

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARAYOLU PROJE ELEMANLARININ YAPIM
MALİYETİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Yük. Müh. Arzu TOPBAŞ SOYCAN

**FBE Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Anabilim Dalı Geomatik Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 26 Aralık 2006
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali ARBEY (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Emine AĞAR (İTÜ)
: Yrd.Doç.Dr. Engin GÜLAL (YTÜ)
: Prof.Dr. Rasim DENİZ (İTÜ)
: Doç.Dr. İbrahim KOÇ (YTÜ)

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
2. KARAYOLU PROJE ELEMANLARI.....	4
2.1 Trafik Hacmi ve Bileşenleri.....	6
2.2 Arazi Topoğrafyası.....	7
2.3 Proje Hızı.....	8
2.4 Yatay Eksene ait Karayolu Proje Elemanları.....	9
2.4.1 Minimum Yatay Kurp Yarıçapı (R).....	9
2.4.2 Minimum Klotoid Parametresi (A).....	9
2.4.3 Dever (d).....	11
2.4.3.1 Geçiş Eğrisiz Kurplarda Dever.....	12
2.4.3.2 Geçiş Eğrili Kurplarda Dever.....	13
2.5 Düşey Eksene ait Karayolu Proje Elemanları.....	14
2.5.1 Emniyetli Duruş Uzaklığı(Ld)- Emniyetli Geçiş Uzaklığı (Lg).....	14
2.5.2 Maksimum Eğim(m).....	16
2.5.3 Minimum Eğim.....	17
2.5.4 Açık ve Kapalı Düşey Kurplarda Kurp Uzunluğu (L).....	17
2.6 Enkesitlere ait Karayolu Proje Elemanları.....	19
2.6.1 Platform Genişliği (PG).....	19
2.6.1.1 Şerit Genişlikleri (l).....	19
2.6.1.2 Banket Genişlikleri (b).....	19
2.6.2 Kamulaştırma Genişliği (KG).....	20
3. KARAYOLU YATAY VE DÜŞEY EKSEN TASARIMI.....	21
3.1 Karayolu Yatay Eksen Tasarımı.....	21
3.1.1 Karayolu Yatay Eksen Tasarımında Dikkate Alınacak Teknik Etkenler.....	22
3.2 Karayolu Düşey Eksen Tasarımı.....	23

3.2.1	Düşey Kurplar.....	24
3.2.2	Karayolu Düşey Eksen Tasarımında Dikkate Alınacak Teknik Etkenler.....	27
3.3	Karayolu Yatay ve Düşey Eksen Birleşimi.....	28
3.4	Alan ve Hacim Hesapları.....	29
3.5	Kütleler Diyagramı	30
3.6	Karayolu Geçki Optimizasyonu.....	31
3.7	Metraj Hesabı.....	33
4.	KARAYOLU MALİYET ANALİZİ.....	35
4.1	Karayolu Maliyet Etkenleri.....	36
4.1.1	Maliyet Analizi, Para Üzerinden Değerlendirilebilen Maliyet Etkenleri.....	36
4.1.2	Maliyet Analizi, Para Üzerinden Değerlendirilemeyen Maliyet Etkenleri.....	37
4.2	Fayda/Maliyet Analizi.....	38
4.2.1	Fayda/Maliyet Analizinin Esasları.....	38
4.2.1.1	Fayda/Maliyet Yönteminde Aktüalizasyon.....	39
4.2.1.2	Aktüalizasyonda Faiz İşlemi.....	40
4.2.1.3	Aktüalizasyonda İndirim İşlemi.....	40
4.2.1.4	İşletmeye Açılış Yılına Aktüalizasyon.....	40
4.2.2	Fayda'nın İçeriği.....	41
4.2.2.1	Dolaysız Faydalar.....	41
4.2.2.2	Dolaylı Faydalar.....	41
4.2.3	Maliyet'in İçeriği.....	42
4.2.3.1	Maliyet Hesabı.....	43
4.2.3.2	Etüt Amaçlı Karayolu Yapım Maliyetlerinin Belirlenmesi.....	46
5.	KARAYOLU PROJE ELEMANLARININ YAPIM MALİYETİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA.....	52
5.1	Çalışma Verisinin Oluşturulması.....	52
5.2	Çalışmada Kullanılan Yaklaşım.....	52
5.3	Karayolu Geçkisini Oluşturan Yatay ve Düşey Kurp Sayılarının Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi.....	54
5.3.1	Yatay Kurp Sayısı Sabit Alınarak Düşey Kurp Sayısı ile Yapım Maliyet Değerleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi.....	64
5.3.1.1	Yatay Kurp Sayısı 0 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	64
5.3.1.2	Yatay Kurp Sayısı 1 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	65
5.3.1.3	Yatay Kurp Sayısı 2 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	66
5.3.1.4	Yatay Kurp Sayısı 3 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	67
5.3.1.5	Yatay Kurp Sayısı 4 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	68
5.3.1.6	Yatay Kurp Sayısı 5 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	69
5.3.2	Düşey Kurp Sayısı Sabit Alınarak Yatay Kurp Sayısı ile Yapım Maliyet Değerleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi.....	72
5.3.2.1	Düşey Kurp Sayısı 0 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	72
5.3.2.2	Düşey Kurp Sayısı 1 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	74
5.3.2.3	Düşey Kurp Sayısı 2 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	74
5.3.2.4	Düşey Kurp Sayısı 3 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	75
5.3.2.5	Düşey Kurp Sayısı 4 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	76
5.3.2.6	Düşey Kurp Sayısı 5 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler.....	77
5.4	Yapım Maliyetini Etkileyen Proje Elemanlarının Belirlenmesi.....	80

5.4.1	Hazırlık Çalışması	80
5.4.1.1	R Yarıçapının İncelenmesi	81
5.4.1.2	Boyuna Eğimin İncelenmesi	82
5.4.1.3	L Düşey Kurp Uzunluğunun İncelenmesi	83
5.4.1.4	A Klotoid Parametresinin İncelenmesi	84
5.5	Proje Elemanlarındaki Değişimlerin Yapım Maliyetine Olan Etkilerinin İncelenmesi.....	85
5.5.1	Birinci Sınıf Karayolu Geçkisi İçin Proje Elemanları Değişiminin Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi.....	87
5.5.1.1	L Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	89
5.5.1.2	R Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	91
5.5.1.3	A Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	92
5.5.2	İkinci Sınıf Karayolu Geçkisinde Proje Elemanları Değişiminin Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi.....	94
5.5.2.1	L Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	96
5.5.2.2	R Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	98
5.5.2.3	A Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	99
5.5.3	Üçüncü Sınıf Karayolu Geçkisinde Proje Elemanları Değişiminin Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi.....	101
5.5.3.1	L Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	103
5.5.3.2	R Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	105
5.5.3.3	A Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi.....	106
5.6	Karayolu Yapım Maliyetinin R,L Ve A Proje Elemanlarının Fonksiyonu Olarak Çoklu Regresyon Analizi Yöntemi İle Belirlenmesi.....	107
6.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	122
	KAYNAKLAR.....	127
	EKLER	132
Ek 1	Birinci Sınıf Karayolu Geçkileri	132
Ek 2	İkinci Sınıf Karayolu Geçkileri	149
Ek 3	Üçüncü Sınıf Karayolu Geçkileri	166
Ek 4	Uygulama Akış Diyagramı	179
	ÖZGEÇMİŞ.....	180

SİMGE LİSTESİ

A	Trafik yıllık ortalama artış yüzdesi
a	Anapara
A	Paranın n yıl sonraki değeri
A	Klotoidin parametresi
A'	Paranın n yıl önceki değeri
A _j	j.parsel içinde yolun kapladığı alan
b	Platform genişliği
β_0	Doğrunun y-eksenini kestiği yer
β_1	Doğrunun eğimi
d	Dever
d _a	Taşıt takip aralığı
d _g	i ve i+1 noktaları arasındaki mesafe
d _s	Sollayan taşıtla sollanan taşıt arasındaki geçmeden önceki ve sonraki mesafeler toplamı
e	Maksimum dever
ε	Artık hata değeri
f	Tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı
F	Merkezkaç kuvveti
g _i	Boyuna eğimler
G _{max}	Maksimum boyuna eğim
H	Alt geçidin serbest yüksekliği
h ₁	Sürücünün görüş yüksekliği
h ₂	Yol üzerindeki engelin yol yüzeyinden yüksekliği
h ₄	Ü _A noktasındaki dever yükselme değeri
h _a	Ü _E noktasındaki eksenle dış kenar çizgileri arasındaki kot farkı
h _i	ε_i aralığının bitimindeki yarıyola verilen dever yüksekliği
K	Artış faktörü
k	rampa boyu
K _a	Açık düşey kurp katsayısı
K _B	Klotoidin koordinat başlangıcı
K _C	Birim uzunluğun yapım maliyeti
K _{E.L}	Birim uzunluğun çevresel maliyeti
K _J	j.parsel için konuma bağlı birim maliyet
K _k	Kapalı düşey kurp katsayısı
K _M	Birim uzunluğun bakım maliyeti
L	Parabolik düşey kurbun yatay izdüşüm uzunluğu
L _{AB}	A başlangıç ve B bitiş noktaları arasındaki mesafe
L _d	Rakordman boyu
L _{fe}	Duruş görüş uzunluğu
L _G	Karşı yönden gelen taşıt varsa sollama ile geçiş uzunluğu
L _n	Toplam aliyman uzunluğu
l _p	Sıfır poligonunun bir kenarının pafta üzerindeki değeri (pergel açıklığı)
L _S	Geçiş eğrisi uzunluğu
l _s	Karşı yönden gelen taşıt yokken sollama ile geçiş uzunluğu
m	Pafta ölçeği
M	Taşıt ağırlığı
n	Toplam gözlem sayısı
q _e	Alinymandaki çatı enkesitinin enine eğimi
q _i	ε_i aralığının bitimindeki yarıyolun m eğimi

R	Kurp yarıçapı
r^2	Regresyon katsayısı
r_i	ϵ_i aralığının bitimindeki deyer artım değeri
s	Yolun eğimi
s	Fren uzunluğu
s^2	Ortalama Karesel Hata (σ^2 'nin tahmini değeri)
T_0	Hesap yılındaki trafik
$tg\alpha$	Sıfır poligonunun eğimi
T_K, T_L	Kısa ve uzun teğetler
T_n	n yıl sonraki trafik
t_r	İntikal reaksiyon süresi
\dot{U}_A	Geçiş eğrisinin alinymana teğet olduğu başlangıç noktası
\dot{U}_E	Geçiş eğrisinin kurba teğet olduğu bitiş noktası
V	Taşıt hızı
v_1	Sollayan taşıtın hızı
v_2	Sollanan taşıtın hızı
v_3	Karşı yönden gelen taşıtın hızı
x	Bağımsız değişken
X, Y	KS' in dik koordinatları
X_0, Y_0	Sol alt köşe orijin koordinatları
X_M	Eğrilik dairesinin merkez noktasının apsisi
X_{max}, Y_{max}	Sağ üst köşe koordinatları
Y_M	Eğrilik dairesinin merkez noktasının ordinatı
Y	Bağımlı değişken
Z_{iL}, Z_{iU}	λ_{3i} nokta yüksekliğinin alt ve üst sınırları
τ	Bir klotoid noktası olan KS' deki teğet açısı
σ	KB başlangıç noktasından KS' ye doğru, bir S klotoid girişinin doğrultu açısı
$\rho_{AŞT}$	Aşınma tabakası yoğunluğu
ρ_{BT}	Binder tabakası yoğunluğu
ρ_{BTT}	Bitümlü temel tabakası yoğunluğu
ΔR	Eğrilik dairesinin teğet uzaklaşması
Δh_{AB}	A başlangıç ve B bitiş noktaları arasındaki kot farkı
Δh	Paftada yükseklik eğrileri arasındaki kot farkı

KISALTMA LİSTESİ

AŞTK	Aşınma tabakası kalınlığı
AŞTM	Aşınma tabakası maliyeti
AASTHO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ATK	Alttemel kalınlığı
ATM	Alttemel tabakası maliyeti
BM _{AŞT}	Aşınma tabakası için birim fiyat
BM _{AT}	Alttemel tabakası için platform genişliğine bağlı birim maliyet
BM _{BT}	Binder tabakası için birim maliyet
BM _{BTT}	Bitümlü temel tabakası için birim maliyet
BM _{TT}	Temel tabakası için platform genişliğine bağlı birim maliyet
BTK	Binder tabakası kalınlığı
BTM	Binder tabakası maliyeti
BTTK	Bitümlü temel tabakası kalınlığı
BTTM	Bitümlü temel tabakası maliyeti
D	Dolgu miktarı
DKS	Düşey kurp sayısı
EKK	En küçük kareler
EPPM	Etüd-plan-proje maliyeti
KBM	Kamulaştırma birim maliyeti
KG	Kamulaştırma genişliği
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
KM	Kamulaştırma maliyeti
KÖM	Köprü maliyeti
Ld	Emniyetli duruş uzaklığı
Lg	Emniyetli geçiş uzaklığı
m	Maksimum eğim
PG	Platform genişliği
PST	Proje Saaik Trafiği
ST	Saat Trafiği
SYM	Sanat yapıları maliyeti
TAM	Toplam altyapı maliyeti
TİM	Toprak işleri maliyeti
TK	Temel kalınlığı
TTM	Temel tabakası maliyeti
TÜM	Toplam üstyapı maliyeti
TYM	Toplam yapım maliyeti
Y	Yarma miktarı
YKS	Yatay kurp sayısı
YOGT	Yıllık Ortalama Günlük Trafik
YU	Yol uzunluğu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 5.1 Uygulama bölgesinin 2 ve 3 boyutlu modeli.....	52
Şekil 5.2 Sıfır eğrisi ve bu eğri üzerinde alınan kesitler.....	53
Şekil 5.3 A ve B noktalarının sırasıyla 0,1,2,3, 4 ve 5 yatay kurpla birleştirilmesiyle oluşan geçki eksenleri.....	56
Şekil 5.4 A ve B noktalarını doğrudan birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve brückner diyagramları.....	57
Şekil 5.5 A ve B noktalarını 1 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve brückner diyagramları.....	58
Şekil 5.6 A ve B noktalarını 2 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve brückner diyagramları.....	59
Şekil 5.7 A ve B noktalarını 3 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve brückner diyagramları.....	60
Şekil 5.8 A ve B noktalarını 4 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve brückner diyagramları.....	61
Şekil 5.9 A ve B noktalarını 5 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve brückner diyagramları.....	62
Şekil 5.10 Yatay karp sayısının sırasıyla 0,1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alınması durumunda düşey karp sayısına bağlı olarak maliyet değerlerinin değişimi.....	71
Şekil 5.11 Düşey karp sayısının sırasıyla 0,1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alınması durumunda yatay karp sayısına bağlı olarak maliyet değerlerinin değişimi.....	79
Şekil 5.12 Hazırlık çalışma bölgesinin 2 ve 3 boyutlu modeli	80
Şekil 5.13 Uygulama yapılan tek some noktalı yol geçkisi	81
Şekil 5.14 Yarıçap- yapım maliyeti ilişkisi	82
Şekil 5.15 m_1 eğimi- yapım maliyeti ilişkisi	82
Şekil 5.16 m_2 eğimi- yapım maliyeti ilişkisi	83
Şekil 5.17 Boykesit	83
Şekil 5.18 Düşey karp uzunluğu yapım maliyeti ilişkisi	84
Şekil 5.19 A parametresi-yapım maliyeti ilişkisi	84
Şekil 5.20 Birinci sınıf karayolu geçkisinde R ve A parametreleri sabit alındığı zaman, L parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	89
Şekil 5.21 Birinci sınıf karayolu geçkisinde A ve L parametreleri sabit alındığında, R parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	91
Şekil 5.22 Birinci sınıf karayolu geçkisinde R ve L parametreleri sabit alındığında, A parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	93
Şekil 5.23 İkinci sınıf karayolu geçkisinde R ve A parametreleri sabit alındığı zaman, L parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	96
Şekil 5.24 İkinci sınıf karayolu geçkisinde A ve L parametreleri sabit alındığında, R parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	98
Şekil 5.25 İkinci sınıf karayolu geçkisinde R ve L parametreleri sabit alındığında, A parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	100
Şekil 5.26 Üçüncü sınıf karayolu geçkisinde R ve A parametreleri sabit alındığı zaman, L parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	103
Şekil 5.27 Üçüncü sınıf karayolu geçkisinde A ve L parametreleri sabit alındığında, R parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	105
Şekil 5.28 Üçüncü sınıf karayolu geçkisinde R ve L parametreleri sabit alındığında, A parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri.....	106

Şekil 5.29 Bazı fonksiyon tiplerinin dağılım grafikleri.....	109
Şekil 5.30 R ile maliyet arasındaki ilişki için örnek fonksiyon gösterimi.....	110
Şekil 5.31 L ile maliyet arasındaki ilişki için örnek fonksiyon gösterimi.....	110
Şekil 5.32 A ile maliyet arasındaki ilişki için örnek fonksiyon gösterimi.....	111
Şekil 5.33 1.sınıf karayolu için model uygulama sonuçları	114
Şekil 5.34 2.sınıf karayolu için model uygulama sonuçları	115
Şekil 5.35 3.sınıf karayolu için model uygulama sonuçları	116
Şekil 5.36 1.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin düzeltmeleri ve dağılımları....	117
Şekil 5.37 2.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin düzeltmeleri ve dağılımları....	117
Şekil 5.38 3.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin düzeltmeleri ve dağılımları....	118
Şekil 5.39 1.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin test edilmesi.....	119
Şekil 5.40 2.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin test edilmesi.....	119
Şekil 5.41 3.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin test edilmesi.....	119

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 KGM Karayolu Geometrik Standartları Tablosu.....	5
Çizelge 2.2 KGM proje hızına bağlı emniyetli duruş mesafeleri.....	15
Çizelge 2.3 Düz arazide proje hızlarına bağlı geçiş görüş uzunlukları.....	16
Çizelge 2.4 Kapalı düşey kurplarda, proje hızlarına ve eğim farklarına bağlı olarak parabolik kurp uzunlukları.....	18
Çizelge 2.5 Açık düşey kurplarda, proje hızlarına ve eğim farklarına bağlı olarak parabolik kurp uzunlukları.....	18
Çizelge 3.1 Optimizasyon yöntemleri ve kusurları.....	32
Çizelge 4.1 Enkesitler için platform kaplama ve banket genişlikleri.....	47
Çizelge 4.2 Zemin durumu tablosu.....	47
Çizelge 4.3 Arazi tipi,arazi yapısı ve platform genişliğinin bağlı birim maliyet değerleri.....	48
Çizelge 4.4 Platform genişliğine bağlı alttemel maliyeti.....	49
Çizelge 4.5 Platform genişliğine bağlı temel maliyeti.....	50
Çizelge 5.1 A ve B noktalarının sırasıyla 0,1,2,3,4,5 yatay ve 0,1,2,3,4,5 düşey kurpla birleştirildiği geçkilere ait karayolu yapım maliyet değerleri.....	63
Çizelge 5.2 Yarıçap, yol uzunluğu ve yapım maliyeti değerleri	81
Çizelge 5.3 Boyuna eğimler ve yapım maliyeti değerleri	82
Çizelge 5.4 Düşey kurp uzunluğu ve yapım maliyeti değerleri	83
Çizelge 5.5 A parametresi, yol uzunluğu ve yapım maliyeti değerleri	84
Çizelge 5.6 Oluşturulan geçkilerde kullanılan proje standartları.....	86
Çizelge 5.7 R ve A proje elemanları sabit olarak alındığında L'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM ve TYM'ne etkisi.....	90
Çizelge 5.8 A ve L proje elemanları sabit olarak alındığında R'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi.....	92
Çizelge 5.9 R ve L proje elemanları sabit olarak alındığında A'nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi.....	93
Çizelge 5.10 R ve A proje elemanları sabit olarak alındığında L'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM ve TYM'ne etkisi.....	97
Çizelge 5.11 A ve L proje elemanları sabit olarak alındığında R'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi.....	99
Çizelge 5.12 R ve L proje elemanları sabit olarak alındığında A'nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi.....	100
Çizelge 5.13 R ve A proje elemanları sabit olarak alındığında L'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM ve TYM'ne etkisi.....	104
Çizelge 5.14 A ve L proje elemanları sabit olarak alındığında R'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi.....	105
Çizelge 5.15 R ve L proje elemanları sabit olarak alındığında A'nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi.....	107
Çizelge 5.16 Bağımsız veri grubu ile modellerin test edilmesi.....	118

ÖNSÖZ

Doktora çalışmam süresince bana yardımcı olan hocalarım, Sayın Prof.Dr. Ali ARBEY, Prof.Dr. Emine AĞAR ve Yrd.Doç.Dr Engin GÜLAL'a, Karayolları 1. Bölge Müdürlüğü Etüt-Plan-Proje müdürü Sayın Yavuz. OKTAY'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca her konuda beni destekleyen ve yanımda olan aileme ve çalışmam boyunca benden yardımını esirgemeyen, anlayış gösteren, destekleyen sevgili eşim Yrd.Doç.Dr. Metin SOYCAN'a çok teşekkür ederim.

ÖZET

Ulaşım hayatımızın vazgeçilemez bir parçasıdır. Bu sebeple ulaşımın temelini oluşturan yollar çok önemlidir. Ancak bu yolların yapılması oldukça yüksek maliyetlerle gerçekleşmektedir. Yatırım imkanlarının çok kısıtlı olması sebebiyle, karayollarının yapımında en ekonomik projeler tercih edilmektedir.

Ekonomik projeler özellikle yapım maliyetlerine bağlı olarak belirlenmektedir. Bir projenin yapım maliyetini etkileyen unsurların en önemlisi proje elemanlarıdır. Bu sebeple çalışmada, bir karayolunun en ekonomik şekilde yapılabilmesinde proje elemanlarının etkisi araştırılmıştır. Bunun için öncelikle karayolunun geçki eksenlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yatay ve düşey kurplardan oluşan karayolu geçki eksenlerinde yatay ve düşey karp sayıları dikkate alınmış, yatay ve düşey karp sayılarının yapım maliyeti üzerinde düzenli olarak arttırıcı ya da azaltıcı etkilerinin olup olmadığı araştırılmıştır. Burada oluşturulan geçkiler içinden birinci, ikinci ve üçüncü sınıf olmak üzere üç farklı karayolu sınıfı için en uygun yatay ve düşey karp sayısını içeren geçki seçenekleri belirlenmiştir. Bu geçkiler için yol sınıflarına bağlı olarak minimum proje elemanları belirlenmiş ve bu proje elemanları belirli oranlarda maksimum değerlerine kadar arttırılarak her sınıf yol için, proje elemanlarındaki değişimlerin yapım maliyetini nasıl etkiledikleri araştırılmıştır. Bu şekilde üç farklı yol sınıfı için minimum yapım maliyetini veren proje elemanları belirlenerek, bunların yapım maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiş ve matematiksel modellerle tanımlanmıştır.

Serit ve banket genişliklerinden oluşan platform genişliği ile kamulaştırma genişliğinin, karayolu yapım maliyeti üzerindeki etkileri de ayrıca araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Karayollari, maliyet analizi, optimizasyon, yol geometrik standartlari, regresyon.

ABSTRACT

Transportation is an important section of our life. This reason, the highway, which based of transportation, is very important. Recently, new projects that taken consideration vehicle numbers are prepared and applied. However, while opportunity of investment is limited, the economic projects are preferred.

The economic projects are determined especially depending on preliminary construction cost. The most important parameter of construction cost is elements of project. For this reason in this study, while the construction of highway economically, the effects of project elements are researched. Because of this, firstly, horizontal and vertical alignment of highway must be determined. For highway investment cost, firstly, numbers of horizontal and vertical curves have been examined, because, the horizontal and vertical alignments of highway which consist of horizontal and vertical curves. How affect the numbers of horizontal and vertical curves to highway investment cost that are researched. From this research, optimum numbers of horizontal and vertical curves are determined for first, second and third class of highways. As depending on, highway class and geometric standards, minimum elements of project are determined. The minimum elements of project are increased with definite rate up to maximum value of elements of projects. To determine for every class highway, how cost of investment are affected from variation. Therefore, for every class highway, optimum elements of project are determined and then the effects of element on investment cost are determined and described with mathematical models.

In addition, the effects of width of platform, which consist of width of shoulder and lane and width of nationalization, are examined on investment cost of highway.

Key words: Highways, investment cost, optimization, geometric models, regression.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Nüfusun hızla arttığı, trafiğe hergün yüzlerce aracın katıldığı ülkemizde, sanayi, ticaret ve turizm açısından yeni yollara ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu yolların projelendirilmesinde; trafik talebindeki artışların yeterli düzeyde belirlenmemesi ve kısa vadeli çözümlerle sorunların giderilmeye çalışılması nedeniyle trafik sorunları gündeme gelmekte ve her geçen gün bu sorunlar artmaktadır. Bunun en önemli sebebi; ülkemizde ulaştırma projelerinin 25-30 yıllık bir işletme dönemi düşünülerek değerlendirilmesi ve bu kadar uzun dönemdeki trafiğin belirlenememesidir. Özellikle ülkemizde sosyo-ekonomik yapıda meydana gelen önemli değişimler bu tahminleri iyice zorlaştırmaktadır. Genellikle ekonomik gelişme ile ulaştırma arasında bir paralellik vardır. Türkiye için yapılan araştırmalar göstermiştir ki; gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH)'nin artmasıyla, yolcu ve yük taşımalarında da artış meydana gelmektedir. (Açlar, 1997; Gerçek, 2001)

Karayolunun görevi, canlıların ve eşyaların bir yerden başka bir yere hızlı, güvenli, konforlu ve ekonomik bir şekilde ulaşmalarını sağlamaktır. Ancak bunu gerçekleştirirken, gerekli karayolu standartları sağlanmalı, toplum ve kent yaşamına, çevreye olumsuz etkileri olmamalı ya da bu olumsuz etkiler en aza indirgenmelidir. Bir karayolunun planlanmasında yol sınıfının belirlenmesi, yol yatay ve düşey eksen tasarımları ile birlikte, yol geometrik standartlarını sağlayan proje elemanlarının seçimi dikkat edilmesi gereken hususlardır.

Karayolunu kullanan sürücüler, güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik bir ulaşımı istemektedirler. Yüksek geometrik standartlara ve iyi bir üstyapıya sahip bir karayolu, sürücülerin bu beklentilerini karşılayabilir. Ancak mühendislik açısından, yolun hizmet ömrü süresince kendinden beklenen ihtiyaca cevap vermesi ve maliyetinin en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi istenir. (Sonuç, 1983; Umar ve Yayla,1994)

Güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik olan, yüksek geometrik standartlara ve iyi bir üstyapıya sahip bir karayolu elbette bazı olumsuz çevresel sonuçları da beraberinde getirir. Bu olumsuz sonuçlar, motorlu taşıt trafiğinin sebep olduğu, gürültü kirliliği, hava kirliliği, kazalar ve ekolojik dengenin bozulmasıdır. Karayolu projeleri, bu hususlar göz önünde bulundurularak, yolun geçeceği bölgenin özelliklerine ve doğal çevreye uygun, yolu kullanacakların ekonomik ve sosyal refahını arttıracak şekilde, estetik, kültürel, çevresel ve tarihi değerleri bozmadan tasarlanmalıdır. İyi planlanmış bir ulaşım ağıyla, hızlı, emniyetli, konforlu ve ekonomik bir ulaşım sağlanmış olur.

