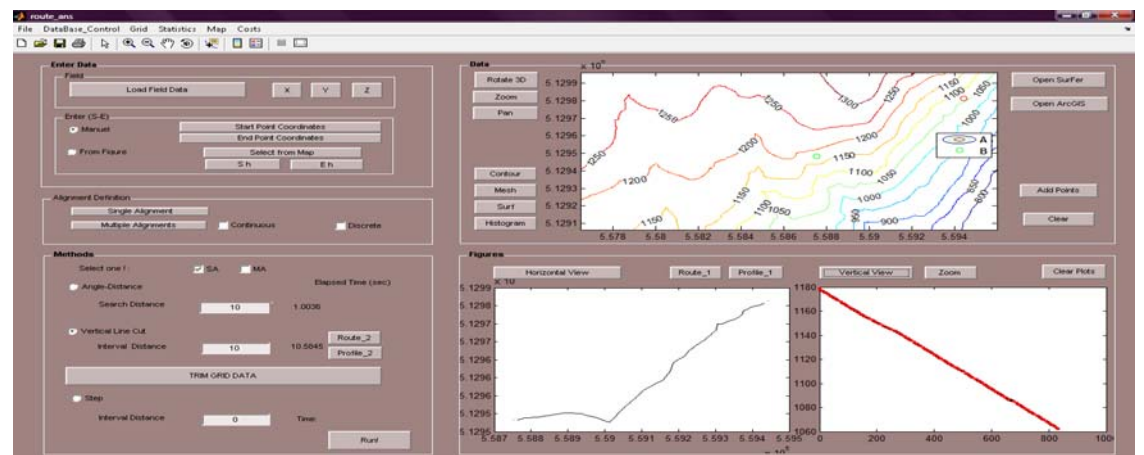
2. gečki hattına ait B-2 geçkisi



3. geki hattına ait C-3 gekisi

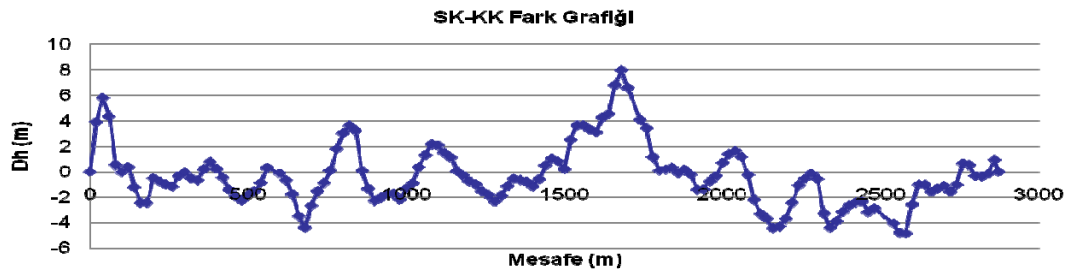
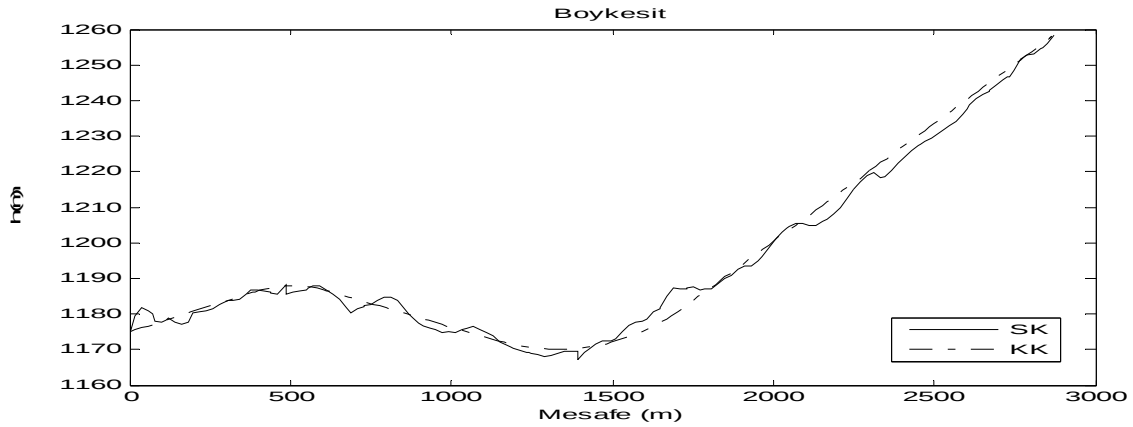