Bir karayolu projesi hazırlanırken, bu yolun yapım ve bakımı için mevcut bütçe imkanlarının, gelecekteki trafik tahmininin ve cinsinin belirlenmesi gerekir. Geometrik standartlar gelecekteki trafik hacmi de düşünülerek belirlenmelidir. Standartların düşük seçilip, zamanla yetersiz kalması gibi, çok yüksek seçilip maliyeti de arttırması istenmeyen bir durumdur. Ayrıca yolun tamamı boyunca istenen hizmet seviyesi de sağlanmalıdır.

İhtiyaç duyulan yeni bir karayolu projesi yapılırken en büyük problem, yeterli kaynağın temin edilmesidir. Yatırım imkanlarının çok kısıtlı olması sebebiyle, gerekli yollar yapılamamış, yapımına başlanan yollar yarım kalmış ya da çok yavaş bir şekilde yapımları devam etmiştir. Bu sebeple karayollarının özellikle yapım maliyetleri önemli bir konuma gelmiştir. (Erel, 2001)

Bir karayolu projesinde, başlangıçta bir yatırım maliyeti vardır. Daha sonra bu projenin hizmet ömrü boyunca bakım-onarım ve işletme maliyeti gibi giderleri olacaktır. Ancak karayolu projesinin gerçekleştirilmesiyle hizmet süresi boyunca çeşitli faydalar sağlanacaktır. Böylece gerçekleştirilecek bir karayolu projesinde amaç; en ekonomik maliyete sahip olması, en fazla faydayı getirmesi ve yolun hizmet süresi boyunca sağlaması istenilen hizmet düzeyini ve bu hizmet düzeyinin sahip olduğu kapasiteyi koruyabilmesidir.

Ülkemizde, karayolunun ekonomik kaynakları ve diğer etkenler göz önüne alındığında özellikle ilk yapım maliyeti önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk yapım maliyeti içerisinde yer alan en önemli kalemlerden birisi kuşkusuz topografik yapının projede planlandığı gibi bir karayoluna dönüştürülmesidir. Karayolu yapım projesinin ilk ve en önemli adımlarından biri olan bu aşamada, en uygun karayolu geçkisinin belirlenmesi, karayolu geometrisinin ve bu geometriye altlık oluşturacak karayolu proje elemanlarının seçimi karayolunun yapım, işletme ve bakım maliyeti açısından çok önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada amaç, proje elemanlarının yapım maliyetine olan etkilerinin incelenmesidir. Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş, genel bilgiler, çalışmanın amacı ve içeriğinden söz edilmiştir. İkinci bölümde, karayolu geometrik standartlarına bağlı olarak belirlenen proje elemanları hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, karayolunu oluşturan yatay ve düşey geçki eksenlerinin nasıl oluşturulduğu ve bunları oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, karayolu projelerinin maliyet analizlerinin ve yapım maliyetlerinin belirlenmesi konusuna değinilmiştir. Beşinci bölüm, çalışmanın amacını oluşturan, karayolu yatay ve düşey geçki eksenini tasarımı ve karayolu proje elemanlarının geometrik standartlara bağlı olarak, karayolu yapım maliyetine etkilerinin incelendiği bir uygulamadır. Bu amaçtan yola çıkarak, $4.5 \times 6 \text{ km}^2$ lik dalgalı topografyaya

sahip bir arazide söz konusu ölçütlerin yol yapım maliyetine etkilerinin incelenmesi için bir uygulama yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Uygulamada, öncelikle yol yatay ve düşey eksenini optimize edilmiş ve daha önce belirlenmiş yol standartlarına uygun olacak şekilde mümkün olan tüm yol geometrik standartları kullanılarak yapım maliyetini minimum yapan karayolu proje elemanları belirlenmiştir. Ayrıca, yol proje elemanlarındaki değişimlerin yolun yapım maliyetine etkileri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Maliyet ile karayolu yatay kurp yarıçapı (R), klotoid parametresi (A), düşey kurp uzunluğu (L) proje elemanları arasındaki matematiksel ilişki irdelenerek, çeşitli fonksiyonlar ile tanımlanmaya çalışılmıştır. Altıncı ve son bölümde ise yapılan uygulama sonuçları ayrıntılı olarak sunulmuştur.

2. KARAYOLU PROJE ELEMANLARI

Proje elemanları, karayolu güzergahının belirlenmesinde en etkili rolü oynamaktadır ve bu elemanların değerleri, Karayolu Geometrik Standartlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu elemanların, ekonomik koşullara bağlı olarak, güvenli, konforlu ve sürekli trafik akışını sağlayacak şekilde belirlenmeleri önemlidir. Başlangıçta bu parametrelerin yeterli büyüklükte ve uygun olarak belirlenmesi projenin sonraki aşamalarında uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Proje elemanlarında, geometrik standartlara bağlı olarak yapım maliyetini azaltmak amacıyla yerel ayrıcalıklar yapılabilmektedir. Tüm dünyada ve ülkemizde, karayolu tasarımı yapılırken, bu standartlara uyulmaktadır. Bu çerçevede; bir karayolu projesinde her bir yol proje elemanının, irdelenmesinde ve karayolu maliyetine etkisinin belirlenmesinde büyük fayda vardır.

Bir karayolu proje elemanı için yüksek standardın seçimi, diğer proje elemanlarının da yüksek standartta olmasını gerektirmektedir. Örneğin bir karayolu projesinde yatay kurp yarıçapı artması durumunda; klotoit parametresi de artmaktadır. Ayrıca topoğrafik zorunluluk durumunda kullanılması gereken tünel, köprü, viyadük vb. sanat yapıları da belli standartlara uygun olarak inşa edilmektedir. Bununla birlikte; bazı proje elemanlarında yolun geçtiği araziye bağlı olarak farklı standartlar uygulanabilmekte veya yine topoğrafyaya bağlı olarak yolun belli kesimlerinde, söz konusu standartlarda farklılaşma olabilmektedir. Çizelge 2.1' de bulunan Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM)'ne ait Karayolu Geometrik Standartları incelendiğinde, diğer proje elemanlarının standartlarının belirlenmesinde etkili olan üç proje elemanı; trafik miktarı, arazi topoğrafyası ve proje hızıdır. Karayolu sınıfı; trafik miktarı, trafik cinsi ve arazi yapısına bağlı olarak belirlenir. Ayrıca, iklim, zemin, estetik ve ekonomi de önemli faktörlerdir.

Çizelge 2.1: KGM Karayolu Geometrik Standartları
Tablosu

KARAYOLU GEOMETRİK STANDARTLARI		KENT DIŞI İKİ ŞERİTLİ YOLLAR		S1									
PROJE ELEMANLARI		BİRİNCİ SINIF			İKİNCİ SINIF			ÜÇÜNCÜ SINIF					
Hizmet Seviyesi	HS (A,B,C,D,E,F)	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
Trafik*	Yıkık Ortalama Günlük Trafik (Trafik/Gün) P.A.T. Yıkık Ortalama Trafik (Trafik/Gün) P.A.T.	12000	5500	4000	11000	5500	3000	8000	4500	2500	800	450	
Topografik Model	TM (Dz, Di, Dğ)	Düz	Dalgalı	Düz	Düz	Dalgalı	Düz	Düz	Dalgalı	Düz	Düz	Dalgalı	
Proje Hızı	Vp (km/saat)	100	80	70	80	70	60	70	60	40	70	60	
Minimum karp yarıçapı	R (m)	400	250	200	250	200	150	200	150	60	200	150	
Minimum klotit parametresi	A (—)	160	130	120	130	120	100	130	120	60	120	100	
Maksimum boyuna eğim	m (%)	4	4	6	4	6	7	4	6	7	6	6	
Üçüey karp	Kk (—)	107-55	44-26	44-26	44-26	29-20	29-20	17-15	17-15	17-15	29-20	17-15	
katsayısı L = GK	Ka (—)	51-35	30-23	30-23	22-19	22-19	22-19	16-15	16-15	16-15	22-19	16-15	
Maksimum dever**	n (%)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Emniyetli duruş uzaklığı	Ld (m)	155	110	110	110	90	90	70	70	40	90	70	
Emniyetli geçiş uzaklığı	Lg (m)	670	550	550	480	480	420	420	420	270	480	420	
Şerit genişliği	L (m)	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.25	3.25	3.00	3.00	
Banket Genişliği***	b (m)	2.50	2.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.50	1.50	1.00	1.00	
Platform genişliği	PG (m)	12.00	12.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	9.50	9.50	8.00	8.00	
Köprü genişliği	Kısa köprüler (0 - 45 m) Wk (m)	8.50			8.50			8.50			8.50		
Köprü proje yükü:	Uzun köprüler (> 45 m) Wu (m)	8.50			8.50			8.50			8.50		
H : 20 - S : 16	h (m)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
Alt geçit (minimum h:5)	h (m)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
Gabari													
Kamulaştırma genişliği	Toplam Genişlik K0 (m) Bölünmüş Genişlik L0 (m)	Normal 60.00 F projenin gerektirdiği kadar K5 32.00 21.00 K5			Normal 40.00 m.F projenin gerektirdiği kadar K5 20.00 20.00 K5			Normal 15.00 m.F projenin gerektirdiği kadar K5 7.50 7.50 K5			Normal 15.00 m.F projenin gerektirdiği kadar K5 7.50 7.50 K5		
* Projelendirilen yolun yapımın bitiminden itibaren 20 yıl sonra ulaştıracağı hesaplanan trafik değeri. ** Kar ve Buzlanma olmayan kesimlerde % 10'a kadar artırılabilir. *** Düşük arızalılık dereceli kesimlerde banket genişlikleri imla tarafında 50 cm fazla, farma tarafında 50 cm azlık uygulanır.		Karayolları Standartlar Kurulu tarafından hazırlanmıştır.			ONAY 6/7/1983			Turan ERKİN Genel Müdür					

Karayolu yatırımlarının karlılık miktarının belirlenmesi için, yolu kullanacak taşıt sayısının bilinmesi gereklidir. Bir karayolunun yatırım giderleri, bakım giderleri ve işletme giderleri, yolun geometrik standartlarına ve kaplama cinsine göre değişir. Düşük standartlı yollarda yatırım masrafları daha az olmasına karşın, bakım giderleri ve işletme giderleri yüksek standartlı yollara oranla oldukça yüksektir. Ancak yine de yüksek geometrik standartlı yollar, yüksek trafik hacmine sahip olan yollar için uygulanmalıdır. Çünkü elde edilecek faydalar, ancak bu şekilde artar. Bu sebeple, yerel şartlara göre, trafik hacmi fazla yüksek olmayan, trafiğin gerektirdiği şekilde daha ucuz kaplamalı yollar yapmak daha ekonomiktir. Trafik hacminin artmasına bağlı olarak karayolunun yüzeyi, en yüksek standarttaki yüzey kaplamasına kadar kademeli olarak arttırılabilir. Böylece yoldaki trafik artışına bağlı olarak o karayoluna yapılan yatırım giderleri, karayolunu kullananların sağlayacağı faydalarla karşılanmış olur. Bu da ekonomik açıdan uygundur. Ancak başlangıç yatırım masrafı düşük olan bir karayolu ekonomik anlamına gelmez. Standartlara uygun olarak, düşük kaliteli bir yüzeyle kaplanmış karayolu fazla trafik hacmine bağlı olarak çok pahalı bir karayoluna dönüşebilir. Aynı zamanda yüksek kaliteli bir yüzey kaplaması olan yolda trafik hacminin az olması durumunda bakım ve işletme masrafları az olmasına karşın yine de ekonomik bir yol olmayabilir.(Ünver, 1971)

Proje elemanlarında yolun, geçtiği araziye bağlı olarak farklı standartlar uygulanabilmektedir. Karayolu geometrisi, yolu kullananların ve yoldaki taşıtların özelliklerine bağlıdır. Karayolu geometrik standartlarının oluşturulmasında, güvenli ve ekonomik bir trafik akışı sağlanması için; trafik hacmi, trafik kompozisyonu ve hız önemlidir. Zemin durumu, iklim koşulları, arazi kullanım şekli, kent içindeki yaya hareketleri ve ekonomik koşullar yol standartlarının seçiminde önemli faktörlerdir. (Umar ve Yayla, 1994)

2.1 Trafik Hacmi ve Bileşenleri

Karayolu projeleri, yolun trafiğe açıldığı yıl veya seçilen gelecekteki bir yıl için trafik hacminin artışına bağlı olarak belirli bir hizmet süresi sonundaki trafik hacmine göre yapılmaktadır. Bu süre genellikle 10 yıl ile 25 yıl arasındadır.

Karayolu projelerinde yol geometrik standartlarının seçiminde, trafik miktarı olarak,

- Yıllık Ortalama Günlük Trafik (YOGT)
- Proje Saatlik Trafiği (PST)

değerleri kullanılmaktadır. YOGT değeri zaman içinde trafik değişimini çok net yansıtmadığı için PST değeri yol standartlarının seçiminde tercih edilmektedir. Ancak en yüksek PST

değerine göre standartların seçilmesi maliyeti arttırmaktadır. Çünkü karayolu sürekli bu hacimdeki bir trafiğe sahip değildir. Ortalama PST değerine göre karayolunun standartları belirlendiği zaman da, karayolundan çoğu zaman bu değerden daha fazla trafik miktarı geçecek demektir ki, bu da standartların yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple bir karayolunun, yıllık trafik miktarı saatlere bağlı olarak bir grafik üzerinde incelenmiştir. Bu grafikte, 30.Saat civarındaki trafik miktarının, insanların günlük ihtiyaçlarının sebep olduğu trafik debileri toplamından oluştuğu görülmüştür. 30.saat civarındaki trafik miktarının bir çok yolda, o yolun YOGT miktarının 1/6'sı kadar olduğu görülmüştür. Bu sebeple proje trafiğinin hesaplanmasında, yıllık ortalama günlük trafiğin yaklaşık 1/6'sına eşit kritik bir değer olan ve projede maksimum saatlik trafik miktarı olduğu varsayılan, 30.Saat Trafiği (ST) kullanılmaktadır. Buna göre proje trafiği; (Sonuç, 1983; Umar ve Yayla, 1994)

$$30ST = \frac{1}{6} \cdot K \cdot YOGT \quad (2.1)$$

$$K = \frac{T_n}{T_0} \quad (2.2)$$

$$T_n = T_0(1 + a)^n \quad (2.3)$$

eşitlikleri ile tanımlanmaktadır. Burada;

YOGT: Mevcut trafiğe ait YOGT,

K : Artış faktörü,

T_n : n yıl sonraki trafik,

T_0 : Hesap yılındaki trafik,

a :Trafik yıllık ortalama artış yüzdesi,

olarak ifade edilebilir. Trafik miktarının etkili olduğu diğer önemli bir unsur ise, üstyapı projelendirmesidir. Kaplama, temel ve alttemelden oluşan üstyapının projelendirilmesinde de trafik miktarı ve trafik cinsi önemlidir. Trafik miktarı; yol genişliğinin (şerit sayısının), trafik cinsi; maksimum boyuna eğim değeri, rampa uzunluğu ve minimum kurp yarıçapının belirlenmesinde dikkate alınan bir parametre olup, taşıt cinsi, sürücü davranışı, yatay ve düşey kurp durumu, yolun enkesit ve boykesiti, görüş imkanı, kaplama, platform, trafik durumu gibi faktörlerden etkilenmektedir.

2.2 Arazi Topoğrafyası

Çizelge 2.1'de verilen KGM Karayolu Geometrik Standartlarına göre, her arazi tipine ait farklı geometrik standartlar söz konusu olup, yol güzergahının geçtiği arazi topoğrafyası,

- Düz
- Dalgalı
- Dağlık

arazi olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tür bir sınıflandırmanın yapılması özellikle dağlık arazilerde yol yapım maliyetinin azaltılması açısından önem taşımaktadır.

2.3 Proje Hızı

Karayolu projelerinde uygun proje hızının seçilmesi çok önemlidir. Çünkü, karayolu proje elemanları, proje hızına, proje hızı; trafik hacmine, arazi şartlarına ve bütçe olanaklarına bağlı olarak belirlenmektedir. Proje hızının belirlenmesi, yolun yapım ve bakım maliyetinde önemli bir etkidir. Farklı proje hızları farklı hizmet düzeylerini ifade etmektedir. Böylece farklı proje hızlarının kullanılmasıyla, diğer proje elemanları arasında uyum ve ekonominin sağlanması amaçlanmaktadır. Hizmet düzeyi, hız, seyahat süresine, trafik kısıtlamalarına, güvenlik ve konfor gibi bir çok etkene bağlı olarak belirlenmektedir. Hizmet düzeyi, A, B, C, D, E ve F olarak tanımlanmaktadır. A hizmet düzeyi; hızın, sürücüye, yola ve hız kısıtlamalarına bağlı olarak değiştiği, trafik akımının rahat ve diğer taşıtlardan en az etkilendiği hizmet düzeyidir ve hizmet düzeyleri içinde en iyisidir. B hizmet düzeyi; hızın ve sürücü davranışlarının, trafiğe bağlı olarak A hizmet düzeyine oranla biraz sınırlandırıldığı hizmet düzeyidir. B hizmet düzeyi, kırsal yolların projelendirilmesinde tercih edilmektedir. C hizmet düzeyi; kent içi yolların projelendirilmesinde kullanılan, hızın ve sürücü davranışlarının A ve B hizmet düzeylerinden daha fazla kısıtlandığı hizmet düzeyidir. D hizmet düzeyi; hızda ve sürücü davranışlarında önemli ölçüde kısıtlamaların olduğu hizmet düzeyidir. E hizmet düzeyi; hızın 50km/s'e kadar düştüğü, trafik sıklığının ve trafikte duraksamaların meydana geldiği hizmet düzeyidir. F hizmet düzeyi; hızın 50km/s'den daha düşük olduğu, trafik akımında tıkanmaların görüldüğü en kötü hizmet düzeyini ifade etmektedir. Karayolu Geometrik Standartlar tablosunda, proje elemanlarının standartlarının belirlenmesinde D hizmet seviyesi esas alınmıştır. Proje hızı, yolun sınıfına, arazi yapısına, trafik özelliklerine ve kırsal- kentsel yol olmasına bağlı olarak belirlenmektedir ve proje elemanlarının çoğu proje hızı tarafından kontrol edilmektedir. (Sonuç, 1983; Umar ve Yayla, 1994, Kiper, 2002)

Geometrik standartlar uygulanırken yolun uzun olması durumunda yol boyunca aynı standartların uygulanması ekonomik olmamaktadır. Böyle durumlarda, yolda bazı kısımlarda farklı proje hızı ve farklı standartlar uygulanabilmektedir. Ancak bu standartlar arasında çok büyük farklar olmamasına ve kısımlar arasında uyum sağlanmasına dikkat edilmelidir. Hızlı trafik artışı sebebiyle, ekonomiye çok yük getirmediği sürece proje hızını yüksek tutmak daha uygun olmaktadır. (Ünver, 1971)

2.4 Yatay Eksene Ait Karayolu Proje Elemanları

2.4.1 Minimum Yatay Kurp Yarıçapı (R)

Karayolu projelerinde, yol geçkisi aliyman, yatay kurp ve geçiş eğrilerinden oluşmaktadır. Yatay kurplar güvenlik, konfor ve kapasite açısından karayolunun önemli kısımlarıdır ve iyi bir projelendirme ile karayolundan beklenen verim sağlanabilmektedir. Genellikle basit daire yaylarından oluşan yatay kurpların projelendirilmesinde, kurp yarıçapı önemli bir faktördür. Farklı proje hızları için uygun minimum kurp yarıçapı, maksimum dever ve tekerlekler ile kaplama arasında ortaya çıkan yanal sürtünmeye bağlı olarak belirlenmektedir. Çünkü taşıtlar yatay kurba girdikleri zaman merkezkaç kuvveti ile kurp dışına itilirler. Merkezkaç kuvveti ise yola dever verilmesiyle oluşan taşıt ağırlığının bileşeniyle, taşıt tekerlekleri ve yol arasındaki yanal sürtünmeyle karşılanmaktadır. AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) tarafından proje hızına bağlı olarak yanal sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Bu yanal sürtünme katsayı değerleri, hızın 50km/s ve 120km/s arasında değişmesi durumunda, 0.16 ile 0.12 arasında değer alır. Dever, sürücü konforu açısından da önemli bir parametredir. Proje hızı ve maksimum devere bağlı olarak minimum kurp yarıçapı;

$$R = \frac{V^2}{127.4(e + f)} \quad (2.4)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada;

R: Kurp yarıçapı(m)

V: Taşıt hızı(km/saat)

f: Yanal sürtünme katsayısı

e: Maksimum dever(m/m)

olarak tanımlanabilir.

2.4.2 Minimum Klotoid Parametresi (A)

Bir karayolu geçkisini oluşturan yatay kurbalar kapasite, güvenlik ve seyahat konforu için önemli yol kesimleridir ve karayollarında uzun aliymanlar yerine, büyük yarıçaplı kurplarla birleştirilmiş kısa aliymanlardan oluşan yol geçkileri tercih edilmektedir. Böylece, refüj ile bölünmemiş yollarda gece yolculuklarında far ışıklarının sürücüyü rahatsız etmesi, doğu batı

yönündeki uzun aliymanlarda güneşin sürücü üzerindeki olumsuz etkisi, uzun aliymanların sürücüleri yormaları gibi karayolu güvenliği açısından da oldukça önemli olan sorunlar giderilmiş olur (Sonuç, 1983). Ancak kullanılan yatay kurpların yarıçapı düşük olduğu zaman, taşıt kurba girdiğinde, taşıtı kurbun dışına doğru devirmeye ve kaydırmaya çalışan bir merkezkaç kuvveti oluşmakta ve bu kuvvet taşıt stabilitesini bozarak yolcuları rahatsız etmektedir. Bu sebeple, aliyman ve dairesel kurplar arasında geçiş eğrileri yerleştirilmektedir. Geçiş eğrileri, yolun doğru kısmından dairesel kısmına hızlı, güvenli, ve konforlu bir geçiş sağlamaktadır. Karayollarında genellikle geçiş eğrisi olarak klotoid kullanılmaktadır. Klotoid eğrisi üzerinde herhangi bir noktadaki yarıçap R ve bu noktadan başlangıç noktasına kadar olan uzaklık L_S ile gösterilirse R ve L_S arasında;

$$A^2 = R.L_S \quad (2.5)$$

bağıntısı vardır. Buradaki A değeri klotoidin parametresini gösterir.

Değişik koşullara göre araştırılan klotoid parametrelerinde en büyük parametreyi veren koşul seçime esas alınır.

1. Dinamik Koşul Kriteri :

Dinamik koşul kriterinde, araca etki yapan merkezkaç kuvvet ivmesinin değişimi kriter olarak alınır.

Dinamik koşula göre açık yollarda klotoid parametresi;

$$A_{\min} = 0.17\sqrt{V^3} \quad (2.6)$$

$$A^2 = L_K \times R \quad (2.7)$$

$$L_S = \frac{V^3}{18.7 \times R} \quad (2.8)$$

A: Parametre, V: Proje hızı(km/s), L_S : Klotoid boyu (m)

2. Optik Koşul Kriteri:

Klotoidin görünüşü ile ilgili olan koşuldur.

Optik koşula göre açık yollarda klotoid parametresi,

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \quad (2.9)$$

3. Dever Koşulu:

Yollarda dever rakordmanının geçiş eğrisi boyunca yapılması uygundur. Dever koşuluna göre klotoid parametresi;

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{b}{2} \times R \times \frac{d + q_e}{0.05}} \quad (2.10)$$

Dever;

$$d = 0.00443 \times \frac{V^2}{R} \quad (2.11)$$

b: Platform genişliği,

q_e : Çatı eğimi (-0.02)

Hesaplamalarda her üç kritere göre bulunan parametrelerden hangisi büyükse, o değere yakın olan yuvarlatılmış bir değer klotoid parametresi olarak alınır. Kurp yarıçapının küçük olması halinde dinamik koşulla, büyük olması halinde optik koşulla bulunan parametre daha uygun sonuçlar vermektedir. Karayolu geometrik standartları tablosunda yol standartlarına bağlı olarak A parametresi için minimum değerler mevcuttur ve proje hesapları bu değerler dikkate alınarak yapılmaktadır.

2.4.3 Dever (d)

Karayolunda yatay kurba giren bir taşıtı, kurp dışına itmek veya devirmek isteyen merkezkaç kuvveti oluşmaktadır. Oluşacak merkezkaç kuvveti şu eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$F = \frac{W}{g} \frac{v^2}{R} \quad (2.12)$$

Burada;

F: Merkezkaç kuvveti(kg)

M: Taşıtların ağırlığı(kg)

v: Taşıtların hızı(m/sn)

R: Yatay kurp yarıçapı(m)

g: Yerçekimi ivmesi(m/sn²)

Taşıtların kurp içerisinde güvenli bir şekilde yollarına devam edebilmeleri için oluşacak merkezkaç kuvvetinin emniyetli bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Merkezkaç kuvveti, yol yüzeyiyle taşıt tekerlekleri arasındaki sürtünme kuvvetiyle veya kurplarda yolun dış kenarı yükseltilerek oluşan taşıt ağırlığının yatay bileşkesi ve sürtünmeyle birlikte karşılanmaktadır. Sürtünme kuvveti, kurp yarıçapı büyük ve proje hızı düşük olduğu durumlarda tek başına merkezkaç kuvvetini karşılayabilmektedir.

2.4.3.1 Geçiş Eğrisiz Kurplarda Dever

Aliyman üzerindeki iki şeritli yollara, eksenden itibaren banketlere doğru sağa ve sola % 2 eğim verilir. Bu eğimin yavaş yavaş şekil değiştirerek, kurba merkezine doğru üniform duruma gelmesi gereklidir. Bu geçişin yolcuyla rahatsız etmeden ve taşıtın stabilitesini bozmadan gerçekleşmesi için, uygulamada dever verilmesine alinymanda başlanır ve dever kurbada maksimum değerine ulaşır. Dever kurp boyunca aynen devam eder ve kurp çıkışında girişteki işlemin simetrisi uygulanır. Dever, rakordman boyu boyunca verilir.

Türkiye’de dever ve rakordman boyu için Karayolları Genel Müdürlüğü şu bağıntıları kullanmaktadır:

$$d = 0.00443 \times \frac{V^2}{R} \quad (2.13)$$

$$L_d = 0.0354 \times \frac{V^3}{R} \quad (2.14)$$

d : Dever

L_d : Rakordman boyu

Rakordman boyunda %1’lik deverin uygulanacağı aralık ve aralığın bitimindeki dever yükselme değeri aşağıdaki eşitliklerle belirlenir:

$$\varepsilon_i = \frac{L_d}{d - q_e} \text{ (m)} \quad (2.15)$$

ε_i : rakordman boyunda %1’lik deverin uygulanacağı aralık

$$h_i = \frac{b}{2} \times q_i = \frac{b}{2} \times (r_i + q_e)$$

$h_i = \varepsilon_i$ aralığının bitimindeki yarıyola verilen dever yüksekliği

r_i : ε_i aralığının bitimindeki dever artım değeri (0, 0.01, 0.02,...)

q_i : ε_i aralığının bitimindeki yarıyolun m eğimi ($q_i = r_i + q_e$)

Yatay kurplarda dever uygulaması üç şekilde yapılır:

- Yol eksen hattı sabit tutulup, iç kenar hattı düşürülüp, dış kenar hattı yükseltilecek,
- Yol iç kenar hattı sabit tutulup, eksen ve dış kenar hattı yükseltilecek,
- Yol dış kenar hattı sabit tutulup, eksen ve iç kenar hattı düşürülerek.

Bu yöntemler içerisinde en çok uygulanan, boykesitte noktaların kırmızı kotlarını değiştirmeyen eksen hattının sabit alındığı yöntemdir. Dever uygulamasında kullanılacak yöntem belirlenirken, dever verilecek yol kesiminin yarma veya dolguda olması ve drenaj durumu dikkate alınır.

2.4.3.2 Geçiş Eğrili Kurplarda Dever

Geçiş eğrili dever uygulamasında rampa boyu (k), çatı enkesit eğiminden, lineer dever enkesit eğimine geçiş için gerekli olan uzaklıktır.

\ddot{U}_A : Geçiş eğrisinin alinymana teğet olduğu başlangıç noktası

\ddot{U}_E : Geçiş eğrisinin kurba teğet olduğu bitiş noktası

q_e : Alinymandaki çatı enkesitinin enine eğimi

Eksen çizgisi sabit tutulursa;

$$k = \frac{2 \times L_S \times h_4}{h_a - h_4} \quad (2.16)$$

$$h_a = (b/2) \times d \quad h_4 = (b/2) \times q_4 \quad (2.17)$$

L_S : Geçiş eğrisi uzunluğu

h_a : \ddot{U}_E noktasındaki eksenle dış kenar çizgileri arasındaki kot farkı yani \ddot{U}_E noktasındaki maksimum dever yükselme değeri

h_4 : \ddot{U}_A noktasındaki dever yükselme değeri

İç kenar sabit ise;

$$k = \frac{L_S \times h_4}{h_a - h_4} \quad (2.18)$$

$$h_a = b \times d \quad h_4 = b \times q_4 \quad (2.19)$$

h_a : Ü_E noktasındaki kenar çizgileri arasındaki kot farkı

h_4 : Ü_A noktasındaki kenar çizgileri arasındaki kot farkı

Geometrik standartlar için maksimum dever değeri belirlenirken, iklim şartları, arazi tipi, bölgesel özellikler ve trafik kompozisyonu dikkate alınmaktadır. KGM ve diğer ülkelerdeki standartlara bağlı olarak dever %6-%10 arasında değişmektedir. Projelendirme de karayolu standardına göre maksimum dever değeri seçilerek proje hızına da bağlı olarak, yatay kurp yarıçapında değişiklik yapılmaktadır.

2.5 Düşey Eksene ait Karayolu Proje Elemanları

2.5.1 Duruş Görüş Uzunluğu(Ld)- Geçiş Görüş Uzunluğu (Lg)

Görüş uzunluğu, karayolunda seyreden bir sürücünün önünde yolu ileri yönde net görebildiği mesafedir. Görüş uzunluğu, yolun kapasitesi ve yoldan yararlananların güvenliği açısından önemli bir faktördür. Karayolu projelerinde sürücülerin önlerine çıkan bir engele çarpmadan durabilecekleri bir görüş uzunluğunun sağlanması gerekmektedir. Ayrıca sürücülerin iki şeritli yollarda önlerindeki taşıtı güvenli bir şekilde sollayıp tekrar kendi şeritlerine dönmelerini sağlayacak geçiş görüş uzunluğu sağlanmalıdır. Karayolunda emniyetli görüş uzunluğu ise, tüm karayollarında uygulanan emniyetli duruş uzunluğu ile sadece iki şeritli karayollarında uygulanan emniyetli geçme uzunluğu olmak üzere iki şekildedir. Minimum emniyetli duruş uzunluğu, intikal ve reaksiyon uzunluğu ile fren uzunluğunun toplamından oluşmaktadır. İntikal zamanı, sürücünün engeli görüp, engelin önünde olduğunu ve durması gerektiğini anladığı ana kadar geçen süredir. Karayolu projeleri için emniyetli duruş uzunluğu belirlenirken, reaksiyon süresi olarak sürücülerin genelde 2.5 saniyeye ihtiyaç duydukları belirlenmiştir. Fren uzunluğu şu eşitlikle hesaplanmaktadır (Umar ve Yayla, 1994);

$$s = \frac{V^2}{254f} \quad (2.20)$$

Burada;

s: Fren uzunluğu(m)

f: Tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki kayma sürtünme katsayısı

olarak tanımlanabilir. Duruş görüş uzunluğu, reaksiyon uzunluğu ile fren uzunluğunun toplamından oluşmaktadır. Duruş görüş uzunluğu aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$L_{fe} = 0,278.V.t_r + 0,00394.\frac{V^2}{f \mp s} \quad (2.21)$$

Burada;

L_{fe} : Duruş görüş uzunluğu(m)

V: Taşıt hızı(km/s)

t_r : İntikal reaksiyon süresi(sn)

f : Tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki kayma sürtünme katsayısı

s : Yolun eğimi

KGM tarafından taşıtların proje hızlarına bağlı olarak gerekli olan toplam emniyetli duruş uzunlukları aşağıda çizelge 2.2’te verilmiştir.

Çizelge 2.2 KGM proje hızına bağlı emniyetli duruş mesafeleri

Projede kabul edilen hız		İntikal ve reaksiyon		Fren				Toplam emniyetli duruş mesafesi (m)
V (km/saat)	v (m/sn)	Süre (sn)	Mesafe (m)	Sürtünme katsayısı	Emniyet faktörü	Emniyet sürtünme katsayısı (f)	Fren mesafesi (m)	
10	2.78	3.5	9.73	0.70	1.25	0.56	0.70	10.43
20	5.56	3.35	18.63	0.68	1.25	0.54	2.91	21.54
30	8.33	3.20	26.66	0.66	1.25	0.53	6.68	33.34
40	11.11	3.05	33.89	0.64	1.25	0.51	12.34	46.23
50	13.89	2.90	40.28	0.62	1.25	0.50	19.67	59.95
60	16.67	2.75	45.84	0.60	1.25	0.48	29.50	75.34
70	19.44	2.60	50.54	0.58	1.25	0.46	41.90	92.44
80	22.22	2.45	54.44	0.56	1.25	0.45	55.95	110.39
90	25.00	2.30	57.50	0.54	1.25	0.43	74.10	131.60
100	27.78	2.15	59.73	0.52	1.25	0.42	93.66	153.39
110	30.56	2.00	61.12	0.50	1.25	0.40	119.00	180.12
120	33.33	1.85	61.66	0.48	1.25	0.38	149.07	210.73
130	36.11	1.70	61.39	0.46	1.25	0.37	179.68	241.07
140	38.89	1.55	60.28	0.44	1.25	0.35	220.30	281.58
150	41.67	1.40	58.34	0.42	1.25	0.34	260.33	318.67
160	44.44	1.25	55.55	0.40	1.25	0.32	314.71	370.26

İki ve üç şeritli yollarda, yolun kapasitesini düşürmemek için, hızlı giden taşıtlara, yavaş giden taşıtları sollayarak geçme imkanı verilmektedir. Hızlı bir taşıtın yavaş giden bir taşıtı güvenli bir şekilde sollayıp geçmesini sağlayan geçiş görüş uzunluğunda iki durum söz konusudur.

- Karşı yönden gelen taşıt yoksa aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır;

$$l_s = \frac{2.d_s.v_1}{v_1 - v_2} \quad (2.22)$$

Burada;

l_s : Karşı yönden gelen taşıt yokken sollama ile geçiş uzunluğu(m)

v_1 : Sollayan taşıtın hızı(m/sn)($v=V/3.6$ km/s)

v_2 : Sollanan taşıtın hızı(m/sn)

d_s : Sollayan taşıtla sollanan taşıt arasındaki geçmeden önceki ve sonraki mesafeler toplamı(m)

- Karşı yönden gelen taşıt varsa aşağıdaki eşitlik geçerlidir;

$$L_G = \frac{2.d_s}{v_1 - v_2} (v_1 + v_3)$$

Burada;

L_G : Karşı yönden gelen taşıt varsa sollama ile geçiş uzunluğu(m)

v_3 : Karşı yönden gelen taşıtın hızı(m/sn)

d_s : Sollayan taşıtla sollanan taşıt arasındaki geçmeden önceki ve sonraki mesafeler ile karşı yönden gelen taşıtın sollama esnasında aldığı mesafelerin toplamı(m)'dir.

Ayrıca, güvenli bir ulaşım için taşıtlar arasında belli bir takip mesafesinin de bulunması gerekir.

$$d_a = 8 + 0,3.V + 0,0065.V^2 \quad (2.23)$$

Burada;

d_a : Taşıt takip aralığı(m)'dir.

Çizelge 2.3 Düz arazide proje hızlarına bağlı geçiş görüş uzunlukları (Kiper, 2002)

Proje hızı (Km/s)	Geçiş görüş mesafesi (m)
40	240
50	310
60	380
70	460
80	530
90	600
100	670
110	740
120	790

Karayolu projelerinde, görüş uzunlukları hıza bağlı olarak değişmekte olup, düşey kurp tasarımı ve aliyman tasarımında önemli bir parametredir.

2.5.2 Maksimum Eğim(m)

Maksimum eğim, karayolu geometrik standartları tablosuna göre düz arazi yapısı için, birinci sınıf karayolunda, %4, ikinci sınıf karayolunda, %5 ve üçüncü sınıf karayolunda %6 olarak uygulanmaktadır. Maksimum eğim, yatay eksen ve yol işletimini denetleyerek, ağır taşıtların hızlarını azaltmadan yollarına devam edebilmelerini sağlamak için projede kritik eğim boyunun da dikkate alınmasını, bunun sağlanamaması durumunda ilave şerit yapılması gibi önlemlere başvurulmasını sağlamaktadır.

2.5.3 Minimum Eğim

Bordürlü yollarda yüzeysel drenajın sağlanması için minimum boyuna eğim değeri olarak %0.5 kullanılmaktadır. Bu değer yol platformunun yeterince bombelenmiş olmasına ve alt temelin sağlamlığına bağlı olarak %0.35'e değerine düşürülebilmektedir. Yeteri kadar bombelenmiş bordürsüz platformlarda ise düz ve yatık eğimler kullanılabilir. Drenaj açısından önemli bir geometrik parametredir.

2.5.4 Açık ve Kapalı Düşey Kurplarda Kurp Uzunluğu (L)

Bir karayolu geçkisinin düşey düzlemdeki izdüşümünü gösteren boykesiti üzerinde, toprak işi sonucunda, bu geçki ekseninin boykesitteki durumunu belirleyen kırmızı çizgi, doğru parçaları ile bu doğru parçalarını birbirine bağlayan ve düşey kurp adı verilen eğri kısımlardan oluşmaktadır. Düşey kurplar, birbirini izleyen iki kırmızı çizgi kolunun eğimlerinin cebrik farkının 0'dan büyük olması halinde(+); kapalı(tepe) düşey kurp, 0'dan küçük olması halinde(-); açık (dere) düşey kurp olarak teşkil edilir. Düşey kurplar parabol ya da yarıçapı çok büyük olan daire yaylarıdır.

Parabolik düşey kurba eşdeğer daire yayının yarıçapı;

$$L = R \cdot |g_1 - g_2| \quad (2.24)$$

formülüyle bulunur.

Bu formülde;

R : Parabolik düşey kurba eşdeğer dairenin yarıçapı

L : Parabolik düşey kurbun yatay izdüşüm uzunluğu.

Bir karayolu projesinde düşey kurplar, emniyeti, konforu, yeterli drenajı ve ekonomiye bağlı olarak daha uzun görüş uzaklığını sağlamak zorundadır. Kapalı düşey kurplarda parabolik

kurp uzunluğunun, minimum duruş veya minimum geçiş uzaklığını sağlayacak miktarda olması gerekmektedir. Kapalı düşey kurplarda emniyetli duruş uzaklığı, proje hızına bağlı olarak sürücünün, kurbun tepe noktasının ilerisinde kaplamanın 10cm üstündeki bir cismi gördükten sonra durabilmesi için gerekli uzaklıktır. Yapım maliyetine ve drenaj durumuna bağlı olarak minimum değerden daha büyük kurp uzunlukları kullanılabilir. Geçiş görüş uzunluğu ise, duruş görüş uzunluğundan daha uzun olduğu için hem sağlanması zor, hem de daha masraflı olmaktadır. Özellikle iki şeritli birinci sınıf yollarda kullanılması daha uygun olmasına ve bazı koşulları iyileştirmesine rağmen, geçiş uzunlukları dikkate alındığında, yol maliyetinde oluşacak ek harcamalar, ekonomik açıdan uygulanabilirliği olumsuz etkilemektedir. KGM tarafından kapalı düşey kurplarda farklı proje hızları ve eğim farklarına bağlı olarak duruş görüş uzunluğu ve geçiş görüş uzunluğunu sağlayan, parabolik kurp uzunluklarını veren değerler aşağıda çizelge 2.6'da verilmiştir.

Açık düşey kurplarda, minimum duruş ve geçiş uzaklığını sağlayacak, parabolik kurp uzunluğu far ışıklarına göre belirlenmektedir. Açık düşey kurplarda, kapalı düşey kurplara göre, görüş daha açık, daha az tehlikeli ve kurp boyunun uzatılması normal şartlarda maliyeti daha az etkilemektedir. KGM tarafından açık düşey kurplarda, proje hızlarına ve eğim farklarına bağlı olarak parabolik kurp uzunluklarını veren değerler aşağıda çizelge 2.7'de verilmiştir. Düşey kurp uzunluğunun seçimi, sürücü, taşıt, yol özellikleri ve görüş mesafesine bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 2.4 KGM Kapalı düşey kurplarda, proje hızlarına ve eğim farklarına bağlı olarak parabolik kurp uzunlukları

G=g ₁ -g ₂	Hız (km/s)												
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
01										50	130	200	300
02							90	140	220	270	360	470	630
03				40	80	120	160	220	310	400	540	700	940
04		10	40	80	110	160	220	300	410	530	720	930	1250
05	5	40	70	100	140	200	270	370	510	660	900	1160	1560
06	20	50	80	120	170	240	320	450	610	790	1080	1390	1870
07	30	60	90	140	200	280	380	520	710	930	1260	1620	2180
08	40	70	110	160	220	320	430	590	810	1060	1440	1850	2490
09	50	80	120	180	250	360	480	670	910	1190	1620	2080	2800
10	50	90	130	200	280	400	540	740	1010	1320	1790	2310	3110
11	60	90	140	220	310	440	590	810	1120	1450	1970	2540	3420
12	60	100	160	240	330	480	640	890	1220	1580	2150	2770	3730
13	70	110	170	260	360	520	690	960	1320	1720	2330	3000	4040
14	70	120	180	280	390	560	750	1030	1420	1850	2510	3240	4350
15	80	130	200	300	420	600	800	1110	1520	1980	2690	3470	4660

Çizelge 2.5 KGM açık düşey kurplarda, proje hızlarına ve eğim farklarına bağlı olarak parabolik kurp uzunlukları

G=g ₁ -g ₂	Hız (km/s)												
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
01													
02													
03			10	30	40	60	80	100	130	150	190	220	260
04	20	30	50	70	90	110	140	170	200	230	280	320	380
05	30	50	70	90	110	140	170	210	250	290	350	400	470
06	40	60	90	110	140	170	200	250	300	350	420	480	570
07	50	70	100	130	160	20	240	290	350	410	490	560	660
08	60	80	110	150	180	230	270	330	400	490	560	640	760
09	60	90	130	160	200	260	310	370	450	530	630	720	850
10	70	100	140	180	230	280	340	420	500	580	700	800	950
11	80	110	150	200	250	310	380	460	550	640	770	880	1040
12	90	120	170	220	270	340	410	500	600	700	840	960	1140
13	90	130	180	230	290	370	440	540	650	760	910	1040	1230
14	100	140	190	250	320	400	480	580	700	820	980	1120	1320
15	110	150	210	270	340	430	570	620	750	880	1050	1200	1420

2.6 Enkesitlere ait Karayolu Proje Elemanları

Enkesit, arazinin enine durumunu belirlemek amacıyla, boykesit hattı boyunca, bir yolda kazı ve dolgu miktarlarını belirlemek için yapılır. Yapılacak işin önemine göre enkesit çıkarılacak arazi şeridinin genişliği belirlenir.

2.6.1 Platform Genişliği (PG)

Platform, yolun kaplama ve banketlerini kapsayan kısımdır. Platform genişliği, proje hızı, arazi şekli, trafik hacmi, güvenlik, yapım maliyeti gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Karayolu Geometrik Standartlarına göre, birinci sınıf devlet yollarında düz araziler için; 12.00m, dalgalı ve dağlık araziler için 11.00m, ikinci sınıf devlet yollarında düz araziler için; 10.00m, dalgalı ve dağlık araziler için 9.50m, üçüncü sınıf devlet yollarında tüm araziler için; 8.00m değerleri kullanılmaktadır. Otoyollarda ise, şerit, banket, refüj otokorkuluk payları, refüj banketi genişliklerine ve yolun şerit sayısına bağlı olarak belirlenmektedir.

Platform genişliğinin artması, toprak işi maliyeti ve üstyapı maliyeti üzerinde önemli bir artışa sebep olmaktadır.

2.6.1.1 Şerit Genişlikleri (I)

Karayolunda, güvenlik, verimlilik, işletme ve ekonomi açısından şerit genişlikleri çok önemlidir. Şerit genişliği arttıkça yolun emniyeti ve maliyeti artmakta, rahat trafik akışı sağlanmaktadır. Karayolu geometrik standartlarına göre şerit genişlikleri için; tüm birinci sınıf devlet yolları ve düz arazi şekline sahip ikinci sınıf devlet yollarında; 3.50m, ikinci sınıf dalgalı ve dağlık arazi şekline sahip devlet yollarında; 3.25m, üçüncü sınıf tüm devlet yollarında; 3.00m, otoyollarda 3.75m değerleri kullanılmaktadır.

2.6.1.2 Banket Genişlikleri (b)

Banketler, yolun trafik şeridinin her iki yanında yol boyunca devam eden kısımlardır. Banketlerin genişliği, yapılacak toprak işinin, miktarının ve maliyetinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Karayollarında banketler, sürüş emniyeti sağlamak, kaplamaya destek olmak, yolun kapasitesini arttırmak, yarmalarda görüş mesafesini arttırmak, estetik bir görüntü sağlamak ve kaplamayı aşırı sudan korumak gibi önemli işlevlere sahiptir. Karayolu geometrik standartlarına göre, banket genişlikleri; birinci sınıf düz arazi şekline sahip devlet yolları için; 2.50m, birinci sınıf dalgalı ve dağlık arazi şekline sahip devlet yolları için; 2.00m, ikinci sınıf tüm devlet yolları için; 1.50m ve üçüncü sınıf tüm devlet yolları için; 1.00m olarak alınmaktadır. Ancak dağlık arazilerdeki karışık kesitlerde banket genişlikleri, dolgu tarafında 50cm fazla, yarma tarafında 50cm eksik uygulanabilmektedir. Otoyollarda uygulanan banket genişliği ise 3.00m'dir.

2.6.2 Kamulaştırma Genişliği (KG)

Karayolunun, yapımı, bakımı ve drenajı için başlangıçta yeterli kamulaştırma genişliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Kamulaştırma genişliği, yolun sınıfına ve şerit sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Gelecekteki trafik artışı da dikkate alınarak ekonomi elverdiği sürece kamulaştırma genişliğini fazla almakta fayda vardır. Başlangıçta yolun yeterli kamulaştırma genişliğine sahip olması, ileride trafik hacminde artış olduğu zaman kolaylıkla ve daha az maliyetle yolun genişletilmesine olanak sağlamaktadır. Artan nüfus ve araç sahipliğine karşı arazi miktarının sabit kalması, kamulaştırma maliyetini arttırmaktadır. Kamulaştırma maliyeti, arazinin bulunduğu bölgeye ve arazinin özelliklerine göre yerel değişimler göstermektedir. Kamulaştırma maliyeti, konuma bağlı bir maliyet türü olup, yolun toplam maliyetini oldukça önemli bir şekilde etkileyen faktörlerden biridir. Bu maliyetin düşürülmesi için yolun geçeceği muhtemel güzergahlar üzerinde arazi kamulaştırma bedelleri göz önüne alınarak bir karşılaştırma yapılabilir. Karayolları geometrik standartlarına göre kamulaştırma genişlikleri, yapılan projeye bağlı olarak belirlenmektedir. Kamulaştırma genişliği için KGM, Karayolu standartlarına göre, birinci sınıf yollarda 60.00m, ikinci sınıf yollarda 40.00m ve üçüncü sınıf yollarda 15.00m ve bu değerlere \pm projenin gerektirdiği kadar bir değer eklenerek veya çıkarılarak bulunur. Otoyollarda da projenin gerektirdiği kadar kamulaştırma genişliği kullanılır. Kamulaştırma genişliğinin artması, kamulaştırma maliyetini artıracaktır.

3. KARAYOLU YATAY VE DÜŞEY EKSEN TASARIMI

Bir karayolu yatırımı yapılırken, karayolu geometrik standartları ve karayolu proje elemanlarına bağlı olarak yolun yatay ve düşey eksenlerinin tasarımı gerçekleştirilmektedir. Bir karayolu projesinde, yatay ve düşey eksen tasarımının, önceden tanımlanmış standartları sağlayacak şekilde sürücü, arazi, iklim, çevre gibi etkenlerin de göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir. Yatay ve düşey eksenler, yol geometrik standartlarına bağlı olarak, güvenli, konforlu, hızlı ve ekonomik bir ulaşım olanağı verecek şekilde ve birlikte tasarlanmalıdır. Bu tasarımda dikkat edilmesi gereken çevresel ve sosyal hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilirler.

_ Bölgenin doğal yapısı, bitki örtüsü, iklim, jeolojik yapı gibi araziye ait veriler dikkate alınmalıdır.

_ Tasarlanan yolun mevcut yollar ile kesişimini sağlayan kavşaklar geometrik ve fiziki standartları açısından birbiriyle uyumlu ve bir bütün olarak planlanmalıdır.

_ Seyahat süresini ve ücretlerini azaltarak, güvenli ve kapasite yönünden uygun bir ulaşım sağlanmalıdır.

_ Transit trafiğin güzergah ve standartları, kent trafiğini rahatsız etmemeli, mümkün oldukça yerleşme bölgelerinin dışından geçirilmeli, bölgeler arası ulaşımı çevre yollarıyla sağlamalıdır.

_ Yayaaların güvenliği açısından, onlara özel bölgeler oluşturulmalı, alt ve üst geçitlerin yerleri planda belirtilmelidir.

_ Diğer kamusal yapıların, motorlu taşıt trafiğinden en az şekilde etkilenmeleri sağlanmalıdır.

_ Motorlu taşıtların kullandığı yollar kirliliğe sebebiyet vermemek için kısa yapılmalıdır.

3.1 Karayolu Yatay Eksen Tasarımı

Karayolu yatay eksen, doğru parçalarından(alımanlar) ve bunlar arasına yerleştirilen dairesel eğrilerden ve geçiş eğrilerinden oluşmaktadır. Karayolunda, iki noktanın birbirine bağlanmasını sağlayan yatay eksen oluşturulurken, birçok geçki seçeneği ile karşılaşılmaktadır. Bir ön inceleme sonucu, yapım maliyeti çok yüksek olacağı tahmin edilen, zemin yapısı uygun olmayan ve arazi yapısına bağlı olarak ileride işletme ve bakım giderlerinin yüksek olacağı düşünülen eksenler elenmektedir. Bu elemelerden sonra kalan geçki seçeneklerinde, karayolu geometrik standartlarına bağlı olarak geçki eksenlerinin arazideki yerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu belirleme işlemi, yükseklik eğrili haritalar üzerinden yapılmaktadır.

Eş yükseklik eğrili haritalar üzerinde öncelikle A ve B gibi iki sabit nokta arası, belli bir eğimle eş yükseklik eğrilerini keserek bir noktadan diğer noktaya ulaşan toprak işi sıfır olan, sıfır poligonu ya da teorik geçki olarak adlandırılan bir geçkiyle birleştirilmektedir.

Sıfır poligonu kırıklardan oluştuğu ve çok uzun olduğu için bunun, geçki yatay ekseni olarak alınması mümkün değildir. Bu sebeple, sıfır poligonuna bağlı olarak sabit noktalar aliymanlarla birleştirilmektedir. Öncelikle aliymanları oluşturmak için some noktalarının yerleri belirlenir. Başlangıç ve bitiş noktalarıyla bu some noktaları birleştirilerek aliymanlar oluşturulur. Proje standartlarına bağlı olarak, bu aliymanlar arasına uygun yarıçaplı kurplar ve geçiş eğrileri yerleştirilip, kurp asal elemanlarının hesabı yapılarak, karayolu yatay ekseni tespit edilir.

Yatay eksen oluşturulduktan sonra, arazinin enine durumunu, kazı ve dolgu miktarlarını hesaplamak amacıyla boykesit hattı boyunca enkesit noktaları belirlenir. Enkesitlerin genişliği ve sıklığı yapılacak yolun standartlarına bağlı olarak belirlenir. Enkesit noktaları belirlendikten sonra bu noktaların, kilometrajları, kotları ve koordinatları hesaplanır. Proje hızının sağlanması, güvenlik, konfor ve maliyet açısından karayolunun yatay kurp kesimleri çok önemlidir.