5. geki hattına ait D-4 gekisi



5. geki hattına ait 4-5 gekisi

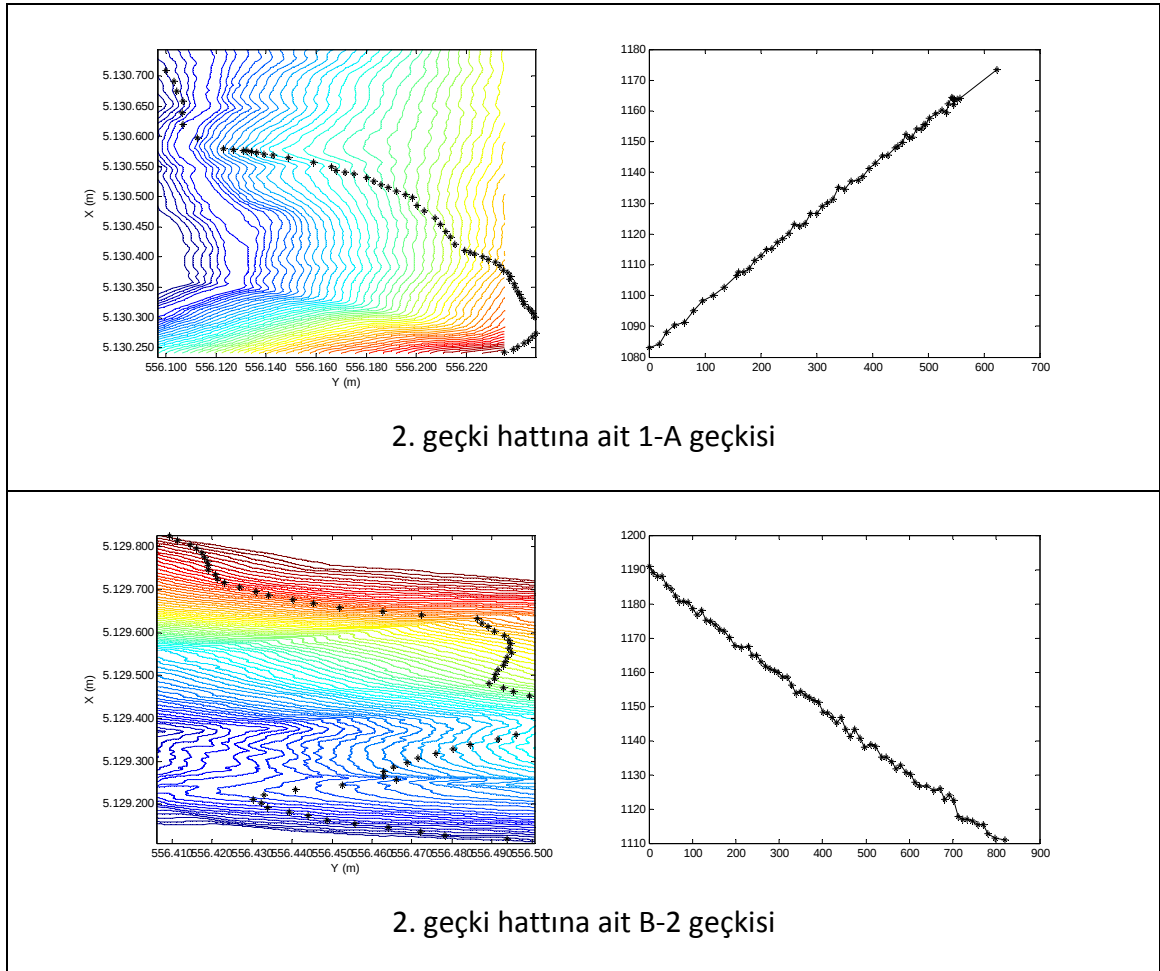
ENKESİTLER BOYUNCA ARAMA YAKLAŞIMINDA 1.GEÇKİ HATTI İÇİN PROFİL ÇÖZÜMLERİ

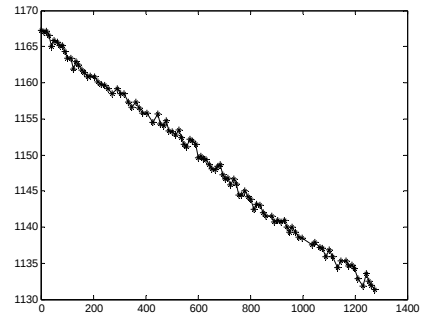
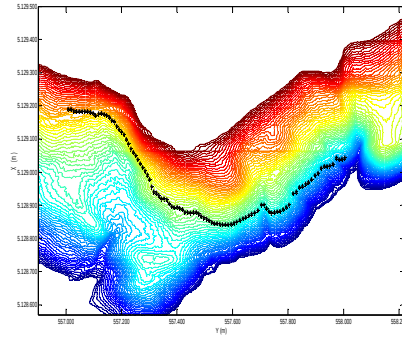


Hacimler Tablosu

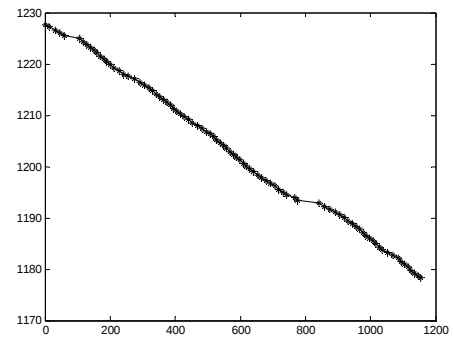
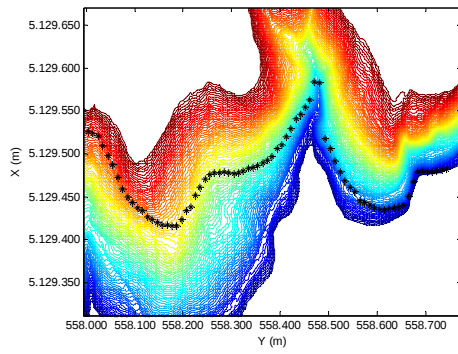
Platform Genişliği	Kazı Yüzey Alanı	Kazı Hacmi	Dolgu Yüzey Alanı	Dolgu Hacmi	Fark Kazı-Dolgu Hacmi
(m)	(m ²)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
10	9590	26460.971	19020	37573.263	-11112.292
20	19190	52921.941	38040	75146.525	-22224.584
30	28780	79382.912	57100	112719.8	-33336.888
40	33580	92613.397	66600	131506.4	-38893.003