3.1.1 Karayolu Yatay Eksen Tasarımında Dikkate Alınacak Teknik Etkenler

Karayolu yatay eksen tasarımında;

- Karayolu geometrik standartları,
 - Arazinin jeolojik yapısı,
 - Arazinin topoğrafyası
 - Bölgenin iklim koşulları
 - Ekonomi,
 - Estetik,
 - Demiryolları, dere geçişleri,
 - Turistik bölgeler, kent içi alanlar, tarihi eserler, ekili araziler
- dikkate alınarak,
- Sağlam zeminli,
 - Toprak işi az, ortalama taşın mesafesi küçük olan,

- Yer altı ve yüzeysel suların doğal drenajının uygun olduğu,
- Yol alt, üst ve sanat yapıları malzemelerinin kolay ve ucuza sağlanabildiği,
- Bakım maliyeti düşük olan,
- Tarım arazilerine zarar vermeyecek şekilde ve kamulaştırma bedeli düşük olan yerlerden geçmesi,
- Geçki de fazla iniş çıkış yapılmaması,
- Karayolu geometrik standartlarına bağlı olarak belirlenen minimum yarıçaplardan daha büyük değerlerin kullanılması
- Keskin kapalı düşey kurp bitimlerine keskin dönüşlü yatay kurp konulmaması,
- Arazi topoğrafyasına bağlı olarak açık ve görüşü olan yatay kurplar seçilmesi,
- Uzun aliymanlardan sonra keskin kurplar konulmaması, büyük yarıçaplı kurplardan küçük yarıçaplı kurplara ani geçiş yapılmaması, kurp yarıçaplarının yavaş bir şekilde artırılıp- azaltılması,
- Kurp uzunluğunun küçük sapma açılı kurplarda yeterli olması,
- Yüksek ve uzun dolgulara keskin kurplar konulmaması,
- Keskin dönüşlerde kombine kurp kullanılmaması, kombine kurp kullanıldığı zamanda büyük yarıçaplı kurbun küçük yarıçaplı kurbun 1.5 katından daha büyük olması,
- Dever uygulanabilmesi için, çok yakın ters kurplar kullanılmaması,
- Aynı yöndeki kurplar arasına kısa tanjantlar konulmaması,
- Dere geçişlerinin dik ve derenin dar olduğu yerde yapılması,
- Yerleşim yerlerinin dışından geçirilmesi,
- Yatay eksenle istenmeyen durumlarla karşılaşmamak için düşey eksenle birlikte tasarlanması,

gibi durumların dikkate alınması gerekmektedir. (Kiper, 2002; KGM, 2004)

3.2 Karayolu Düşey Eksen Tasarımı

Karayolu yatay ekseni oluşturulduktan sonra, yolun düşey düzlemdeki izdüşümünü gösteren ve belli bir ölçekle çizilen boykesitine geçilmektedir. Boykesitte öncelikle noktaların başlangıca olan uzaklıkları ve yükseklikleri belirtilerek, arazinin doğal durumunu gösteren

siyah çizgi oluşturulmaktadır. Siyah çizgi oluşturulduktan sonra, karayolu geometrik standartlarına bağlı olarak, doğru parçaları ile bunlar arasına yerleştirilen düşey kurplardan oluşan ve yolun toprak işi sonundaki eksenini gösteren kırmızı çizgi çizilmektedir.

Yol boykesiti çizilirken, önce geçki ekseninin plandaki izdüşümü belli bir ölçekte çizilir. Bu doğru üzerinde enkesit noktaları ve başlangıca olan uzaklıkları gösterilir. Her noktanın arazi kotu, belirli bir kıyas kotu seçildikten sonra, düşey düzlemde belirli bir ölçekte işaretlenir. Bu işaretlenen noktaların birleştirilmesiyle elde edilen kırık çizgi arazinin doğal durumunu gösteren siyah çizgidir. Arazi boykesiti üzerine, yolun tesviyesi sonunda yol ekseninin boykesitteki durumunu gösteren kırmızı çizgi çizilir. Boykesitte yatay ölçek 1/1000 veya 1/2000, düşey ölçek ise bunun 10 katı büyüklüğünde alınır. Boykesit üzerinde, siyah ve kırmızı kotlar, enkesit noktalarının sıra numaraları, başlangıca olan uzaklıklar, kesitlerin ara mesafeleri, boyuna eğimin değiştiği noktalar ve bu noktalar arasındaki eğim, yatay kurpların; başlangıç, bitiş ve orta noktaları, çeşitleri ve ölçüleri belirlenen sanat yapıları boykesit üzerinde gösterilmelidir.

Boykesit diyagramından düşey ölçeğe göre başlangıç (A), bitiş (B) ve düşey some(P_i) noktalarının grafik olarak kırmızı kotları belirlenir. Ayrıca düşey some noktalarının kilometrajları bulunur, boyuna eğim değerleri ve enkesit noktalarının kırmızı kotları hesaplanır.

3.2.1 Düşey Kurplar

Boykesitte, kırmızı çizginin eğim değiştirdiği yerlerde oluşan, ani düşey ivme değişimini en aza indirmek için parabol ya da yarıçapı çok büyük daire yaylarından oluşan düşey kurplar kullanılır. Düşey kurplar; boyuna eğimlerin cebrik farklarına göre;

$g_i - g_{i+1} > 0$ ise kapalı (tepe) düşey kurp

$g_i - g_{i+1} < 0$ ise açık (dere) düşey kurp

olmak üzere iki şekilde uygulanır.

3.2.1.1 Kapalı Düşey Kurp Hesapları

Kapalı düşey kurplar için, görüş uzunluğunun kurp uzunluğundan küçük olması halinde;

$$L = \frac{G \cdot S^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad (S < L) \quad (3.1)$$

eşitliği, büyük olması halinde ise;

$$L = 2S - \frac{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{G} \quad (S > L) \quad (3.2)$$

eşitliği kullanılarak minimum kurp uzunluğu bulunmaktadır.

L : Minimum düşey kurp uzunluğu

S : Görüş uzunluğu

h_1, h_2 : Sürücü gözünün ve yol üzerindeki bir engelin yol yüzeyinden olan yükseklikleri

Tepe düşey kurba hesabı, duruş görüş uzunluğu ve geçiş görüş uzunluğu olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Duruş görüş uzunluğunda; karayolları tarafından kullanılan $h_1 = 1,14\text{m}$ ve $h_2 = 15\text{cm}$ değerleri esas alınarak kurp uzunluğu için aşağıdaki genel bağıntılar kullanılmaktadır.

$$S < L \text{ ise} \quad L = \frac{GS^2}{4 \cdot 2} \quad (3.3)$$

$$S > L \text{ ise} \quad L = 2S - \frac{4 \cdot 2}{G} \quad (3.4)$$

Geçiş görüş uzunluğunda ise $h_2 = 1.37\text{m}$ alınarak;

$$S < L \text{ ise} \quad L = \frac{G \cdot S^2}{10} \quad (3.5)$$

$$S > L \text{ ise} \quad L = 2S - \frac{10}{G} \quad (3.6)$$

bağıntıları kullanılmaktadır. Bu şartlardan birini sağlayan L uzunluğu bulunarak, düşey kurp üzerindeki enkesitlerin kırmızı kot hesabına geçilir. Ancak kurp uzunluğunun konfor açısından devlet yollarında minimum 120m, il yollarında ise 80m olması gerekmektedir.

3.2.1.2 Açık Düşey Kurp Hesapları

Açık düşey kurplarda minimum kurp uzunluğu hesabında, yol üzerinde herhangi engel bulunmaması halinde, gece yolculuğu için yeterli görüş uzunluğunun sağlanması esas alınmaktadır. S duruş görüş uzunluğuna göre minimum kurp boyu;

$$S < L \text{ ise} \quad L = \frac{G \cdot S^2}{1 \cdot 22 + 0.035 \cdot S} \quad (3.7)$$

$$S > L \text{ ise } L = 2S - \frac{1 \cdot 22 + 0.035 \cdot S}{G} \quad (3.8)$$

Ayrıca açık kurplarda yeterli konforun sağlanması için;

$$L = \frac{G \cdot V^2}{3.90} \quad (3.9)$$

formülü, yeterli estetiğin sağlanması için;

$$L = 30 \cdot G \quad (3.10)$$

formülü ve drenaj bakımından uygun olması içinde;

$$L = 43,6 \cdot G \quad (3.11)$$

formülleri kullanılır.

Açık düşey kurplarda, bir alt geçitin söz konusu olduğu durumlarda ise; minimum görüş uzunluğunu sağlayacak karp uzunluğu şu formüllerle bulunur:

$$S < L \text{ ise } L = \frac{S^2 \cdot G}{8 \cdot \left(H - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)} \quad (3.12)$$

$$S > L \text{ ise } L = 2S - \frac{8}{G} \cdot \left(H - \frac{h_1 + h_2}{2} \right) \quad (3.13)$$

h_1 : Sürücünün görüş yüksekliği (m)

h_2 : Yol üzerindeki engelin yol yüzeyinden yüksekliği (m)

H : Alt geçidin serbest yüksekliği (m)

olmak üzere bu değerler KGM tarafından $h_1=1.83\text{m}$, $h_2=0.46\text{m}$, $H=4.40\text{m}$ olarak alınır.

Açık ve kapalı kurplar için uygun formüllerle L uzunluğu bulunduktan sonra, düşey kurplar üzerindeki en kesit noktalarının kırmızı kotlarının hesabına geçilir. Bu hesap aşağıdaki işlem basamaklarına göre yapılır:

T_1 ve T_2 noktalarının kilometrajları hesaplanır.

$$\text{km}T_1 = \text{km}P - \frac{L}{2}, \quad \text{km}T_2 = \text{km}P + \frac{L}{2} \quad (3.14)$$

T_1 , T_2 ve B noktalarının kotları bulunur.

$$\text{kotT}_1 = \text{kotP} + \frac{g_1}{100} \cdot \frac{L}{2} \quad (3.15)$$

$$\text{kotT}_2 = \text{kotP} + \frac{g_2}{100} \cdot \frac{L}{2} \quad (3.16)$$

$$\text{kotB} = \text{kotP} + \frac{G \cdot L}{8} \quad (3.17)$$

$$K = \frac{G}{2L} \quad (3.18)$$

sabiti hesaplanır, parabol denkleminde yerine konur.

$$y_i = \frac{G}{2L} \cdot X_i^2 \quad (3.19)$$

Buradaki X_i değeri, T_1 noktasının kilometraжі başlangıç alınarak bütün enkesit noktaları için bulunur. Böylece düşey karp üzerindeki herhangi bir enkesit noktasının kotu;

$$\text{KotN}_i = \text{kotT}_1 + g_1 \cdot X - Y_i \quad (3.20)$$

formülünden bulunur.

Proje hızının sağlanması, güvenlik, konfor ve maliyet açısından düşey kurplar çok önemlidir.

3.2.2 Karayolu Düşey Eksen Tasarımında Dikkate Alınacak Teknik Etkenler

Karayolu düşey eksen tasarımında,

- Karayolu geometrik standartları dikkate alınarak maksimum eğim değerinin belirlenmesi,
- Yarma ve dolguların dengeli olarak dağıtılması,
- Karayolunun başlangıç ve bitim noktalarında dolgu ve yarma hacimleri mümkün olduğunca az olması,
- Yeraltı sularının ve yan derelerden gelebilecek suların dikkate alınması,
- Yan yol bağlantılarının dikkate alınması,
- Karayolunun tipi, sınıfı ve arazinin yapısına bağlı olarak yavaş değişim gösteren eğimlerin tercih edilmesi,
- İklim koşullarının dikkate alınması,

- Enine ve boyuna eğimi az olan düz arazilerde uzun mesafede sandık yarmada gidilmemesi,
- Minimum boyuna eğim değeri % 0.5 olmasına karşılık, düz arazilerde bulunan ve fazla yağış alan kentlerde boyuna eğim değerinin arttırılması,
- Estetikten yoksun ve tehlikeli olması nedeniyle, gizlenmiş iniş şeklindeki profillerden kaçınılması,
- Kısa düşey kurp ve uzun yatay kurbun birlikte kullanılması durumunda, düşey kurp boyunun yatay kurpla aynı büyüklüğe getirilmesi,
- Kazaları engellemek için eşdüzey kavşaklara yaklaşırken eğimin azaltılması,
- Karayolu ve demiryolu ile eşdüzey kesişmelerde mümkün olduğunca eğimin düşürülmesi ve buralarda düşey kurp teşkil edilmemesi,
- Rampalarda eğimlerin yukarı doğru azaltılması,
- Gerekli durumlarda tırmanma şeridi kullanılması,
- Boyuna eğimin bordürlü kısımlarda %0.5'ten büyük olması,
- Kırmızı çizginin eğim değiştirdiği yerlerde düşey kurp kullanılması ve düşey kurplar için şu hususlara dikkat edilmesi sağlanmalıdır:

1. Birbirini izleyen kırmızı çizgi arasındaki eğim farkı % 0.5'ten büyük olmalıdır. Düşük standartlı yollarda % 1 alınabilmektedir.
2. Yatay ve düşey kurpların üst üste gelmesi durumunda, her iki kurbanın some noktalarının çakıştırılması en uygun konumdur.
3. Bir kurbanın bitimi ile diğer kurbanın başlangıç noktası arasında en az 60 m mesafe olmalıdır. Bu koşulun sağlanamadığı durumda düşey kurbun yarıçapı (R_d) ile yatay kurbun yarıçapı (R_y) arasında $R_d/R_y \geq 6$ koşulu sağlanmalıdır. (Kiper, 2002; KGM, 2004)

3.3 Karayolu Yatay ve Düşey Eksen Birleşimi

Yatay ve düşey eksen birleşiminde de şu hususlara dikkat edilmektedir;

- Emniyet açısından, kapalı düşey kurplara, açık düşey kurpların en düşük kotuna ve yakınlarına keskin yatay kurplar konulmaması,
- İki şeritli yollarda, emniyetli geçme mesafesinin dikkate alınması,

- Kavşak yakınlarında, yatay kurpların görüşünün açık, kırmızı hattın da mümkün olduğunca yatık olması,
- Bölünmüş yollarda, değişken refüj genişlikleri ve yolun her iki yönü için farklı yatay ve düşey eksen tasarımlarının uygulanabilmesi,
- Gürültü ve tehlike açısından, güzergahların yerleşim yerlerini en az etkileyecek şekilde tasarlanması,
- Yol eksenini tasarlanırken görünüm açısından, nehir, park, kayalık gibi doğal ve yapay unsurların dikkate alınması. (Kiper, 2002; KGM, 2004)

3.4 Alan ve Hacim Hesapları

Arazi kesiti ile yol boyuna kesiti arasındaki alanın hesaplanabilmesi için enkesitler kullanılmaktadır. Bunun için, karayolu platform genişliği, yarma, dolgu ve hendek şevleri, hendek derinliği ve dever değerlerine bağlı olarak enkesitler çizilir. Enkesitler çizildikten sonra, arazi kotuyla proje kotunun platform genişliğinden fazla uzak bir mesafede kesişmesi durumunda, yarmada iksa dolguda istinat duvarı yapılır. Daha sonra arazi kesiti ile proje kesiti arasında oluşan alan Cross yöntemiyle hesaplanır.

Karayolu yapım maliyetinin hesaplanması için, yolda yapılacak kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesi gereklidir. Hacim hesabı, birbiri ardına gelen iki enkesit arasındaki arazi eğiminin değişmediği kabul edilerek, enkesit alanları ile bunlar arasındaki mesafeler yardımıyla hesaplanır. Hacim hesaplarında iki metod kullanılır.

1. Ortalama alan metodu;

Ardışık iki enkesit alanları toplamının yarısı, bu kesitler arasındaki mesafe ile çarpılarak hacim bulunur.

2. Tatbik mesafesi metodu;

Her bir enkesit bir önceki ve bir sonraki kesitlere olan mesafeleri; önceki kesit dolgu ise yarısı, yarma ise 1/3'ü alınıp toplanarak bulunur. Bu değer yarma ve dolgu alanları ile ayrı ayrı çarpılıp hacimler bulunur.

Hacimler bu yöntemlerden herhangi biri ile bulunduktan sonra, sıkışma ve kabarma miktarı sadece dolguda, hacminin % 10'u alınarak hesaplanır.

$$\text{Dolguda hacim artışı} = \text{dolgu hacmi} \times \% 10 \quad (3.21)$$

Son dolgu hacmi, dolgu hacmi ile dolgudaki hacim artış miktarının toplanması ile bulunur. Net toprak işi hesabında, enkesit noktasında hem dolgu hem de yarma hacmi olması durumunda, büyük hacimden son dolgu hacmi çıkarılır. Sadece yarma hacmi varsa, son dolgu hacmi işleme alınmaz. Sadece dolgu hacmi olması durumunda;

$$\text{Net toprak işi} = \text{Dolgu hacmi} - \text{Son dolgu hacmi} \quad (3.22)$$

Kütleler diyagramı için ordinatları bulunurken; yarmada net toprak işleri toplanır, dolguda çıkarılır.

Kontrol olarak aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır.

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Yarma hacmi} - \Sigma \text{Son dolgu hacmi} &= \Sigma \text{Yarmadaki net toprak işi} \\ &- \Sigma \text{Dolgudaki net toprak işi} \end{aligned} \quad (3.23)$$

3.5 Kütleler Diyagramı

Kütleler diyagramında yatay ölçek boykesit ölçeği olarak alınır. Düşey ölçek ise maksimum dolgu ($V_{d_{\max}}$) ve maksimum yarma ($V_{y_{\max}}$) değerlerine göre belirlenmektedir.

Herhangi bir enkesite karşılık gelen ordinat, o noktaya kadar yapılan yarma (+) ve dolgu (-) hacimlerinin cebrik toplamına bağlı olarak, yarmalar ekseninin üzerinde dolgular ise altında gösterilmektedir.

Diyagramda, yükselen kısımlar kazı hacmi, alçalan kısımlar ise dolgu hacmidir.

Eğrinin her maksimum noktası, yarmadan dolguya geçiş noktasını, her minimum noktası da dolgudan yarmaya geçiş noktasını göstermektedir.

Diyagram sıfır çizgisi üzerinde biterse; yarma ve dolguların cebirsel toplamı sıfır, altında biterse dolgu fazlası (ariyet), üstünde biterse yarma (depo) fazlası vardır.

Sıfır çizgisinin üzerinde taşımalar soldan sağa (yarmadan dolguya), altında ise sağdan sola doğru yapılmaktadır.

Sıfır çizgisine paralel çizilen her çizgi, yeni bir toprak dağıtımını oluşturan dağıtma çizgileridir. Bu çizgiler geçirilirken ekonomik bir taşıma için, alanlar toplamının minimum olmasına dikkat edilmeli, sıfır çizgisi ile eğrinin son uç noktası arasında kalan bölgenin dışına çıkılmamalıdır. Sıfır çizgisi, ordinatı sıfır olan yatay bir eksendir.

3.6 Karayolu Geçki Optimizasyonu

Bir karayolu geçkisi oluşturulurken; verilen iki noktayı, çevre etkilerine, sosyo-ekonomik faktörlere, zemin cinsine, topoğrafyaya bağlı olarak birleştiren en ekonomik geçkinin belirlenmesine çalışılır. Bu iki noktayı birleştiren sınırsız seçenek vardır. Bu iki noktayı birleştirirken birçok faktörün birbiriyle ilişkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. (Jong ve Schonfeld, 2001; 2003).

Bir karayolu projelendirmesinde hedef iki noktayı birbirine bağlayan ve standartları daha önceden tanımlanmış bir güzergahın minimum maliyetle oluşturulmasıdır. Maliyeti minimize eden bir karayolu geçkisinin oluşturulması aslında bir optimizasyon problemi olup, oldukça karmaşıktır. Karayolu optimizasyonunun zorlukları şöyle sıralanabilir:

- Optimum geçki araştırmasının karmaşık bir coğrafi alanda yapılması,
- Geçki duyarlılık maliyetlerinin kesin ve açık bir şekilde belirtilmesi,
- Optimizasyon probleminin, bütün önemli geçki maliyet bileşenlerini kapsamı ve net bir şekilde belirtilmesi,
- Optimizasyon yöntemlerinin geçki duyarlılık maliyetlerini bulmak için geliştirilmesi,
- Bir optimizasyon yaklaşımının, aşağıdaki koşulları kapsamı;
 - Karmaşık bir çalışma alanında bir çok yerel uygunluğa sahip araştırmalar,
 - Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) aracılığıyla gerçek haritalarda çalışmalar.
- Bir CBS veri tabanının, optimizasyon için gerekli bütün girdi verilerini ve haritaları elde etmek için kullanılması,
- Bir optimizasyon modeli ve CBS arasındaki ilişkinin, otomatik bir şekilde bütün optimizasyon sürecinde oluşturulması,
- Bir optimizasyon modelinin, aşağıda belirtilen kriterleri temel alarak geçkileri değerlendirmesi;
 - Tek bir optimum geçki yerine, uygun olan birkaç geçkinin değerlendirilmesi,
 - Toprakışı ve kamulaştırma maliyeti gibi çeşitli maliyet bileşenlerinin temel alınması,
 - Eğim ve eğrilik gibi çeşitli kısıtların temel alınması.([7], Jha ve Mccall, 2001))

Karmaşık bir algoritmaya sahip optimizasyon probleminin çözümü için çeşitli matematiksel modeller kullanılabilir. Pratikte yıllarca karayolu geçki optimizasyonu yatay ve düşey

eksenler için ayrı ayrı uygulanmıştır. Gelişen teknoloji ve modeller karmaşık algoritmaların bilgisayar ortamında kısa bir sürede çözümüne olanak tanımış ve eş zamanlı yatay ve düşey alıyman optimizasyonu gibi bir kavramdan söz etmek mümkün olmuştur. Aliyman optimizasyonu için günümüze kadar kullanılmış ve hala kullanılmakta olan çeşitli çözüm yöntemleri mevcuttur. Bunlar;

- Varyasyon hesapları
- Ağ optimizasyonu
- Dinamik programlama
- Sayma
- Lineer programlama
- Sayısal araştırma
- Genetik algoritma(GA)

olarak sıralanabilir. Ancak, bu optimizasyon yöntemleri içerisinde, Genetik Algoritma hariç diğerleri bazı olumsuzluklara sahiptir. Bu yöntemlerin olumsuzlukları aşağıda çizelge 3.1’de verilmiştir. (Braysy, 2001; Jha ve Schonfeld, 2001; Kim vd., 2003)

Çizelge 3.1 Optimizasyon yöntemleri ve kusurları

Optimizasyon Yöntemi	Kusurları
Varyasyon Hesapları	Farklı amaç fonksiyonları gerektirir. Sürekli faktörler için uygun değildir. Yerel optimizasyonlarda hata yapmaya eğilimlidir.
Ağ Optimizasyonu	Çıktılar düzgün değildir. Sürekli araştırma alanları için uygun değildir.
Dinamik Programlama	Çıktılar düzgün değildir. Sürekli araştırma alanları için uygun değildir. Kesin fonksiyonlar için uygulanamaz. İkincil problemler arasında bağımsızlık gerektirir.
Sayma	Sürekli araştırma alanları için uygun değildir. Etkili değildir.
Lineer Programlama	Lineer olmayan maliyet fonksiyonları için uygun değildir. Eğim ve eğrilik kısıtları için sadece sınırlı sayıda noktaları içerir.
Sayısal Araştırma	Yerel optimizasyonlarda hata yapmaya eğilimlidir. Karmaşık bir modellemedir. Sürekli maliyet bileşenlerini kullanmada problem çıkarır.

Bu yöntemlerin yeterince sağlayamadığı aşağıdaki özellikleri gerçekleştirecek yeni bir matematiksel model gerekmektedir;

- Çeşitli maliyet bileşenlerini içeren
- Önemli kısıtları sağlayan
- Gerçekçi alıymanlar üreten

- Etkili ve iyi çözümler veren

Bu optimizasyon yöntemleri içerisinde genetik algoritma özellikle yerel optimizasyonlarda, hata yapmaya eğilimli olmaması sebebiyle geçki optimizasyonlarında oldukça etkilidir. Genetik algoritmanın diğer optimizasyon yöntemlerinden üstünlükleri şöyle sıralanabilir;

- Parametrelerin kendisiyle değil, parametre gruplarının koduyla çalışır.
- Araştırmayı bir noktadan değil, popülasyon adı verilen bir gruptan yapar.
- Türev ya da yardımcı bilgileri değil, amaç fonksiyonu bilgilerini kullanır.
- Belirli kuralları değil, olası geçiş kurallarını kullanır.(Kim vd., 2003)
- Karayolu standartlarını temel alan düzgün geçkiler üretir.
- Çok karmaşık maliyet fonksiyonlarını optimize eder.
- CBS veritabanındaki bilgileri doğrudan kullanarak, veri değerlendirme süresini azaltıp, gerçekçi ve çok düzensiz uzaysal verilerle bile çalışmaya olanak sağlayarak model oluşturur.(Jong, vd., 2000)

Genetik algoritma, grup çözümlerle çalıştığı için, bir çok çözüm içinden iyiler seçilir, kötüler elenir. Genetik algoritmaya göre iyi bireyler yaşamalı ve hatta çaprazlama ve yenileme operatörleri yardımıyla yeni bireyler oluşturulmalıdır.

Genetik algoritmada önerilen modelin karar değişkenleri üç boyutlu alanda some noktalarının önceden belirlenmiş koordinatlarıdır. İki iteratif algoritmayla yatay ve düşey aliymanlar yerleştirilir. GA'da bir problem "çevre" ve probleme olası çözümlerin bir grubu da "popülasyon" olarak ele alınır. Popülasyondaki her birey güçlü bir sunuma "bir kromozom" olarak adlandırılıp kodlanır. Her üretimde bireyler sonra uygulanan genetik operatörler tarafından çevreye kendi en uygunluklarına ait yeni sonuçları üretmek için birbirleriyle yarışır. Birkaç üretimden sonra, en çok uyum sağlamış bireyler seçilir, zayıf çözümler yok olur ve popülasyon sonuç olarak bir optimal çözüme yönelir.(Jong, vd. 2000; Jha, vd., 2001)

3.7 Metraj Hesabı

Bir karayolu yatırımı, uzun süreli ve masraflı bir iştir. Böyle büyük bir yatırımın, en uygun maliyetle gerçekleştirilebilmesi için, farklı geçki seçenekleri arasından en uygun olanının seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, proje başlangıcında, bütün geçki seçeneklerine ait maliyet analizleri yapılarak en uygun yani maliyeti en düşük ancak getirisi en büyük olan geçkinin seçilmesi amaçlanır. Böylece maliyeti önceden belirlenen geçkinin, daha sonra

karayolu projesine ait bütün hesaplar yapıldıktan sonra, asıl maliyeti metraj hesabı yapılarak bulunur. Bir karayolunun metraj hesabının yapılabilmesi için, her yıl , Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğüne, yapılan işlerin birimlerine ve niteliklerine göre gruplandırılmış miktarı bulunan işlerin birim fiyatları yayınlanmaktadır. Her iş için bulunan metraj yani o işin miktarı ile birim fiyatının çarpılmasıyla işin maliyeti hesaplanmaktadır.

Karayollarında yapım metrajı aşağıdaki gibi 4 gruba ayrılarak hesaplanmaktadır:

1. Yol altyapısı

- Toprak işleri
- Sanat yapıları(Büz,menfez, köprü, duvar, ...vb.)

2. Yol üst yapısı

- Alttemel, temel ve kaplama

3. Diğer işler

- İşaretleme, korkuluk, çizgiler, levhalar,...vb. (Sütaş ve Öztaş, 1983)

4. KARAYOLU MALİYET ANALİZİ

Karayolu projeleri uzun süreli ve yüksek bütçe olanakları gerektiren yatırımlardır. Devletin kaynaklarının sınırlı olması, kamu harcamalarının bu sınırlı kaynaklarla karşılanması gerekliliği sebebiyle bir karayolu projesi için gerekli olan maliyet analizlerinin yolun yapımına başlanmadan önce doğru bir şekilde yapılması ve buna bağlı olarak en uygun geçki seçeneğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Gerekli araştırmalar yapılmadan belirlenmiş herhangi bir geçki seçeneğinin doğrudan uygulamaya konulması düşünülemez. Maliyet analiziyle, proje hızı, yatay ve düşey kurplar, enine ve boyuna eğimler, platform-banket-kamulaştırma genişliği gibi diğer karayolu proje elemanları ve trafik faktörleri de dikkate alınarak karayolu geçkileri belirlendikten sonra maliyet analizleri yapılarak en uygun geçkinin seçilmesi amaçlanmaktadır. Maliyet analizinin temeli paradır. Yeni bir yolun yapımı ya da mevcut bir yolun iyileştirilmesi gerektiğinde, böyle bir yolun yapılmasından ya da iyileştirilmesinden sağlanacak faydaların, bu yol için yapılacak harcamalara göre değeri maliyet analizinin amacını oluşturmaktadır. Maliyet analizi, mevcut imkanlar ölçüsünde önerilen geçkinin ekonomik olup olmadığının ve düşük bir maliyetle istenilen projelendirmenin sağlanıp sağlanamayacağını belirlemek için, en uygun seçimi yapmaya yardımcı olmaktadır. Mevcut bir yoldaki iyileştirmede, en fazla faydayı sağlayacak iyileştirmenin seçilmesi mümkünken, yeni yapılacak bir karayolunda ise, farklı geçki seçenekleri arasından, yatırım, bakım ve işletme giderleri açısından bakılarak fayda ve maliyet yönünden en uygun olan geçkinin seçilmesi amaçlanmaktadır. Kamu sektörünün genişlemesi, altyapı yatırımlarının önem kazanması sebebiyle fayda-maliyet analizinin zamanla önemi artmaktadır. Bir karayolu maliyet analizi üç temel bileşene göre değerlendirilmektedir: Bunlar;

- Giderler,
- Gelirler,
- Gelir-gider arasındaki faydalar.

Bir karayolunun sürekliliğinin sağlanması için o yoldan belli bir faydanın sağlanması gerekir.(Ünver, 1971; DeGarmo ve Canada,1973; Çakır, 1999)

Bir karayolu projesinin maliyet analizi yapılırken amaç ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak ve olabilecek bütün seçeneklere bakılarak, bunlar içerisinde analiz yapmaya değer olacak olan alternatifler seçilmektedir. Bu alternatiflerin seçiminde;

- Karayollarının yapım veya iyileştirilmesinin topluma sağlayacağı faydalar,
- Karayollarının yapım, bakım ve işletme giderlerinin miktarı,
- Karayolunun yolu kullananlarda sebep olacağı işletme giderleri ve zaman değerleri,
- Karayolunu kullananlara sağlanan konfor ve kolaylığın dolaylı faydaları,
- Kazalar yönünden ülkeye ve yolu kullananlara sağlayacağı dolaylı faydalar

dikkate alınarak,

- Olası bütün alternatifler ve bunlar arasındaki farklar dikkate alınmakta,
- Maliyet ve faydaların her biri aynı zaman periyodu içinde düşünülmekte,
- Maliyet analizindeki bütün faktörler belirli bir faiz oranı ile aynı zamana dönüştürülmekte yani aktüalize edilmektedir.(Ünver, 1971)

4.1 Karayolu Maliyet Etkenleri

Karayolu maliyetinde iki temel unsur vardır. Bunlar para ile ölçülebilen yani ekonomik analizi para değeri üzerinden yapılabilen ve yolu kullananı ilgilendiren maliyet etkenleri ile ekonomik analizi para ile değerlendirilemeyen ancak, genel ekonomik, sosyal ve toplum değerleri olan maliyet etkenleridir.(Winfrey ve Dale, 1974)

4.1.1 Maliyet Analizi, Para Üzerinden Değerlendirilebilen Maliyet Etkenleri

Maliyet analizi para üzerinden değerlendirilebilen maliyet etkenleri şöyle gruplandırılır;

1. Karayolu maliyetleri

- Yapım giderleri,
Mühendislik, kamulaştırma, toprak işleri, sanat yapıları, üstyapı ve banketler, terminal tesisleri...vb.
- Karayolu bakım ve onarım giderleri,
- İşletme giderleri,
- İdari giderler.

2. Yolu kullananlara ait maliyetler

- Taşıt işletme giderleri,
Yakıt, motor yağı, lastikler, bakım, aşınma

- Kaza giderleri,
Mal hasarı, yaralanmalar, ölümler
- Seyahat süresi giderleri,
Ticari taşıtlar, otomobiller

Maliyet analizi para üzerinden değerlendirilebilen maliyet etkenleri, çeşitli analiz metotları kullanılarak önerilen yol geçkileri içerisinde en uygun olanını belirlemektedir. Bu analiz metotları içerisinde en çok kullanılanı fayda/maliyet oranı yöntemidir.

4.1.2 Maliyet Analizi, Para Üzerinden Değerlendirilemeyen Maliyet Etkenleri

Maliyet analizi para değeri üzerinden değerlendirilemeyen maliyet etkenleri şu şekilde gruplandırılır:

1. Yolu kullananların tercihleri

- Konfor, uygunluk, yüzey konforu

2. Sosyo-Ekonomik etkenler

2.1 Arazi ve iş ekonomisi

- Bölgenin ekonomik gelişimi
- İstihdam
- Arazi kullanılışı ve arazi değeri
- Ticaret hacmi
- Kaynakların kullanılması

2.2 Toplum değerleri

- Estetik
- Koruyucu hizmetler
- Diğer mahalli hizmetler
- Emlak vergilendirmesi
- Rekreasyon
- Sosyal
- Milli savunma

Maliyet analizi para değeri üzerinden değerlendirilemeyen maliyet etkenleri kamu faktörleri(kamu politikası, genel program, tercihler...vb.), de dikkate alınarak, ekonomik analizi para değeri üzerinden değerlendirilebilen maliyet etkenlerinin ekonomik analizinden sonra birlikte değerlendirilip, elde edilen sonuçlara bakılarak maliyet açısından uygun geçki seçeneğinin seçimine karar verilmektedir. (Winfrey ve Dale, 1974)

4.2 Fayda/Maliyet Analizi

Bir karayolu yatırımı için, eldeki kaynakların etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Bir karayolu, geometrik standartları veya kaplaması yönünden iyileştirilirken, veya yeni bir karayolu yapılırken temel amaçlardan birisi, o yoldan en fazla faydayı sağlayabilmektir. Bu yoldan elde edilecek faydalar o yola yapılacak yatırımlarla karşılaştırılmaktadır. Bir karayolu projesinin, ekonomik bir şekilde planlanması ve projelendirilmesi maliyet analizlerinden yararlanmayı gerektirmektedir. Karayolu maliyet analizlerinde en çok kullanılan yöntem fayda/maliyet analizi yöntemidir. Farklı geometrik standartlara sahip yollar için farklı fayda/maliyet oranları elde edilmektedir. Fayda-maliyet oranı, farklı geçki seçeneklerinin fayda sağlama derecelerine göre sınıflandırmasını yapmaya olanak sağlayarak, en uygun geçki seçeneğinin seçilmesine yardımcı olmaktadır.

Proje yatırımının ekonomik etüdü yapılırken, sadece ilk yatırım giderlerinin değil, yatırımın devamlılığı sağlayan diğer giderlerin ve buna karşılık elde edilecek gelirlerin de dikkate alınması gerekmektedir. Bir karayolu projesinin en ucuz maliyetle gerçekleştirilmesi istenmektedir.(Heggie, 1972)

4.2.1 Fayda/Maliyet Analizinin Esasları

Karayolu yatırımlarında, değerlerin büyüklüğü nedeniyle, bu yatırımların ekonomik açıdan oluşacak sonuçlarının önceden belirlenmesi gerekmektedir. Karayollarında bir projeye başlamadan bütün seçenekler dikkate alınarak maliyet analizleri gerçekleştirilmektedir. Bir karayolu geçki seçenekleri arasında sağlanacak faydalar fazla olan geçki, o geçkiler arasında, karı, verimi ve ekonomikliği en fazla olan geçki anlamına gelmektedir. Bunun için önceliğin o geçkiye verilmesi gerekmektedir. Pay ve paydayı oluşturan fayda ve maliyetlerin, ayrı ayrı sayısal olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu hesaplamalarda fayda ve maliyetler yıllık maliyet bazında hesaplanmakta ve iskonto değerleri belirtilmektedir.

Karayolu projelerinin olumlu(fayda) ya da olumsuz(maliyet) sonuçlarını karşılaştırarak, bu sonuçlara göre en uygun projenin seçilmesini amaçlayan fayda/maliyet analiz yönteminde,

$$R = \text{Fayda} / \text{Maliyet} \quad (4.1)$$

oranının >1 olması gerekmektedir. Bu oranın 1'den büyüklüğü arttıkça yatırımın verimliliği artmaktadır.

Farklı geometrik standartlara sahip yollar için farklı fayda-maliyet oranları elde edilmektedir. Bu oranlar dikkate alınarak fayda maliyet oranları en yüksekte başlayarak sınıflandırılmaktadır. Mevcut kaynaklar düşünülerek fayda-maliyet oranı en yüksek olan yada fayda-maliyet oranı 1'den büyük olanlar içerisinde birisi seçilebilmektedir. En çok fayda sağlayacağımız geçki seçeneğini belirlerken fayda/maliyet analizinin yapılması gerekmektedir.

Faydanın para olarak karşılığının bulunması oldukça zordur. Bir proje değerlendirilirken faydaların parasal olarak belirlenebilmesi için, proje çıktılarının tam olarak tanımlanması ve bu çıktılara uygun fiyatlar uygulanarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Fayda-maliyet analizi, herhangi bir projenin sosyal fayda ve maliyetlerini ortak bir para cinsinden belirlemeyi ve sonra bunları karşılaştırarak bu yöntemle, en yüksek faydanın sağlanmasını amaçlanmaktadır.

Fayda maliyet analizinde, hesapların kolaylaştırılması açısından, zaman sürekli alınmayıp bölünebilmekte, gelecekteki fayda ve maliyetler belirli yıllarda meydana geldikçe incelenebilmektedir. Değerlendirilen projenin, ilk yılları inşaat çalışmaları ile geçtiği için belli bir yıla kadar faydasının olmadığı varsayılmaktadır. Sonraki yıllarda fayda önce artmakta, sonra belli bir düzeyde kalmakta, sonra da düşmektedir.(Çakır, 1999)

4.2.1.1 Fayda/Maliyet Yönteminde Aktüalizasyon

Karayolu yatırımlarının maliyet analizlerinde kullanılan fayda/maliyet oranı yöntemi, gelir ve giderlerin aktüalizasyonunu esas almaktadır. Yeni bir karayolunun yapımı veya eski bir yolun iyileştirilmesi için yapılan yatırımlar bir anda yapılmayıp her yıl belirli bir miktar olacak şekilde belirli bir zamana yayılmaktadır. Ayrıca bakım ve işletme giderleri de yol işletmeye açıldıktan sonra hizmet süresi boyunca farklı zamanlarda yapılmakta ve yol işletmeye açıldıktan sonra yıldan yıla artan trafik hacmine bağlı olarak elde edilen faydalarda artmaktadır. Bu sebeple, paranın alım gücü zamana bağlı olarak değişeceği için fayda ve maliyetlerin zaman içinde oluşan izafiliklerini gidererek aynı zamandaki değerlerinin başka bir deyişle aktüalize edilmiş değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Fayda ve maliyetlerin aktüalize edileceği tarih genelde yolun işletmeye açıldığı yıl olarak alınmaktadır.

4.2.1.2 Aktüalizasyonda Faiz İşlemi

Bugünkü değeri a olan ana paranın(yatırım), f cari faiz oranında n yıl sonraki değeri şu eşitlikle belirlenmektedir;

$$A = a.(1 + f)^n \quad (4.2)$$

A : Paranın n yıl sonraki değeri

a : Anapara

f : Faiz oranı

Burada $A > a$ 'dır ve nakit miktarı n yıl içinde bileşik faiz kuralına uyarak artmaktadır. (Sütaş ve Öztaş, 1983)

4.2.1.3 Aktüalizasyonda İndirim İşlemi

Gelecekte değeri a olan bir anaparanın (fayda), f cari faiz oranı altında n yıl önceki değeri faiz işleminin tersi olarak şu şekilde bulunmaktadır.

$$A' = \frac{a}{(1 + f)^n} \quad (4.3)$$

A' : Paranın n yıl önceki değeri

Burada $A' < a$ olup, gelecekteki değer a ise bugünkü değeri f cari faiz oranına bağlı olarak iskonto edilmiş(azaltılmış) bir değer olmaktadır. (Sütaş ve Öztaş, 1983)

4.2.1.4 İşletmeye Açılış Yılına Aktüalizasyon

Fayda ve maliyetlerin ekonomik karşılaştırmasında, aktüalizasyon (herhangi bir yıla yapılan indirgeme) işlemi, yolun işletmeye açıldığı yıla bağlı olarak yapılmaktadır.

p ; yapım ve işletme faaliyetleri yılı ve

n ; yolun işletmeye açıldığı yıldan itibaren hizmet ömrü

olan bir yolda, yapım sırasında yıllık harcamalar;

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_p$

Hizmet ömrü sırasında yıllık bakım ve işletme harcamaları;

$c'_1, c'_2, c'_3, \dots, c'_n$

Hizmet ömrü sırasında elde edilen dolaylı ve dolaysız faydalar;

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$

ile ifade edilen, işletmeye açılış yılından önce yapılan harcamalar faiz, sonraki değerler iskonto uygulanarak aktüalize edilmiş maliyetler için aşağıdaki eşitlik ;

$$C = c_1(1+f)^p + c_2(1+f)^{p-1} + c_3(1+f)^{p-2} + \dots + c_p(1+f) + \frac{c'_1}{(1+f)} + \frac{c'_2}{(1+f)^2} + \frac{c'_3}{(1+f)^3} + \dots + \frac{c'_n}{(1+f)^n} \quad (4.4)$$

aktüalize edilmiş faydalar için de aşağıdaki eşitlik ;

$$B = \frac{b_1}{(1+f)} + \frac{b_2}{(1+f)^2} + \frac{b_3}{(1+f)^3} + \dots + \frac{b_n}{(1+f)^n} \quad (4.5)$$

kullanılmaktadır. Bu formüllerden bulunan değerlerle B/C (Fayda/Maliyet) oranı belirlenmektedir. Bulunan değer 1'den büyüdükçe o karayolu yatırımının verimliliği artmaktadır.

(Aktüalize edilmiş fayda)/(Aktüalize edilmiş maliyet) oranı, paranın zamanla değerinin değişmesi ve ekonomik kurallara bağlı olarak daha akılcı bir karşılaştırma imkanı sağlamaktadır. (Sütaş ve Öztaş, 1983)

4.2.2 Fayda'nın İçeriği

Bir karayolu yatırımı gerçekleşikten sonra iki çeşit fayda ortaya çıkmaktadır.

4.2.2.1 Dolaysız Faydalar

Dolaysız faydalar, yolun yapımı veya iyileştirilmesi sonucu, taşıt işletme giderlerinin azalmasıyla sağlanan ve kolaylıkla hesaplanabilen faydalar ile zamandan sağlanan ancak kolay hesaplanamayan faydalardır. Taşıt işletme giderleri, yol uzunluğunun kısaltılması, boykesit eğimlerinin düşürülmesi, yatay kurp yarıçaplarının büyütülmesi, taşıtların duruş kalkışlarının azaltılması, kaplama yüzeyinin iyileştirilmesi gibi düzenlemelerle azaltılabilir. Bu şekilde düzenlemeler için yapılacak giderler, taşıt işletme giderlerindeki azalma nedeniyle doğrudan fayda olarak geri dönerler.

4.2.2.2 Dolaylı Faydalar

Dolaylı faydalar, yeni bir karayolunun yapılması veya mevcut bir yolun iyileştirilmesi halinde, yolu kullananlar dışında bu yolun yapılmasıyla milli gelirdede elde edilecek kazançları ifade eder. Mevcut yolun iyileştirildiği veya yeni bir yolun yapıldığı bölgede, yolun birleştirdiği merkezlerin belli bir işletme periyodu içerisinde oluşacak üretim ve ticari faaliyetler ve üretici-tüketici karlarındaki artışları belirlemeyi hedefler. Dolaylı faydalar kesin olarak hesaplanması zor olan, belirlenmesi istatistik verilere ve tahminlere dayanan, sosyo-ekonomik faydalardır. (Sonuç, 1983)

4.4.2.3 Maliyet'in İçeriği

Bir karayolunun iyileştirilmesi veya yeni bir karayolu yapımı sırasında yapılan giderler ile o yolun ekonomik ömrü süresince gerçekleştirilen harcamaların bütünü toplam maliyeti vermektedir. Daha önce maliyet analizi, para üzerinden değerlendirilebilen maliyet etkenleri konusunda değinmiş olduğumuz karayolu maliyetleri içerikleriyle birlikte daha kapsamlı olarak şu şekilde ifade edilmektedir:

- Yapım maliyeti:

- Kamulaştırma maliyeti
- Toprak işleri maliyeti
- Sanat yapıları maliyeti
- Üstyapı maliyeti
- Aydınlatma ve işaretleme tesis maliyetleri

- Bakım onarım maliyeti

- Altyapıda ve kaplamada oluşabilecek arızaların giderilmesi
- Dolan hendek ve sanat yapılarının temizlenmesi
- Karla mücadele
- Kaplama üstü ve pano işaretlerinin yenilenmesi
- Yol boyu yapılan peyzaj çalışmaları...vb.

- İşletme maliyeti

- Sinyalizasyon

- Aydınlatma
- Telefon
- Servis aracı...vb.

- İdari ve diğer harcamaların maliyeti

- Yol yapımı ve hizmet ömrü süresince kurum tarafından yapılan işlem, personel harcamaları ve yapılan diğer giderler.(Sütaş ve Öztaş, 1983))

4.2.3.1 Maliyet Hesabı

Maliyet hesabı, yapılacak olan karayolunun, konumuna, uzunluğuna, toprak işine bağlı olarak belirlenen yapım maliyeti ile, yol yapılıp işletmeye açıldıktan sonra oluşan ve araç işletme, seyahat süresi ve kaza maliyetlerini kapsayan kullanıcı maliyetinden oluşur. Karayolunu yapan kurumlar genellikle, yapım maliyetini temel alıp, kullanıcı maliyetlerini dikkate almamaktadır.

4.2.3.1.1 Karayolu Yapım Maliyetleri

- **Konuma Bağlı Maliyetler**

Konuma bağlı maliyetler; arazi edinimi(kamulaştırma) ve zemin stabilizasyonu maliyetlerini içerir. Kamulaştırma maliyetini belirlemek oldukça zordur. Çünkü, yolun geçeceği bölgede, değer biçme, verilecek zarar ve yeniden oluşumun dikkate alınması gerekir. Bölgenin kent içi, kent dışı, tarım arazisi olması gibi durumların değer biçmede dikkate alınması gereklidir. Kamulaştırma maliyetinin hesaplanması oldukça karmaşıktır. Kamulaştırmadan önce ve sonra, arazilerin ve yapıların değerine bağlı olarak oluşturulan geçici irtifak hakkı ve değer biçme ücretine bağlı olarak belirlenir. Bir aliymanda konuma bağlı toplam maliyet;

$$C_N = \sum_{J=1}^m K_J A_J \quad (4.6)$$

formülüyle hesaplanır. Burada,

m: Karayolu geçkisinin geçtiği parsel sayısı

K_J : j.parsel için konuma bağlı birim maliyet

A_J : j.parsel içinde yolun kapladığı alan

Konuma bağı maliyetlerin hesaplanmasında, yol alıymanının geçtiği yerin farklı özellikteki arazi parsellerinden oluşması dikkate alınır. Bu araziler; taşkın alanları, nehirler ...vb. gibi toplam maliyeti yükseltecek alanlarda olabilir. Maliyeti yükseltmemek için böyle yerlerden sakınılmalıdır. (Jong, vd., 2000)

- **Uzunluğa Bağlı Maliyetler**

Uzunluğa bağı maliyetler; hava ve gürültü kirliliği, kimyasal atıkları yok etme gibi araç seyahat süresine bağı çevresel faaliyetlerle, şev içi-şev dışı maliyetler ve üstyapı maliyeti gibi maliyetleri kapsar. Uzunluğa bağı maliyetler, birim uzunluk maliyetiyle alıyman uzunluğunun çarpılmasıyla elde edilir. Birim uzunluk maliyeti; birim yapım maliyeti, birim bakım maliyeti ve birim çevresel maliyetlerden oluşur. Alıyman uzunluğuna bağı toplam maliyet;

$$C_L = L_n (K_C + K_M + K_{E.L}) \quad (4.7)$$

formülüyle hesaplanır.

L_n : Toplam alıyman uzunluğu

K_C : Birim uzunluğun yapım maliyeti

K_M : Birim uzunluğun bakım maliyeti

$K_{E.L}$: Birim uzunluğun çevresel maliyeti

Uzunluğa bağı maliyetler belirlenirken yolun yapılacağı bölgedeki canlılar ve çevre de dikkate alınmalıdır. Yolun yapılacağı bölgedeki bazı çevresel faktörler CBS'den belirlenebilir, bazılarının belirlenmesi ise özel analizler gerektirir. Örneğin, hava kirliliği, su kalitesi, gürültü, sosyo-ekonomik etkiler gibi çevresel faktörler özel analiz gerektirir. Tarım alanı, taşkın alanı, tarihi alanlar gibi çevresel faktörler ise CBS'den belirlenebilir ve bu bölgelerin en az zarar görmesi sağlanabilir. (Jong, vd., 2000, [10])

- **Toprak İşine Bağlı Maliyetler**

Toprak işi maliyetinin hesabı, kazı ve dolgu hacimlere bağı olarak belirlenir. Bir karayolu projesinde temel amaçlardan birisi, toprak işi miktarını minimum yapmaktır. Toprak işi miktarını belirlemek için, geçki ekseni boyunca belirli aralıklarla enkesitler alınır. Toprak işide pratikte uygulanan, yarma bölümünden, dolgu bölümüne toprağı taşıyarak net toprak işi hacmini minimum yapmaktır.

Kazı-dolgu maliyetlerinde, bir enkesitin yarma kısmı için toplam maliyet şu eşitlikle hesaplanır:

$$C_T = C_H + 0.5L_s K_C \left[\left(\frac{H_1 + H_2}{2} * 1 \right) + \left(\frac{H_2 + H_3}{2} * b \right) + \left(\frac{H_3 + H_4}{2} * W_{d1} \right) + \left(\frac{H_4 + H_5}{2} * W_{d2} \right) + \left(\frac{H_5^2}{2 * m_C} \right) \right] \quad (4.8)$$

$$+ Lt \left[a_i + 365 T b_i + c_i (1 + b + W_{d1} + W_{d2} + \frac{H_5}{m_C}) m_C^2 \right]$$

Kazı-dolgu maliyetlerinde, bir enkesitin dolgu kısmı için toplam maliyet şu eşitlikle hesaplanır:

$$C_T = C_H + 0.5L K_f \left[\left(\frac{H_1 + H_2}{2} * 1 \right) + \left(\frac{H_2 + H_3}{2} * b \right) + \left(\frac{H_3^2}{2 * m_f} \right) \right] \quad (4.9)$$

$$+ Lt \left[a_i + 365 T b_i + c_i (1 + b + \frac{H_3}{m_f}) m_f^2 \right]$$

C_T : Toplam maliyet

C_H : Taşıma maliyeti

L_t : Karayolu bölümünün uzunluğu

s : Çekme ya da kabarma faktörü

H_i : Enkesit alanını hesaplamak için kullanılan yükseklik miktarı

l : Şerit genişliği

b : Banket genişliği

K_f : Birim dolgu maliyeti

K_C : Birim yarma maliyeti

W_{di} : Enkesit alanını hesaplamak için kullanılan genişlik miktarı

m_C : Yarma eğimi

m_f : Dolgu eğimi

$T = YOGT * 365 * (1 + 0.01 r_j)^n$

r_j : Yıllık trafik büyüme faktörü

n : yıl

a_i, b_i : Bakım maliyet fonksiyonu sabiti

c_i : Toprak maliyet katsayısı

Birim yarma maliyeti toprak çeşidine bağlıdır. Gevşek topraklar için bu maliyet miktarı düşük, sıkı ya da kayalık topraklar için ise yüksektir. Toprak karakteristikleri çekme ve kabarma sebebiyle dolgu hacmini de etkilemektedir. (Jong, vd., 2000)

- **Kullanıcı Maliyetleri**

Kullanıcı maliyetlerini oluşturan en önemli bileşenler, araç işletme maliyeti, seyahat süresi maliyeti ve kaza maliyetidir. Kullanıcı maliyetlerinin, karayolu geçkisiyle olan ilişkisi açık olmadığı için kullanıcı maliyetlerinin hesabı daha az etkili olur. İlişkiler genellikle istatistiksel analizlerle belirlenir. Yapım maliyetinde genellikle kullanıcı maliyetleri dikkate alınmamaktadır. (Jong, vd., 2000)

4.2.3.2 Etüt Amaçlı Karayolu Yapım Maliyetlerinin Belirlenmesi

Bir karayolunun maliyeti;

- Yapım maliyeti,
- Bakım maliyeti,
- İşletme maliyeti,
- İdari ve genel giderler

toplamından oluşmaktadır. Burada, bakım maliyeti, işletme maliyeti ve idari ve genel giderler karayolu tamamlanıp işletmeye açıldıktan sonra oluşan giderlerdir. Yüksek maliyete sahip karayolu projelerinin gerçekleştirilebilmesi için, fayda/maliyet oranı yöntemiyle farklı geçki seçenekleri arasından en uygun yani, maliyeti en düşük ama sağlayacağı fayda en büyük olan geçkinin seçilmesi amaçlanmaktadır. Burada fayda da, karayolu yapılıp işletmeye açıldıktan sonra elde edilmektedir. Ancak maliyet, yukarıda belirttiğimiz 4 çeşit maliyetten ilki olan yapım maliyeti olup, karayolu yapılmadan önce belirlenebilmektedir ve bu maliyeti etkileyen ve bu çalışmanın da konusunu oluşturan en önemli etkenler, standartlara bağlı olarak belirlenen proje elemanlarıdır. Eğer bu proje elemanları, uygun şekilde belirlenirse, minimum maliyeti veren geçki elde edilebilir. Karayolunun konumunu, uzunluğunu, toprak işini

etkileyen proje elemanlarının, karayolu yapım maliyetini ne şekilde etkilediği belirlenebilmektedir.