2., 3., 4. ve 5. GEÇKİ HATLARININ ENKESİTLER BOYUNCA ARAMA YAKLAŞIMI SONUÇLARI

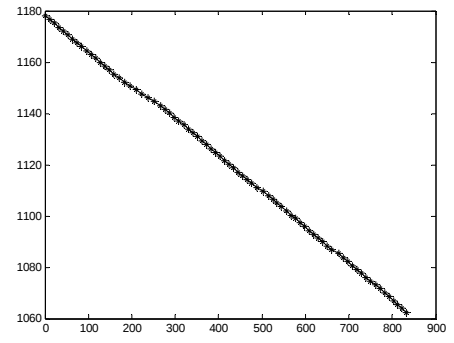
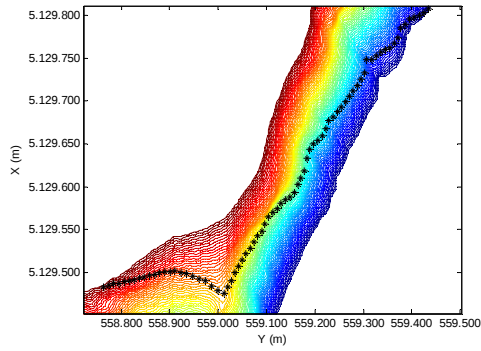




3. geçki hattına ait C-3 geçkisi

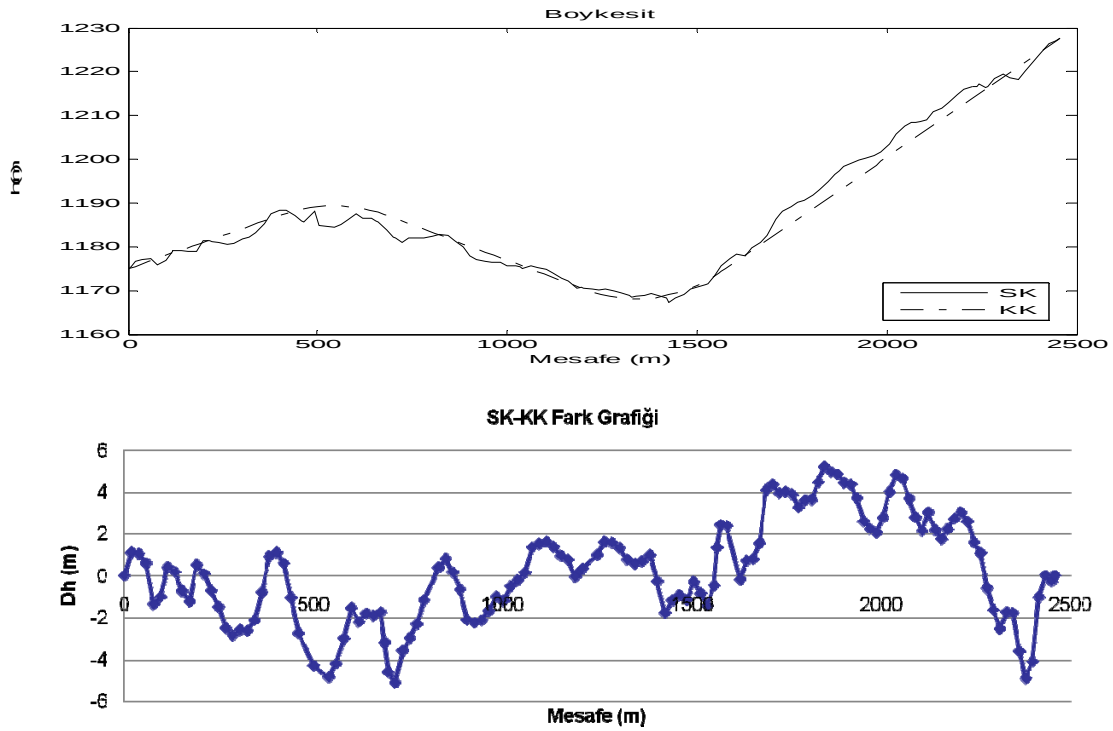


5. geçki hattına ait D-4 geçkisi



5. geçki hattına ait 4-5 geçkisi

BASAMAK YÖNTEMİ YAKLAŞIMINDA 1.GEÇKİ HATTI İÇİN PROFİL ÇÖZÜMLERİ



Hacimler Tablosu

Platform Genişliği	Kazı Yüzey Alanı	Kazı Hacmi	Dolgu Yüzey Alanı	Dolgu Hacmi	Fark Kazı-Dolgu Hacmi
(m)	(m ²)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)
10	11950	24662.416	12630	27563.890	-2901.474
20	23900	49324.833	25250	55127.781	-5802.948
30	35850	73987.249	37880	82691.671	-8704.422
40	41820	86318.457	44190	96473.616	-10155.159