Karayolları genel müdürlüğü maliyet hesaplarında enkesitler için aşağıdaki değerleri kullanmaktadır

Çizelge 4.1:Enkesitler için platform kaplama ve banket genişlikleri(KGM, 1993)

P.G	K	b
12.00	7.00	2.50
11.00	7.00	2.00
10.00	7.00	1.50
9.50	7.00	1.50
8.00	6.00	1.00

P.G: Platform genişliği(m)

K: Kaplama genişliği(m)

b: Banket genişliği(m)

4.2.3.2.1 Altyapı Maliyetleri

Altyapı maliyetleri, toprak işleri, sanat yapıları, etüd- plan-proje maliyetleri, kamulaştırma ve köprüler olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır.

- **Toprak İşleri Maliyeti(TİM)**

Toprak işleri, arazinin cinsine ve platform genişliğine bağlıdır. Arazi cinsleri de kazı yükseklikleri ve zemin durumuna bağlı olarak belirlenmektedir.

Kazı yükseklikleri; düz arazide 1.75m, dalgalı arazi de 2.50m ve dağlık arazi de 5.00m olarak alınır. Zemin durumu ise aşağıdaki çizelgeden belirlenmektedir.

Çizelge 4.2: Zemin durumu tablosu(KGM, 1993)

	Dağlık Arazi	Dalgalı Arazi	Düz Arazi
Toprak	%30	%30	%50
Küskülük	%40	%40	%50
Kayalık	%30	%30	-

Karayolları, altyapı maliyetlerini, öncelikle toprak işlerini, arazi cinsleri ve platform genişliklerine göre her zemin durumu için ayrı ayrı hesaplamakta, daha sonra arazi durumuna ve platform genişliklerine bağlı maliyetleri elde etmektedir. Aşağıdaki çizelge 4.3'de

Karayolları tarafından, arazi cinsine, arazi yapısına ve platform genişliğine bağlı olarak 1993 yılı verilerine göre belirlenmiş maliyet değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.3: KGM arazi tipi, arazi yapısı ve platform genişliğine bağlı birim maliyet değerleri

Toprak Zemin	Platform Genişliği (m)				
	12.00	11.00	10.00	9.50	8.00
Arazi Tipi	12.00	11.00	10.00	9.50	8.00
Düz (TL/m ³)	11099.44	11118.26	11140.85	11153.93	11202.96
Dalgalı (TL/m ³)	10930.86	10944.03	10959.84	10969.00	11003.32
Dağlık (TL/m ³)	10734.17	10740.76	10748.67	10753.24	10770.41
Küskülük Zemin					
Düz (TL/m ³)	14344.17	14372.40	14406.28	14425.89	14499.45
Dalgalı (TL/m ³)	14091.29	14111.05	14134.77	14148.50	14199.98
Dağlık (TL/m ³)	13796.27	13806.15	13818.00	13824.87	13850.61
Kayalık Zemin					
Düz (TL/m ³)	33372.08	37409.72	37454.89	37481.04	37579.11
Dalgalı (TL/m ³)	37034.91	37061.26	37092.88	37111.18	37179.83
Dağlık (TL/m ³)	36641.54	36654.71	36670.53	36679.68	36714.00

- **Sanat Yapıları Maliyeti(SYM)**

Sanat yapıları maliyeti, toprak işleri maliyetinin %40'ı alınarak bulunmaktadır.

$$SYM=0.4 \cdot TİM \quad (4.10)$$

- **Etüd-Plan-Proje Maliyeti(EPPM)**

Etüd-plan-proje ve diğer gider maliyetleri, toprak işleri ve sanat yapıları toplam maliyetlerinin %20'si olarak alınmaktadır.

$$EPPM=0.2 \cdot (TİM+SYM) \quad (4.11)$$

- **Kamulaştırma Maliyeti(KM)**

Kamulaştırma maliyeti ise, yolun geçtiği arazinin değerine bağlı olarak belirlenmektedir.

$$KM=YU \cdot KBM \cdot KG \quad (4.12)$$

YU: Yol uzunluğu(m)

KBM: Kamulaştırma birim maliyeti(TL)

KG: Kamulaştırma genişliği(m)

- **Köprü Maliyetleri(KÖM)**

Köprü maliyetleri, köprünün tipine, köprü ayak yüksekliğine ve köprü genişliğine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu yüzden köprü yapım şube müdürlüğü tarafından her karayolu için ortalama köprü yapım maliyetleri belirlenmektedir.

Beş bölümden oluşan toplam altyapı maliyeti, toprak işleri, sanat yapıları, etüd-plan-proje, kamulaştırma ve köprü maliyetleri toplamından oluşur.

$$TAM=TİM+SYM+EPPM+KM+KÖM \quad (4.13)$$

4.2.3.2.2 Üstyapı Maliyetleri

Üstyapı maliyetleri, yolun tipine ve enkesitlerine bağlı olarak alt temel, temel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakalarından oluşmaktadır. Üstyapı maliyetlerinin hesaplanmasında, yolun yapım yılı esas alınarak o yıla ait bitümlü kaplama işleri fiyat listeleri ve birim fiyat listeleri kullanılmaktadır. Bu listeler her yıl Karayolları tarafından açıklanmaktadır. Ayrıca %25 oranında müteahhitlik karı da eklenmektedir. Karayolları ulaştırma projelerinde önemli bir hususta malzeme ve su gibi unsurların taşınabilmesi için yapılacak olan harcamalardır. Malzemeler için 30km, su için 15km, bitüm için 150km, bitümlü malzemenin asfalt plantinden taşınması için 150km taşıma mesafesi varsayılarak hesaplarda kullanılmaktadır.

Üstyapı maliyetlerinin hesaplanması, her yıl Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından YOGATT'ne ve platform genişliğine bağlı olarak yapılmaktadır.

- **Alttemel Tabakası Maliyeti(ATM)**

Alttemel maliyeti, alt temelin kalınlığına, yolun uzunluğuna ve Karayolları tarafından platform genişliğine bağlı olarak çizelge 4.4'den belirlenen 1993 yılı alttemel birim maliyet değerine bağlı olarak belirlenmektedir.

$$ATM=BM_{AT}*ATK*YU \quad (4.14)$$

ATK:Alttemel kalınlığı(m)

BM_{AT}: Alttemel tabakası için platform genişliğine bağlı birim maliyet (TL/m²)

Çizelge 4.4: KGM platform genişliğine bağlı alttemel maliyeti

	Platform genişliği (m)				
	12.00	11.00	10.00	9.50	8.00
Tutarı (TL/m ²)	529025.40	484939.90	440854.50	418811.80	352683.60

- **Temel Tabakası Maliyeti(TTM)**

Temel maliyeti, temelin kalınlığına, karayolunun uzunluğuna ve Karayolları tarafından platform genişliğine bağlı olarak çizelge 4.5'den belirlenen 1993 yılı temel birim maliyet değerine bağlı olarak belirlenmektedir.

$$TTM=BM_{TT}*TTK*YU \quad (4.15)$$

TK: Temel kalınlığı

BM_{TT} : Temel tabakası için platform genişliğine bağlı birim maliyet (TL/m²)

Çizelge 4.5: KGM platform genişliğine bağlı temel maliyeti

	Platform genişliği (m)				
	12.00	11.00	10.00	9.50	8.00
Tutarı (TL/m ²)	1393911.00	1277751.00	1161592.00	1103512.00	929273.60

- **Bitümlü Temel Tabakası Maliyeti(BTTM)**

Bitümlü temel tabakasının maliyeti, bu tabakanın kalınlığına, kaplama genişliğine, karayolunun uzunluğuna özgül ağırlığa ve bitümlü temel tabakası için Karayolları tarafından belirlenen, birim maliyet değerine bağlı olarak belirlenir. 1993 yılı için Karayolları tarafından bitümlü temel tabakası için belirlenen birim maliyet değeri; 257786.40 TL/ton'dur.

$$BTTM = BTTK * KG * YU * \rho_{BTT} * BM_i \quad (4.16)$$

BTTK: Bitümlü temel tabakası kalınlığı(m)

KG: Kaplama genişliği(m)

ρ_{BTT} : Bitümlü temel tabakası yoğunluğu(t/m³)

BM_{BTT} : Bitümlü temel tabakası için birim maliyet(TL)

- **Binder Tabakası Maliyeti(BTM)**

Binder tabakası maliyet değeri, bu tabakanın kalınlığına, karayolunun uzunluğuna ve kaplamanın genişliğine binder özgül ağırlığına ve binder tabakası için Karayolları tarafından belirlenen, birim maliyet değerine bağlı olarak belirlenir. Karayolları tarafından binder tabakası için belirlenen 1993 yılı birim maliyet değeri;307396.40 TL/ton'dur.

$$BTM = BTK * KG * YU * \rho_{BT} * BM_i \quad (4.18)$$

BTK: Binder tabakası kalınlığı(m),

KG: Kaplama genişliği(m),

ρ_{BT} : Binder tabakası yoğunluğu(t/m³),

BM_{BT} : Binder tabakası için birim maliyet(TL)

- **Aşınma Tabakası Maliyeti(AŞTM)**

Aşınma tabakası maliyet değeri, aşınma tabakasının kalınlığına, karayolunun uzunluğuna ve kaplamanın genişliğine, tabakanın özgül ağırlığına ve aşınma tabakası için Karayolları

tarafından belirlenen, birim maliyet değerine bağlı olarak belirlenir. Karayolları tarafından aşınma tabakası için belirlenen 1993 yılı birim maliyet değeri; 322266.60 TL/ton'dur.

$$A\text{ŞTM} = A\text{ŞTK} * KG * YU * \rho_{A\text{ŞT}} * B_{M_{A\text{ŞT}}} \quad (4.19)$$

AŞTK: Aşınma tabakası kalınlığı(m),

KG: Kaplama genişliği(m),

$\rho_{A\text{ŞT}}$: Aşınma tabakası yoğunluğu(t/m^3),

$B_{M_{A\text{ŞT}}}$: Aşınma tabakası için birim fiyat(TL)

Toplam üstyapı maliyeti(TÜM), alttemel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları maliyetlerinin toplamından oluşur.

$$T\ddot{U}M = ATM + TTM + BTTM + BTM + A\text{ŞTM} \quad (4.20)$$

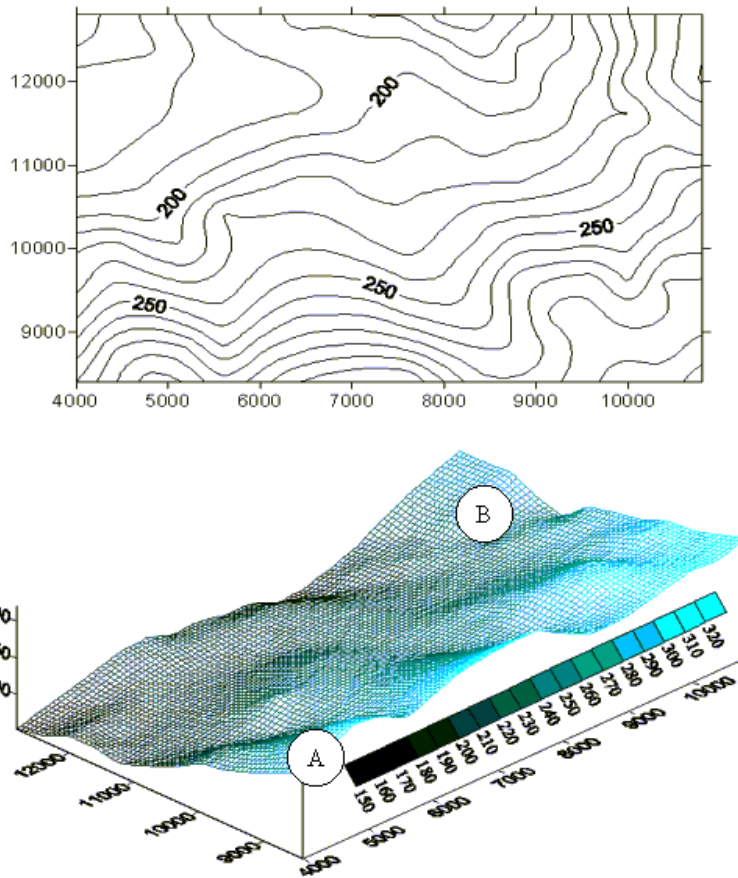
Toplam yapım maliyeti ise, toplam altyapı ve toplam üstyapı maliyetlerinin toplamından oluşur.

$$TYM = TAM + T\ddot{U}M \quad (4.21)$$

5. KARAYOLU PROJE ELEMANLARININ YAPIM MALİYETİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

5.1 Çalışma Verisinin Oluşturulması

Çalışma yapılacak bölge (4500m*6000m)'lik bir alan olup, bölge içerisinde sayısal ortamda eş yükseklik eğrili bir harita elde edecek sıklıkta (X,Y,H) değerleri bilinen ayrıntı noktaları mevcuttur. Ayrıntı noktaları kullanılarak lineer enterpolasyon yöntemiyle arazinin sayısal modeli elde edilmiştir.

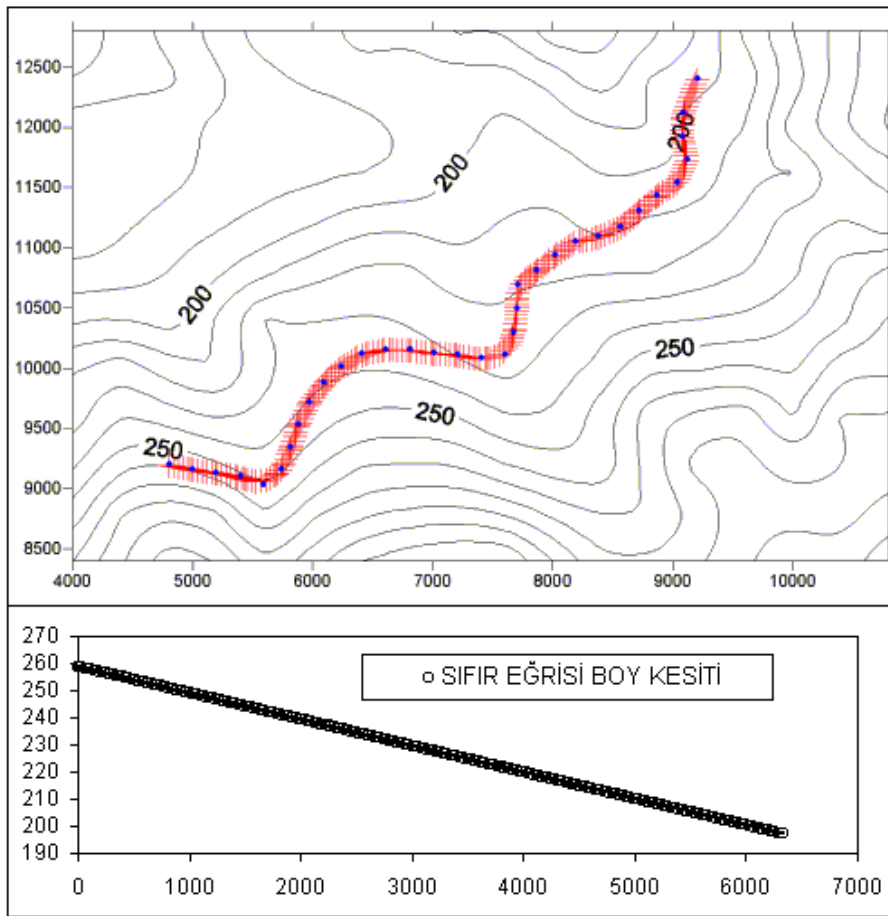


Şekil 5.1: Uygulama bölgesinin 2 ve 3 boyutlu modeli

5.2 Çalışmada Kullanılan Yaklaşım

Karayolunun yapım maliyeti, altyapı ve üstyapı maliyetleri toplamından oluşmaktadır. Bu sebeple altyapı ve üstyapı maliyetlerinin belirlenmesinde, yolun uzunluğunu ve kazı-dolgu miktarlarını etkileyen, yatay kurp yarıçapı, klotoid parametresi, düşey kurp uzunluğu, maksimum ve minimum boyuna eğim değerleri, şerit, banket ve kamulaştırma genişliklerinden oluşan proje elemanlarının yapım maliyetine olan etkileri incelenecektir.

Öncelikle, toplam hacim miktarlarının minimizasyonu için geçki araştırmasında bilinen en klasik yöntemlerden biri olan sıfır poligonu yaklaşımına benzer şekilde yolun başlangıç ve bitiş noktalarını sabit bir eğim değeriyle birleştirebilecek bir eğri tanımlaması amaçlanmaktadır. Bu eğrinin tanımı için seçilen A ve B noktaları arasında sabit eğim ve aralıkta belli sayıda noktalar sayısal ortamda üretilmiştir. Söz konusu nokta kümesi iki boyutlu spline fonksiyon ile tanımlanmış ve sıfır eğrisi adını verdiğimiz eğri oluşturulmuştur. Bu eğrinin boykesiti çizildiği zaman, herhangi bir toprak işinin olmadığı görülmektedir. Ancak böyle bir eğrinin yol geçkisi olarak alınması mümkün değildir. Ancak bu eğri oluşturulacak geçki seçeneklerinde some noktalarının yerlerinin belirlenmesinde yardımcı olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.2: Sıfır eğrisi ve bu eğri üzerinde alınan kesitler

Bu çalışmada amaç, proje elemanlarının yapım maliyetine olan etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla öncelikle proje elemanlarının yapım maliyetine etkilerinin incelenebileceği geçki seçeneklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu geçki seçenekleri belirlenirken, proje elemanlarından önce, geçkileri oluşturan yatay ve düşey kurp sayılarının yapım maliyeti

üzerinde düzenli olarak arttırıcı ya da azaltıcı bir etkisi olup olmadığı araştırılmış, daha sonra elde edilen geçki seçeneklerinden, proje elemanlarının incelenmesinde hangi geçkilerin seçileceğine karar verilmiştir.

5.3 Karayolu Geçkisini Oluşturan Yatay ve Düşey Kurp Sayılarının Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi

Karayolu proje elemanlarının yapım maliyetine olan etkilerinin incelenebilmesi için öncelikle karayolu geçkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Daha önce bölüm 3’de belirtildiği gibi bir karayolu geçkisi yatay ve düşey eksen olmak üzere iki kısımdan, bu yatay ve düşey eksenler de yatay ve düşey kurplardan ve düz kısımlardan oluşmaktadır. Bu amaçla karayolu yatay ve düşey eksenlerini oluşturan yatay ve düşey kurpların yapım maliyeti üzerinde nasıl bir etkisi olduğunun belirlenebilmesi ve proje elemanlarının yapım maliyetine etkilerinin incelenebilmesi için en uygun yatay ve düşey eksenin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, proje hızı 100km/s ve düz arazi tipine göre proje elemanları Karayolu Geometrik Standartları çizelgesinden, standartlara bağlı olarak belirlenmiş geçki seçenekleri oluşturularak bu seçenekler incelenmiştir. Farklı geçki seçeneklerini oluştururken karayolu proje elemanlarının minimum değerleri kullanılmıştır. Yatay kurp yarıçapı $R=400m$, klotoid parametresi $A=160$, maksimum boyuna eğim $m= \%4$, kapalı düşey kurp katsayısı $Kk= 107$, açık düşey kurp katsayısı $Ka=51$, maksimum deyer $d=\%8$, duruş görüş uzunluğu $Ld=155m$, geçiş görüş uzunluğu $Lg= 670m$, şerit genişliği $l=3.50m$, banket genişliği $b= 2.50m$, platform genişliği $PG=12.00m$ ve kamulaştırma genişliği $KG=60m$ olarak alınmıştır. Bu standartların yanı sıra yatay ve düşey eksenler oluşturulurken, yatay kurplar arasında minimum 100m aliyman mesafesi olmasına, yatay ve düşey kurpların birbiri içine girmemesine, düşey ekseninde ise minimum boyuna eğimin ve ardışık eğimler arasındaki farkın minimum $\%0.5$ ve daha büyük değerler olmasına dikkat edilmiştir.

Yapılan çalışmada, karayolunun A başlangıç ve B bitiş noktaları arasında farklı geçki seçenekleri oluşturulmuştur. Bu seçenekler oluşturulurken A başlangıç ve B bitiş noktaları arası önce yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilerek bir yatay eksen tasarlanmıştır. Bu yatay eksenin, 20m aralıklarla enkesitleri alınarak noktaların kilometrelerine ve siyah kotlarına bağlı olarak boykesiti çizilmiştir. Boykesitte düşey eksen önce A başlangıç ve B bitiş noktaları arası düşey kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilerek, bu yatay eksene ait düşey eksen oluşturulmuştur. Aynı yatay eksen için daha sonra sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 düşey kurp kullanılarak farklı düşey eksenler oluşturulmuştur. Yatay ekseninde başlangıç ve bitiş

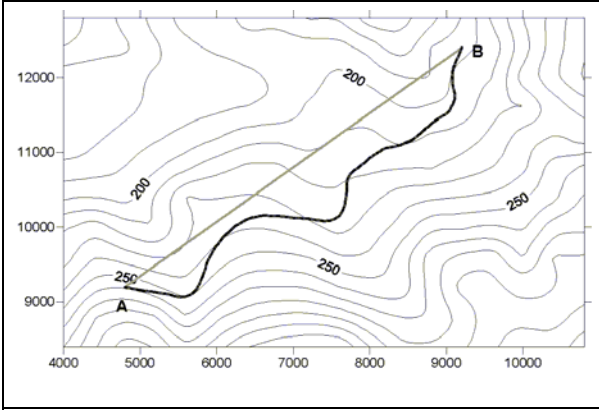
noktalarının doğrudan birleştirildiği, düşey eksenin de sırasıyla, önce düşey kurpsuz sonra sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 düşey kurpla birleştirilmesiyle, oluşturulan geçki seçeneklerinin, kazı-dolgu hesapları yapılarak, kütleler diyagramları çizilmiş ve yapım maliyetleri belirlenmiştir.

Daha sonra, başlangıç ve bitiş noktaları arası 1 yatay kurpla birleştirilerek yeni bir yatay eksen oluşturulmuştur. Yine bu yatay eksene ait boykesit oluşturularak, boykesitte başlangıç ve bitiş noktaları sırasıyla, önce doğrudan, sonra sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 düşey kurpla birleştirilerek oluşturulan farklı geçki seçenekleri için aynı çizimler ve hesaplar yapılmıştır.

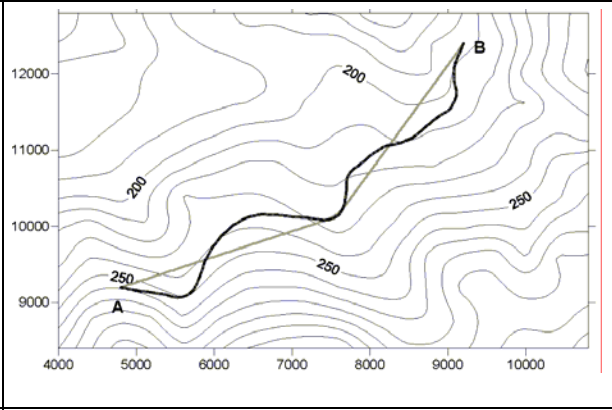
Aynı şekilde, başlangıç ve bitiş noktaları arası sırasıyla 2, 3, 4 ve 5 yatay kurpla birleştirilerek yeni yatay eksenler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yatay eksenlerin her biri sırasıyla önce doğrudan sonra da 1, 2, 3, 4 ve 5 düşey kurpla birleştirilerek bu yatay eksenlere ait düşey eksenler oluşturulmuş ve bu seçeneklerin de kazı-dolgu hesapları yapılmış, kütleler diyagramları ve maliyet grafikleri çizilmiştir.

Bütün geçkilere ait şekiller, boykesit ve kütleler diyagramları şekil 5.4,...5.9'da, maliyet değerleri de çizelge 5.1'de gösterilmiştir. 6 farklı geçki seçeneğinin her biri için toplam altı farklı boykesit ve kütleler diyagramları vardır. Bunlar A ve B noktalarının doğrudan, 1, 2, 3, 4 ve 5 yatay kurpla birleştiği karayolu geçkilerini göstermektedir. Her bir yatay geçkinin sahip olduğu 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 düşey kurba ait boykesit ve kütleler diyagramları kolay karşılaştırılabilmesi için aynı diyagramda verilmiştir. Bu diyagramlarda yatay eksenler; yol uzunluğunu(m), düşey eksenler; boykesit diyagramlarında yüksekliği(m), kütleler diyagramlarında brücker değerini(m³) göstermektedir.

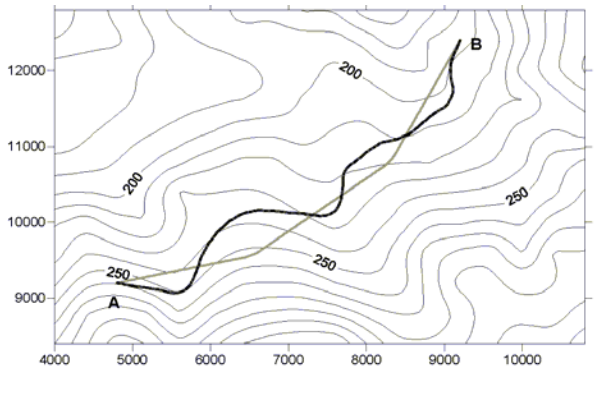
Yapım maliyeti olarak, toprak işleri, sanat yapıları, etüt-plan-proje ve kamulaştırma maliyetlerinden oluşan altyapı maliyetleriyle, alttemel, temel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları maliyetlerinden oluşan üstyapı maliyetleri toplamı alınmıştır. Maliyet hesapları yapılırken, karayolları tarafından hazırlanmış, 1993, 2002 ve 2004 yıllarına ait ekonomik analiz çizelgeleri kullanılmıştır. Öncelikle son yıllardaki analiz çizelgeleri dikkate alınmış, onlardan temin edilemeyen çizelgelerde 1993 yılı verileri kullanılmıştır. Maliyet değerleri, enflasyon oranları ve merkez bankası verileri kullanılarak Ocak 2005 yılı verilerine dönüştürülmüş, YTL (Yeni Türk Lirası) olarak karşılıkları belirlenmiştir.



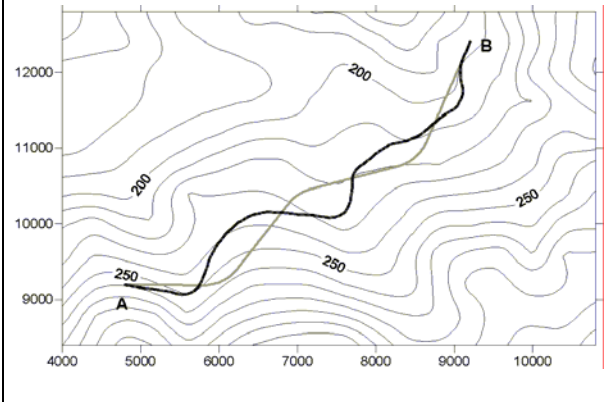
Şekil :A ve B noktalarının doğrudan birleştirildiği geçki



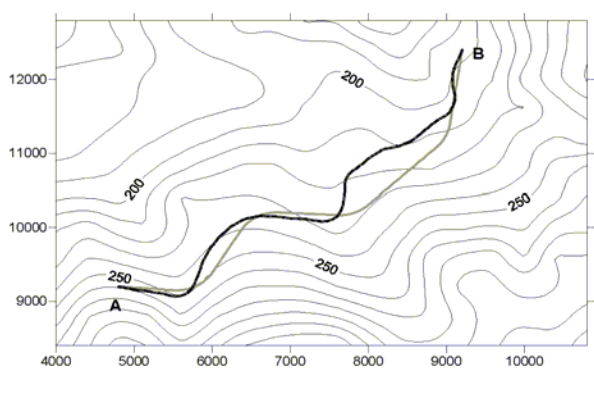
Şekil: A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçki



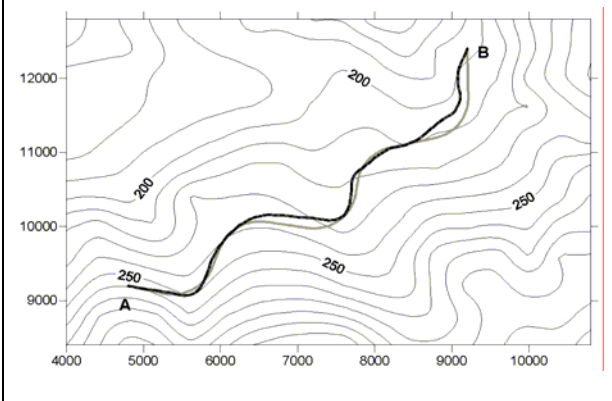
Şekil : A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçki



Şekil : A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçki

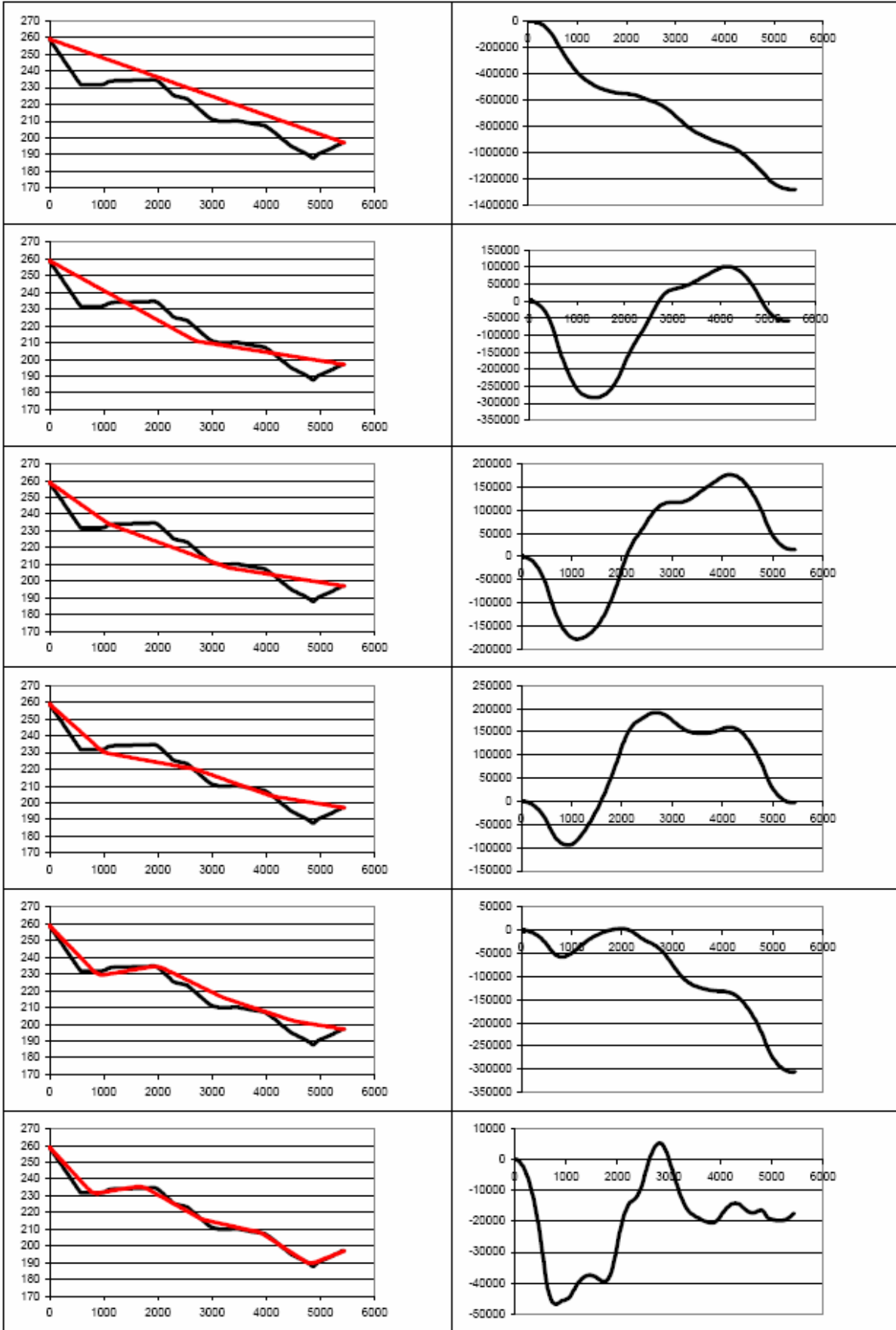


Şekil : A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçki

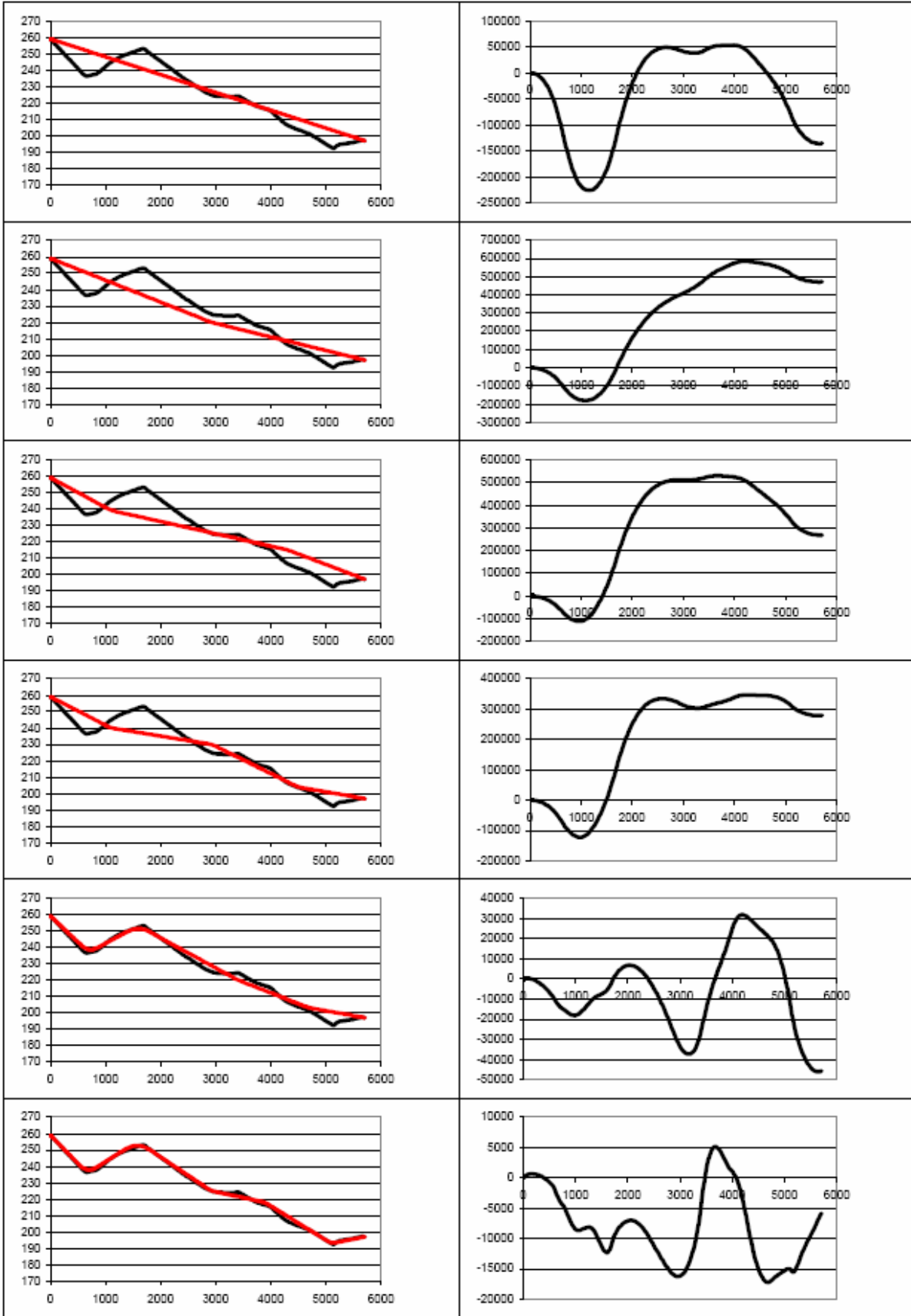


Şekil : A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçki

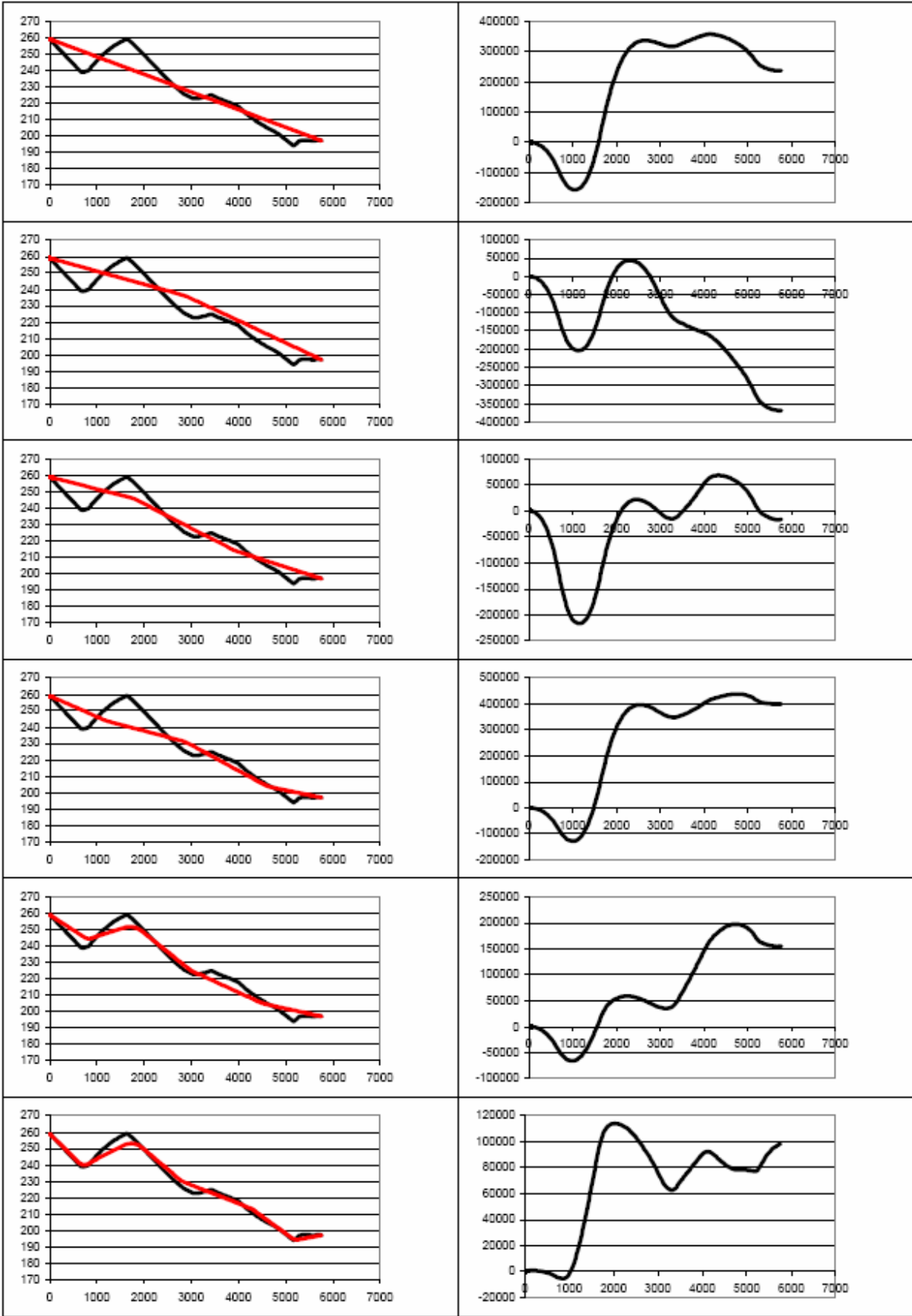
Şekil 5.3: A ve B noktalarının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 yatay kurpla birleştirilmesiyle oluşan geçki eksenleri



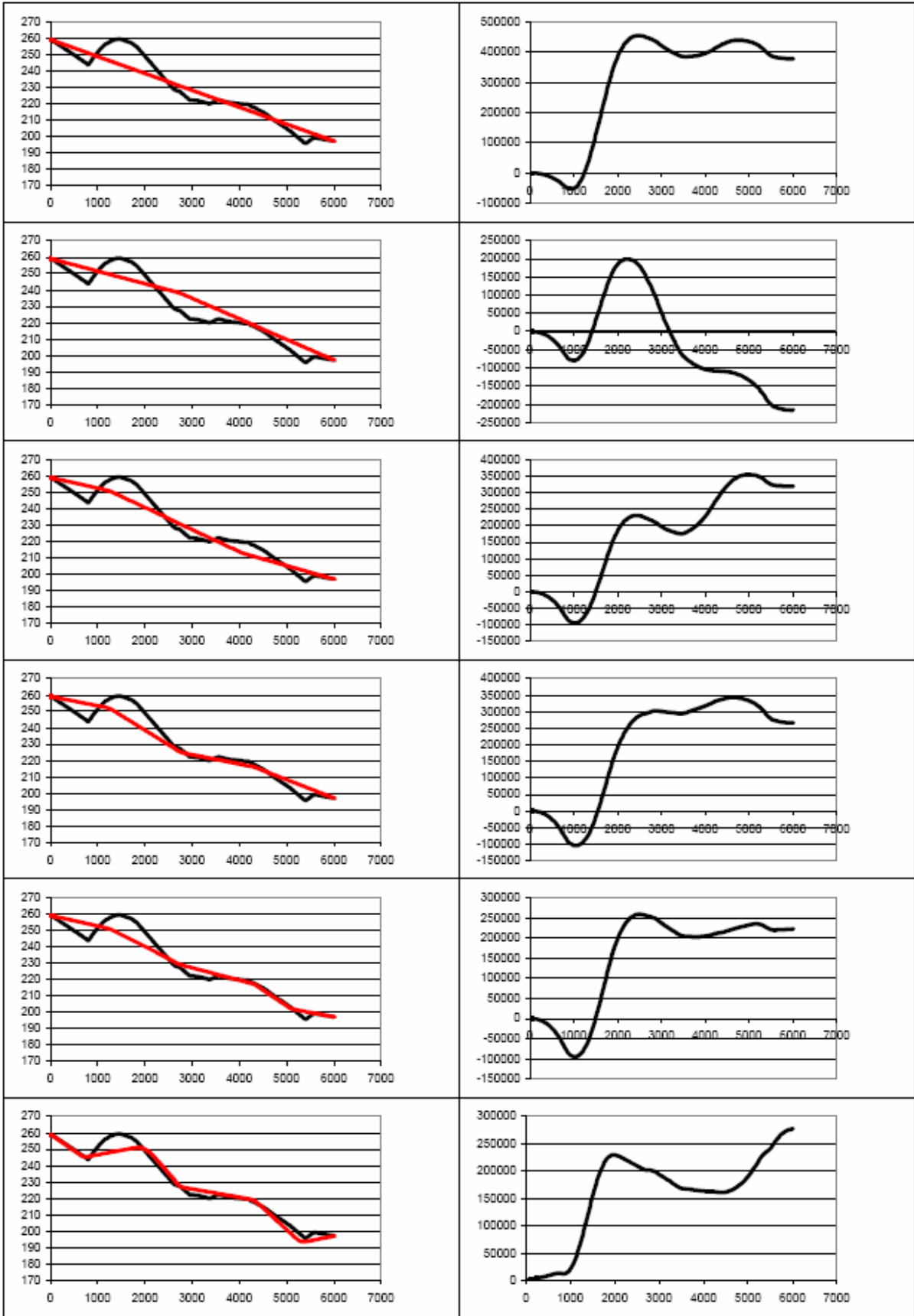
Şekil 5.4: A ve B noktalarını doğrudan birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve kütleler diyagramları



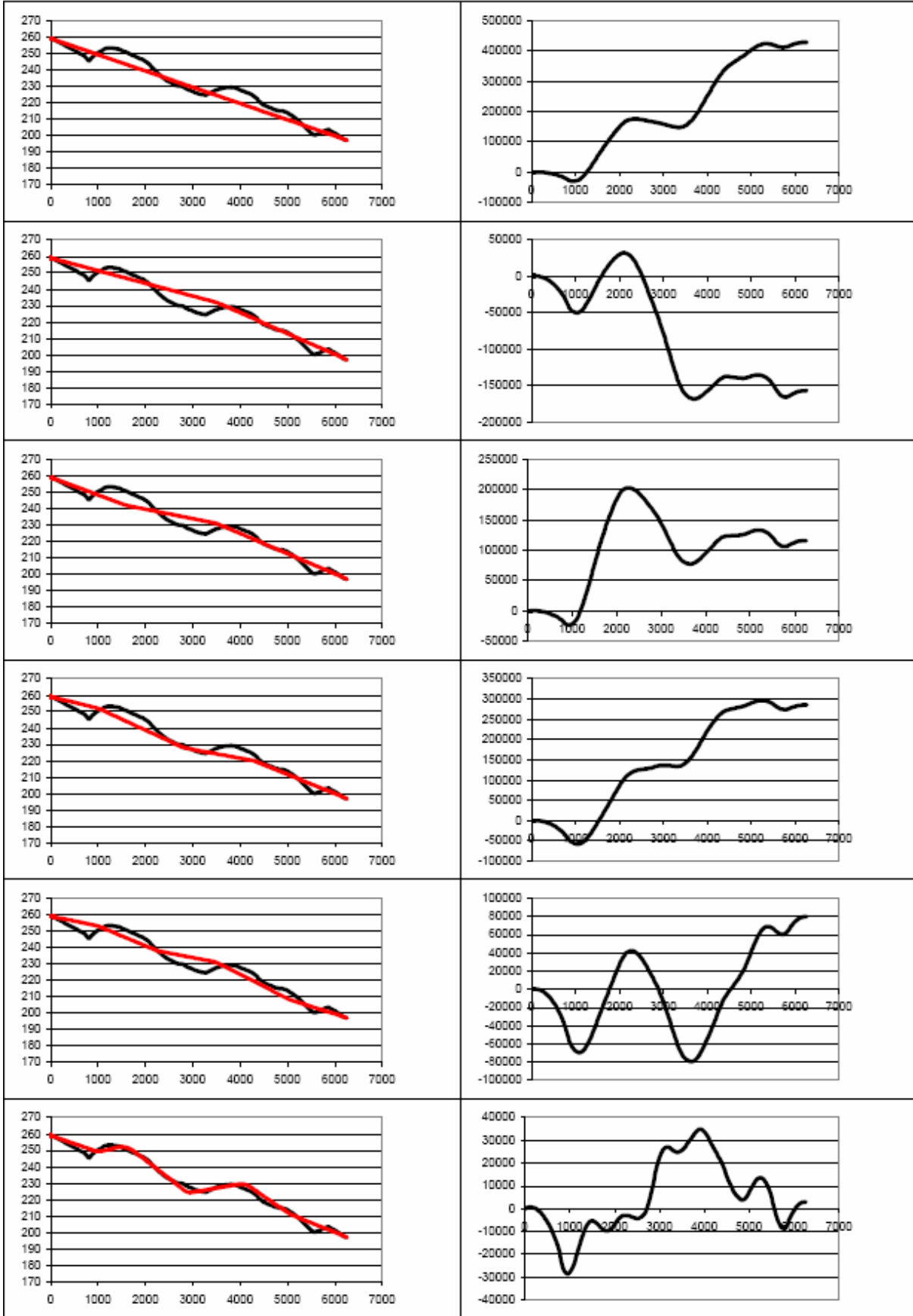
Şekil 5.5: A ve B noktalarını 1 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve kütleler diyagramları



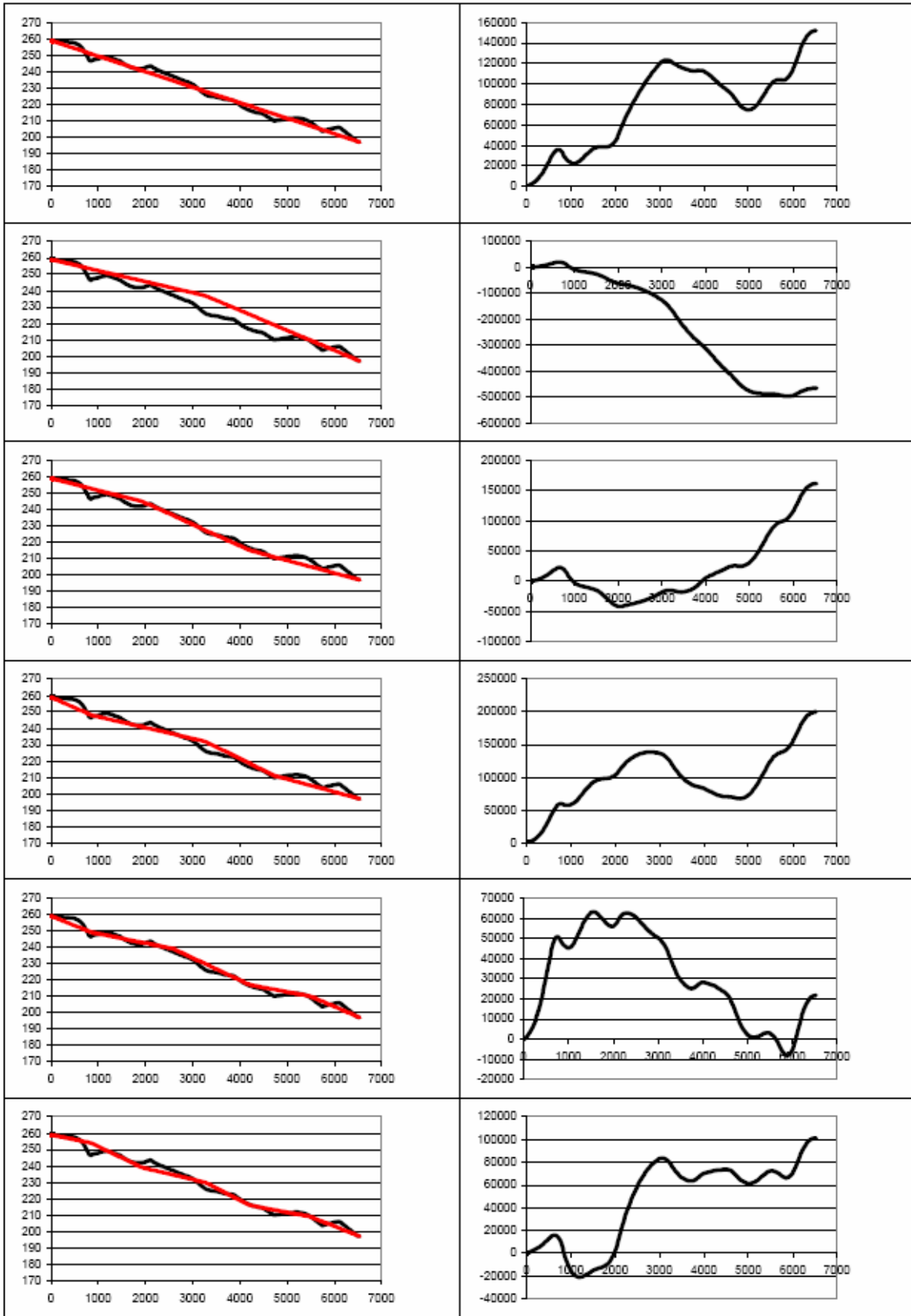
Şekil 5.6: A ve B noktalarını 2 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil 5.7: A ve B noktalarını 3 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil 5.8: A ve B noktalarını 4 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil 5.9: A ve B noktalarını 5 yatay kurpla birleştiren geçkiye ait 0,1,2,3,4 ve 5 düşey kurplu boykesitler ve kütleler diyagramları

Çizelge 5.1: A ve B noktalarının sırasıyla 0,1,2,3,4,5 yatay ve 0,1,2,3,4,5 düşey kurpla birleştirildiği geçkilere ait karayolu yapım maliyet değerleri

YKS	DKS	YKS+DKS	YU (m)	Y (m3)	D (m3)	Y+D (m3)	Y-D (m3)	TAM (YTL)	TÜM (YTL)	TYM (YTL)
0	0	0	5440,59	302,40	1277053,44	1277355,85	-1276751	14803964,84	1796260,33	16600225,15
0	1	1		387346,08	445786,87	833132,95	-58440,79	12979870,90	1796260,33	14776131,22
0	2	2		356150,10	340681,73	696831,83	15468,37	12420183,33	1796260,33	14216443,65
0	3	3		300365,25	303028,10	603393,35	-2662,84	12036500,80	1796260,33	13832761,12
0	4	4		61960,45	367881,92	429842,37	-305921,6	11323855,68	1796260,33	13120116,00
0	5	5		67013,58	84364,29	151377,87	-17350,71	10180408,55	1796260,33	11976668,87
1	0	1	5707,89	291397,79	426567,58	717965,37	-135169,9	12976594,25	1884511,85	14861106,09
1	1	2		765780,72	294021,12	1059801,83	471759,60	14380263,00	1884511,85	16264774,85
1	2	3		640679,47	372200,60	1012880,07	268478,88	14187590,12	1884511,85	16072101,98
1	3	4		501895,05	222809,61	724704,66	279085,44	13004267,50	1884511,85	14888779,35
1	4	5		95804,77	141267,55	237072,32	-45462,78	11001923,24	1884511,85	12886435,09
1	5	6		44127,73	50003,44	94131,17	-5875,71	10414969,98	1884511,85	12299481,82
2	0	2	5762,08	534102,65	297549,22	831651,87	236553,43	13538629,15	1902403,17	15441032,32
2	1	3		248802,31	616952,59	865754,90	-368150,8	13678665,00	1902403,17	15581068,16
2	2	4		323219,03	339573,05	662792,08	-16354,02	12845247,27	1902403,17	14747650,43
2	3	5		615456,66	216000,04	831456,70	399456,62	13537827,73	1902403,17	15440230,90
2	4	6		288521,53	133511,40	422032,93	155010,13	11856628,04	1902403,17	13759031,20
2	5	7		174084,36	75862,61	249946,97	98221,75	11149998,66	1902403,17	13052401,84
3	0	3	6013,33	562980,08	184782,37	747762,45	378197,71	13635589,72	1985355,64	15620945,35
3	1	4		280559,22	495861,52	776420,74	-215302,0	13753268,05	1985355,64	15738623,70
3	2	5		505815,74	185666,47	691482,21	320149,27	13404488,52	1985355,64	15389844,16
3	3	6		457488,94	190823,12	648312,06	266665,82	13227220,73	1985355,64	15212576,39
3	4	7		389181,90	167222,00	556403,90	221959,90	12849822,10	1985355,64	14835177,76
3	5	8		349023,88	71943,18	420967,06	277080,70	12293683,49	1985355,64	14279039,12
4	0	4	6259,76	499461,75	71206,74	570668,49	428255,01	13341359,91	2066716,75	15408076,66
4	1	5		128711,16	285285,06	413996,22	-156573,0	12698023,13	2066716,75	14764739,88
4	2	6		294191,67	177889,40	472081,07	116302,27	12936534,51	2066716,75	15003251,27
4	3	7		370001,76	84650,23	454651,99	285351,53	12864966,23	2066716,75	14931682,98
4	4	8		280956,22	201186,59	482142,81	79769,64	12977850,61	2066716,75	15044567,36
4	5	9		96755,89	93734,61	190490,50	3021,28	11780250,96	2066716,75	13846967,71
5	0	5	6533,29	217667,26	65554,28	283221,54	152112,98	12641605,42	2157025,18	14798630,59
5	1	6		52425,30	517350,64	569775,94	-464925,4	13818271,75	2157025,18	15975296,93
5	2	7		231127,55	69338,75	300466,30	161788,80	12712416,86	2157025,18	14869442,03
5	3	8		274494,71	74636,18	349130,89	199858,53	12912246,23	2157025,18	15069271,39
5	4	9		113304,71	91548,87	204853,58	21755,84	12319806,35	2157025,18	14476831,52
5	5	10		178972,00	77612,00	256584,00	101360,00	12532224,81	2157025,18	14689249,97

Maliyet değerleri hesaplanan bütün geçkilerin, önce yatay kurplar sabit, düşey kurplar değişken alınarak düşey kurp sayısı ile maliyet değerleri, sonra da düşey kurplar sabit, yatay kurplar değişken alınarak yatay kurp sayısı ile maliyet değerleri arasındaki ilişkiler şekil 5.10 ve 5.11'de gösterilerek değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde, toprak işinin yapım maliyeti üzerindeki etkisinin net bir şekilde belirlenebilmesi için, maksimum ve minimum kazı yükseklikleri, bu yüksekliklerin ortalaması ve standart sapmaları da dikkate alınmıştır. Maksimum değerler (+)'dır ve kazı yüksekliğini, minimum değerler (-)'dir ve dolgu yüksekliğini göstermektedir. Kazı ve dolgu yüksekliklerinin ortalama değeri, tek başına somut bir sonuç vermemektedir, bu sebeple standart sapmalarının da dikkate alınması gerekmektedir. Şöyle ki, bunu bir örnekle açıklayacak olursak; kazı ve dolgu yükseklikleri +20m ve -20m arasında değiştiğini varsayarsak, ortalaması küçük bir değer olabilir, ancak standart sapması büyük olur. Standart sapma değeri, kazı dolgu yüksekliğinin miktarı

dolayısıyla toprak işinin miktarı konusunda net bir bilgi verir. Standart sapma değeri ne kadar küçükse toprak işi de o kadar az olur.