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nursu TUNALIOĞLU

Doğum Tarihi ve Yeri : 09.06.1980 Babaeski

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ntunali@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2004
Lisans	Harita Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2003
Lise		Lüleburgaz Anadolu Lisesi	1998

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005- Halen	Yıldız Teknik Üniversitesi	Arş. Gör.

YAYINLARI

Makale

1. Soycan, M., **Tunalioğlu, N.**, Öcalan, T., Soycan, A., ve Gümüş, K., (2011). "Three Dimensional Modeling of Forest Lands by Using Airborne Lidar Method", Arabian Journal for Science and Engineering, 36-4: 581-595.
2. Ocalan, T. ve **Tunalioğlu, N.**, (2010). "Data communication for real-time positioning and navigation in global navigation satellite systems (GNSS)/continuously operating reference stations (CORS) networks", Scientific Research and Essay, 5-18: 2630-2639
3. **Tunalioğlu, N.** ve Soycan, M., (2011). "An Approach with Distance-Angle Based Search Algorithm in Route Design for Minimizing Earthwork", International Journal of Physical Science, (Kabul edildi)

Bildiri

1. **Tunalioğlu, N.** ve Öcalan, T., (2009). "Final Situation in Surveying Education in Turkey, and its Contradictions", Navigating the Future of Surveying Education, Vienna, Austria
2. **Tunalioğlu, N.**, Soycan, M., Gümüş, K. ve Öcalan, T., (2009). "Deriving Appropriate Digital Elevation Model (DEM) from Airborne LIDAR Data and Evaluating the Horizontal Highway Geometry for Transportation Planning", FIG Working Week, Eilat, Israel
3. **Tunalioğlu, N.** ve Ocalan, T., (2010). "The Gridding Size Effects on Exposing Highway Profile" XXIV FIG International Congress, Sydney, Australia
4. Ocalan, T. ve **Tunalioğlu, N.**, (2010). "Exchanges and Orientations at Surveying and Geomatic Engineering Education in Turkey" XXIV FIG International Congress, Sydney, Australia
5. **Tunalioğlu, N.** ve Öcalan, T., (2007). "Üç Boyutlu Karayolu Güzergâh Optimizasyonunda Karar Destek Sistemi Olarak Genetik Algoritmaların Kullanılması" 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye
6. Ocalan, T., Soycan, M., Sanlı, D.U., Gumus, K. ve **Tunalioğlu, N.**, (2007). "Mühendislik Uygulamaları için Sabit GPS İstasyonlarına Dayalı Konum Doğruluklarının Araştırılması" , 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye
7. Gümüş, K., Erkaya, H. ve **Tunalioğlu, N.**, (2009). "Yersel Lazer Tarama Verilerinde Çevresel ve Objesel Nedenlerden Kaynaklanan Hatalar" 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara,

Türkiye

8. **Tunalıoğlu, N.** ve Soycan, M., (2011). “Geçki Planlama Çalışmaları için Hava LiDAR Verisine Dayalı Sayısal Yükseklik Modelleme ve Doğruluk Analizi” 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye

Proje

1. 2006-2009, ”Raylı Sistemlerde Deformasyonların Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Tasarımı” BAPK Projesi, Proje Ekibi (26-05-03-02)
2. 2007-2010, ”Beton Kemer Barajlarda Deformasyonların Modern Ölçme Teknikleri ile Belirlenmesi” BAPK Projesi, Proje Ekibi (27-05-03-02)

ÖDÜLLERİ

1. AB Socrates/Erasmus Öğrenci Değişim Programı, HafenCity Universitat, Almanya, 6 ay, 2009-2010.