Toprak işi maliyeti üzerinde önemli bir etkende boyuna eğim değerleridir. Bu uygulamada boyuna eğim değerleri proje standartlarına bağlı olarak maksimum boyuna eğim değerinden daha küçük ve en uygun maliyeti sağlayan minimum değerler olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla boyuna eğim değerlerinin artırılması ya da azaltılmasıyla toprak işi artacağı için yapım maliyetleri de artacaktır. Proje elemanlarının maliyete etkileri incelenirken boyuna eğim değerleri optimum şekilde belirlendiği için bunların değiştirilmesine gerek görülmemiştir.

Burada yapım maliyetini oluşturan önemli bir diğer etkende karayolunun uzunluğudur. Yatay kurpların sabit düşey kurpların değişken olarak alındığı düşey kurp sayısı ile maliyet arasındaki ilişkilerin incelendiği geçkilerde yol uzunluğunun maliyet üzerindeki etkisi sabittir. Ancak düşey kurp sayısının sabit yatay kurp sayısının değişken olduğu geçkilerde, yatay kurp sayısına bağlı olarak yol uzunluğu değişmektedir. Bu geçki seçeneklerinin değerlendirilmesinde yolun uzunluğu da dikkate alınmıştır.

5.3.1 Yatay Kurp Sayısı Sabit Alınarak Düşey Kurp Sayısı ile Yapım Maliyet Değerleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

5.3.1.1 Yatay Kurp Sayısı 0 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirildiği geçkide, düşey kurp sayısının maliyete olan etkileri incelendiğinde; düşey kurp sayısının artmasıyla toplam yapım maliyetinin azaldığı görülmektedir. Burada A ve B noktaları birbirleriyle doğrudan birleştirildiği için karayolu uzunluğu minimum(5440.59m) olmaktadır. Karayolu uzunluğunun minimum olması, hem kamulaştırma maliyetini, hem de üstyapı maliyetini azaltmaktadır. Böylece yapım maliyetini etkileyen en önemli faktör, toprak işi dolayısı ile toprak işi maliyeti olmaktadır. Düşey kurp sayısının artması, yarma ve dolgu hacimlerinin azalmasını, buna bağlı olarak toprak işi maliyetini ve dolayısı ile toplam yapım maliyetini azaltmaktadır. Toprak işi, 5 düşey kurp kullanılan geçki için; %28, 4 düşey kurp kullanılan geçki için; %21, 3 düşey kurp kullanılan geçki için; %17, 2 düşey kurp kullanılan geçki için; %14, 1 düşey kurp kullanılan geçki için; %10 oranında, düşey kurp kullanılmayan geçkiden daha düşük yapım maliyeti sağlamaktadır.

Düşey kurp kullanılmadan A ve B noktaları doğrudan birleştirildiğinde, toplam toprak hacmi; 1277356m^3 , maksimum kazı yüksekliği 0, minimum dolgu yüksekliği; -20.68m olup yapılacak toprak işinin tamamı dolgudur ve kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -9.83m , standart sapması ise; 4.64m 'dir ve toplam yapım maliyeti en büyük olan geçkidir.

A ve B noktalarının 1 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 833133m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.55m , minimum dolgu yüksekliği; -16.97m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.26m , standart sapması ise; 7.31m 'dir.

A ve B noktalarının 2 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 696832m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.75m , minimum dolgu yüksekliği; -14.09m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.75m , standart sapması ise; 6.38m 'dir.

A ve B noktalarının 3 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 603393m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.27m , minimum dolgu yüksekliği; -12.28m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.07m , standart sapması ise; 5.74m 'dir.

A ve B noktalarının 4 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 429842m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.70m , minimum dolgu yüksekliği; -12.33m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -3.29m , standart sapması ise; 3.79m 'dir.

A ve B noktalarının 5 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 151378m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.45m , minimum dolgu yüksekliği; -7.06m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.64m , standart sapması ise; 1.96m 'dir.

Yatay kurp sayısının 0, düşey kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alındığı geçkilerde toplam yapım maliyeti toprak işi miktarına bağlı olarak değişmektedir. Toplam hacim miktarı azaldıkça toprak işi ve dolayısıyla toplam yapım maliyeti azalmaktadır.

5.3.1.2 Yatay Kurp Sayısı 1 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Yatay kurp sayısının 1, düşey kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinin kurp sayılarıyla maliyet değerleri arasındaki ilişki incelendiği zaman, kurp sayısının artmasıyla maliyet değerleri arasında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmektedir. Tek yatay kurplu geçki için yol uzunluğu; 5707.89m 'dir.

Düşey kurbun olmadığı yani, başlangıç ve bitiş noktalarının doğrudan birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 717965m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.36m , minimum dolgu yüksekliği; -15.50m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.94m , standart sapması ise; 6.42m 'dir.

A ve B noktalarının 1 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 1059802m³, maksimum kazı yüksekliği; 16.57m, minimum dolgu yüksekliği; -13.91m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.71m, standart sapması ise; 7.73m'dir.

A ve B noktalarının 2 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 1012880m³, maksimum kazı yüksekliği; 18.45m, minimum dolgu yüksekliği; -12.00m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.03m, standart sapması ise; 8.15m'dir.

A ve B noktalarının 3 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 724705m³, maksimum kazı yüksekliği; 16.25m, minimum dolgu yüksekliği; -11.42m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.49m, standart sapması ise; 6.41m'dir.

A ve B noktalarının 4 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 237072m³, maksimum kazı yüksekliği; 4.39m, minimum dolgu yüksekliği; -7.98m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.03m, standart sapması ise; 2.55m'dir.

A ve B noktalarının 5 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 94131m³, maksimum kazı yüksekliği; 2.73m, minimum dolgu yüksekliği; -3.10m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.47m, standart sapması ise; 1.02m'dir.

Yatay ekseninde başlangıç ve bitiş noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide, düşey kurp kullanılmayan geçki, 1, 2 ve 3 düşey kurbun kullanıldığı geçkilerden daha az yapım maliyetine sahiptir. Kullanılan düşey kurp sayısının artmasıyla, maliyetin azalması beklenmektedir. Ancak, boykesitte gerekli standartların sağlanması zorunluluğu(eğim değerleri, düşey kurp some yerlerinin belirlenmesi, düşey kurp yarıçapı gibi) toprak işini arttırmakta ve bu da maliyete yansımaktadır. 4 ve 5 düşey kurbun kullanıldığı geçkilerde toprak işi daha az olduğu için maliyeti düşürmektedir.

5.3.1.3 Yatay Kurp Sayısı 2 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Yatay kurp sayısının 2, düşey kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinin kurp sayılarıyla maliyet değerleri arasındaki ilişki incelendiği zaman, kurp sayısının artmasıyla maliyet değerleri arasında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmektedir. İki yatay kurplu geçki için yol uzunluğu; 5762.08m'dir.

A ve B noktalarının düşey kurp kullanılmadan doğrudan birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 831652m³, maksimum kazı yüksekliği; 17.72m, minimum dolgu yüksekliği; -12.84m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.29m, standart sapması ise; 7.30m'dir.

A ve B noktalarının 1 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 865755m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 13.20m, minimum dolgu yüksekliği; -14.76m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -3.68m, standart sapması ise; 6.66m'dir.

A ve B noktalarının 2 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 662792m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.14m, minimum dolgu yüksekliği; -15.21m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.83m, standart sapması ise; 6.12m'dir.

A ve B noktalarının 3 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 831457m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 18.69m, minimum dolgu yüksekliği; -11.55m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.40m, standart sapması ise; 7.09m'dir.

A ve B noktalarının 4 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 422033m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 7.54m, minimum dolgu yüksekliği; -7.51m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.48m, standart sapması ise; 3.93m'dir.

A ve B noktalarının 5 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 249947m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 6.54m, minimum dolgu yüksekliği; -4.40m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.20m, standart sapması ise; 2.61m'dir.

Yatay kurp sayısının 2, düşey kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinin kurp sayılarıyla maliyet değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, sadece 1 düşey kurplu geçki toprak işinin fazla olması sebebiyle 2, 3, 4 ve 5 düşey kurplu geçkilerden daha yüksek maliyete sebebiyet vermekte, 3 düşey kurplu geçki ise 2 düşey kurplu geçkiden daha yüksek maliyetli olmaktadır.

5.3.1.4 Yatay Kurp Sayısı 3 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Yatay kurp sayısının 3, düşey kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde 1 düşey kurplu geçki toprak işinin, dolayısıyla maliyetin en fazla olduğu geçkidir. Diğer geçkilerde, düşey kurp sayısının artmasıyla maliyetin azalması arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Üç yatay kurplu geçki için yol uzunluğu; 6013.33m'dir.

A ve B noktalarının düşey kurp kullanılmadan doğrudan birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 747762m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 15.69m, minimum dolgu yüksekliği; -7.57m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.01m, standart sapması ise; 6.33m'dir.

A ve B noktalarının 1 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 776421m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 11.64m, minimum dolgu yüksekliği; -13.16m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -2.68m, standart sapması ise; 6.37m'dir.

A ve B noktalarının 2 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 691482m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.40m, minimum dolgu yüksekliği; -10.23m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.05m, standart sapması ise; 5.60m 'dir.

A ve B noktalarının 3 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 648312m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 13.47m, minimum dolgu yüksekliği; -10.87m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.72m, standart sapması ise; 5.63m 'dir.

A ve B noktalarının 4 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 556404m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.91m, minimum dolgu yüksekliği; -10.23m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.44m, standart sapması ise; 5.21m 'dir.

A ve B noktalarının 5 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 420967m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.43m, minimum dolgu yüksekliği; -3.92m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.18m, standart sapması ise; 3.70m 'dir.

5.3.1.5 Yatay Kurp Sayısı 4 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Yatay kurp sayısının 4, düşey kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde, düşey kurp kullanılması maliyeti azaltmasına rağmen, düşey kurp sayısı ile yapım maliyetleri arasında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmektedir. 5 düşey kurplu geçki en düşük yapım maliyetine sahip olan geçkidir. Yatay kurp sayısı 4 olan geçkinin uzunluğu; 6259.76 'dır.

A ve B noktalarının düşey kurp kullanılmadan doğrudan birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 570678m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 8.47m, minimum dolgu yüksekliği; -5.87m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 2.05m, standart sapması ise; 3.89m 'dir.

A ve B noktalarının 1 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 413996m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.59m, minimum dolgu yüksekliği; -9.52m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.77m , standart sapması ise; 3.91m 'dir.

A ve B noktalarının 2 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 472081m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 8.91m, minimum dolgu yüksekliği; -7.83m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.06m , standart sapması ise; 4.31m 'dir.

A ve B noktalarının 3 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 454652m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 6.76m, minimum dolgu yüksekliği; -8.19m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.30m, standart sapması ise; 3.55m 'dir.

A ve B noktalarının 4 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 482143m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.79m, minimum dolgu yüksekliği; -8.99m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.18m , standart sapması ise; 4.10m 'dir.

A ve B noktalarının 5 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 190491m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.59m, minimum dolgu yüksekliği; -5.81m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.48m , standart sapması ise; 1.91m 'dir.

5.3.1.6 Yatay Kurp Sayısı 5 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Yatay kurp sayısının 5, düşey kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde düşey kurp sayısı 1 olan geçkinin en yüksek yapım maliyetine sahip olduğu, düşey kurpsuz geçkinin de 2 ve 3 düşey kurplu geçkilerden, daha düşük maliyete sahip olduğu görülmektedir. En düşük yapım maliyeti de 4 düşey kurplu geçkiyle sağlanmaktadır. 5 yatay kurplu geçki en büyük uzunluğa sahip olup; 6533.29m 'dir.

5 yatay kurplu bu geçkide, A ve B noktalarının düşey kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 283222m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.83m, minimum dolgu yüksekliği; -4.61m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.58m , standart sapması ise; 2.18m 'dir.

A ve B noktalarının 1 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 569776m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.70m, minimum dolgu yüksekliği; -10.84m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -3.90m , standart sapması ise; 3.77m 'dir.

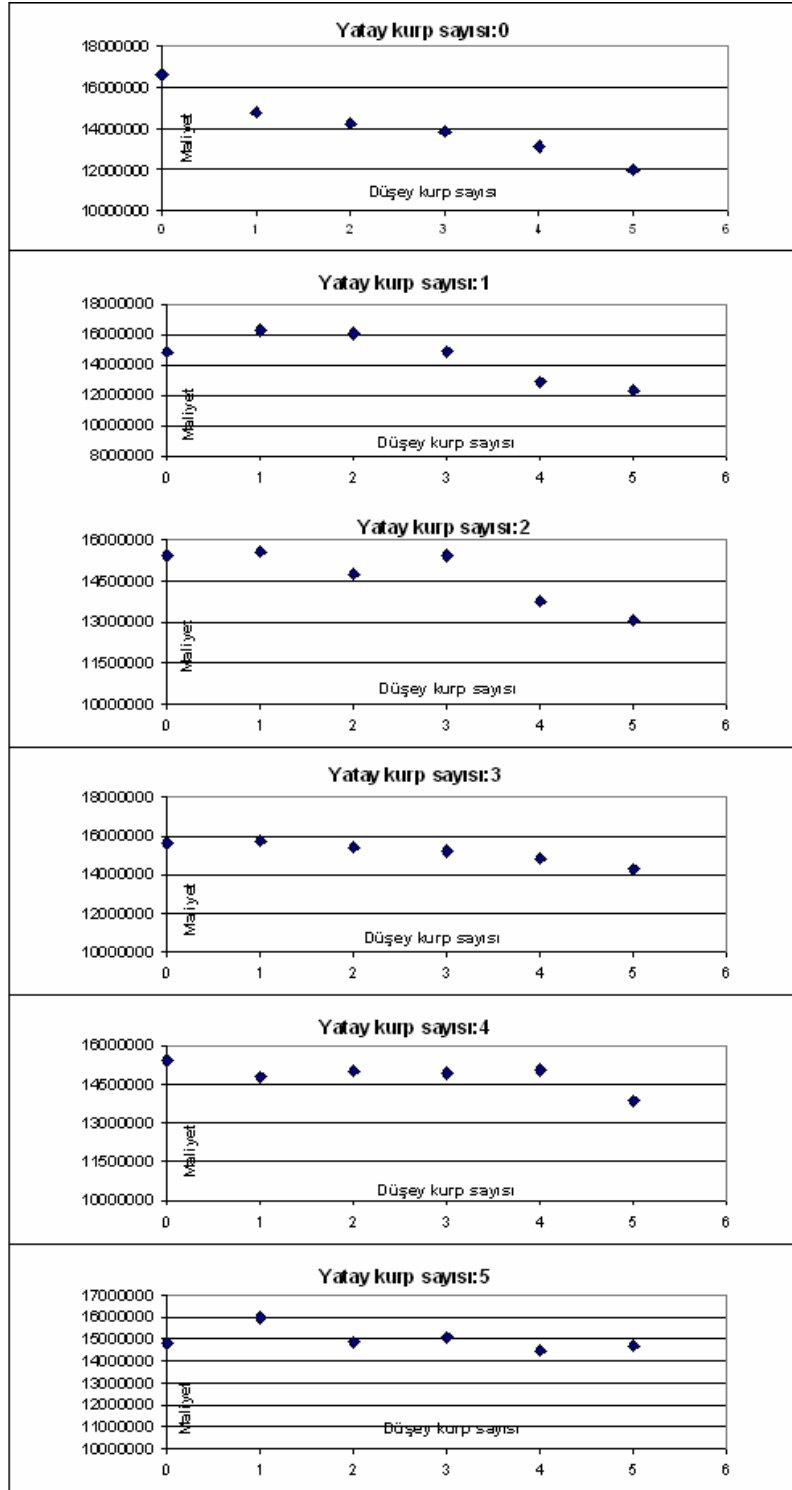
A ve B noktalarının 2 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 300466m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 5.56m, minimum dolgu yüksekliği; -6.48m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.66m , standart sapması ise; 2.39m 'dir.

A ve B noktalarının 3 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 349191m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 5.51m, minimum dolgu yüksekliği; -5.73m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.85m , standart sapması ise; 2.64m 'dir.

A ve B noktalarının 4 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 204854m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.40m, minimum dolgu yüksekliği; -4.13m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.34m , standart sapması ise; 1.90m 'dir.

A ve B noktalarının 5 düşey kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 256584m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 5.81m, minimum dolgu yüksekliği; -7.61m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.26m , standart sapması ise; 2.28m 'dir.

Yatay kurp sayısının sabit düşey kurp sayısının değişken olarak alındığı bütün geçkileri ve yapım maliyet değerlerini incelediğimizde, yatay kurp sayısı ne olursa olsun, düşey kurp sayısı 4 ve 5 olan geçkilerin, düşey kurp kullanılmayan geçkilerden daha düşük yapım maliyetine sahip olduğu görülmektedir. Yatay kurpsuz ve 4 yatay kurplu geçkiler hariç, diğer bütün geçkilerde 1 düşey kurp kullanılması, düşey kurp kullanılmayan geçkilerden daha fazla maliyete sebep olmaktadır. Burada some noktalarının yeri ve arazinin doğal yapısı da önemli bir etkidir. Yatay kurp sayısının 0 düşey kurp sayısının 5 olduğu geçki minimum yapım maliyetini vermektedir. Bu geçkiden sonra sırasıyla yatay kurp sayısı 1 düşey kurp sayısı 5, yatay kurp sayısı 1 düşey kurp sayısı 4, yatay kurp sayısı 2 düşey kurp sayısı 5... ve diğer geçkiler gelmektedir. İlk sıraları, yatay kurp sayısının az, düşey kurp sayısının fazla olduğu geçkiler almaktadır. Burada etken, yatay kurp sayısının az olması nedeniyle, karayolu uzunluğunun kısılması böylece, kamulaştırma ve üstyapı maliyetlerinin düşmesiyle toplam yapım maliyetinin azalması ve ayrıca düşey kurp sayısının fazla olmasıyla da, kırmızı kotlarla siyah kotlar arasındaki farkın az olması, böylece hacim değerlerinin düşmesi ve bunun toprak işi maliyetini dolayısıyla toplam yapım maliyetinin azaltmasıdır.



Şekil 5.10: Yatay karp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alınması durumunda düşey karp sayısına bağlı olarak maliyet değerlerinin değişimi

Ancak yatay karp sayısının az düşey karp sayısının fazla olması, karayolu geçkisinin arazinin doğal durumuna uygun olmaması, proje standartlarına bağlı olarak, some noktalarının maksimum alıyman boylarını geçmeyecek şekilde tespit edilmesi, boyuna eğimlerin kısa

mesafelerde sık değişmesi, yatay ve dűşey eksen arasında uyumun sağlanamaması, gibi sebepler nedeniyle tercih edilmemektedir.

5.3.2 Dűşey Kurp Sayısı Sabit Alınarak Yatay Kurp Sayısı ile Yapım Maliyet Deęerleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi

5.3.2.1 Dűşey Kurp Sayısı 0 Olan Geęki İçin Deęerlendirmeler

A ve B noktalarının dűşey kurp kullanılmadan doğrudan birleştirildiği geğkilerde, yatay kurp sayısının maliyete olan etkileri incelendiğinde; yatay kurp kullanılan geğkilerde yapım maliyeti, yatay kurp kullanılmayan geğkiyle karşılaştırıldığında daha azdır. Ancak yatay kurp sayısının artmasıyla yapım maliyet değerlerinin azalması gibi doğrusal bir ilişki söz konusu değildir. Burada A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan birleştirilmesi durumunda karayolu uzunluğu; 5440.59m, 1 yatay kurp kullanılması durumunda; 5707.89m, 2 yatay kurp kullanılması durumunda; 5762.08m, 3 yatay kurp kullanılması durumunda; 6013.33m, 4 yatay kurp kullanılması durumunda; 6259.76m ve 5 yatay kurp kullanılması durumunda; 6533.29m olmaktadır. Burada 0 yatay kurplu geğki ile diğer geğkileri karşılaştırdığımızda; 1 yatay kurplu geğkide, yol uzunluğu yaklaşık %4 artarken yapım maliyet değeri yaklaşık %10 azalmakta, 2 yatay kurplu geğkide, yol uzunluğu yaklaşık %6 artarken yapım maliyet değeri yaklaşık %7 azalmakta, 3 yatay kurplu geğkide, yol uzunluğu yaklaşık %11 artarken yapım maliyet değeri yaklaşık %6 azalmakta, 4 yatay kurplu geğkide, yol uzunluğu yaklaşık %15 artarken yapım maliyet değeri yaklaşık %7 azalmakta, 5 yatay kurplu geğkide, yol uzunluğu yaklaşık %20 artarken yapım maliyet değeri yaklaşık %11 azalmaktadır. Bu durum, some sayısının artmasıyla karayolu uzunluğunun ve buna bağlı olarak kamulaştırma ve uestyapı maliyetlerinin artmasına rağmen, some noktalarının yerlerine bağlı olarak, toprak işini azaltmasıyla, bunun sonucunda toplam yapım maliyetini dűřürmesinden kaynaklanmaktadır. Bۆylece yapım maliyetini etkileyen en ۆnemli faktۆr, toprak iři dolayısı ile toprak iři maliyeti olmaktadır. Toprak iři maliyeti, yatay kurp sayısının artmasıyla, yarma ve dolgu hacimlerinin azalmasına bağlı olarak, toprak iři maliyetini dolayısı ile toplam yapım maliyetini azaltmaktadır.

Dűşey kurp sayısının 0, yatay kurp sayısının sırasıyla, 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındıęı karayolu geękilerinde yatay kurp kullanılmayan geęki en kısa geęki olmasına raęmen toprak iři fazla olduęu için en yűksek yapım maliyetine sahiptir. 5 yatay kurp kullanılan en uzun geęki ise toprak iřinin az olması sebebiyle en dűřűk yapım maliyetine sahiptir.

Düşey kurbun kullanılmadığı bu geçkide, A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 1277356m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 0.00m, minimum dolgu yüksekliği; -20.68m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -9.83m , standart sapması ise; 4.64m 'dir.

A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 717965m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.36m , minimum dolgu yüksekliği; -15.50m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.94m , standart sapması ise; 6.42m 'dir.

A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 831652m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 17.72m , minimum dolgu yüksekliği; -12.84m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.29m , standart sapması ise; 7.30m 'dir.

A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 747762m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 15.69m , minimum dolgu yüksekliği; -7.57m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.01m , standart sapması ise; 6.33m 'dir.

A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 570668m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 8.47m , minimum dolgu yüksekliği; -5.87m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 2.05m , standart sapması ise; 3.89m 'dir.

A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 283222m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.83m , minimum dolgu yüksekliği; -4.61m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.58m , standart sapması ise; 2.18m 'dir.

Yatay kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı ve boykesitte başlangıç ve bitiş noktalarının düşey kurp uygulanmadan doğrudan birleştirildiği geçki eksenlerinin yapım maliyet değerleriyle olan ilişkileri incelendiğinde, aralarında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmektedir. Some noktalarının yerleri ve proje standartları da bunda etkindir. Bu geçkilerde yatay kurp sayısının artması, karayolunun uzunluğunu arttırmakta, böylece kamulaştırma ve üstyapı maliyetlerinin artması sağlanmakta, diğer yandan, yatay kurp sayısının artmasıyla, karayolu geçkisi sıfır poligonuna yaklaşmakta ve böylece toprak işi de azalmaktadır. Some noktalarının belirlenmesine bağlı olarak, proje elemanları, yol uzunluğu, toprak işi-kamulaştırma-üstyapı maliyetleri değişeceği için some noktalarının yerlerinin tespiti çok önemlidir. Some noktalarının yerlerinin tespit edilmesi, karar vericinin bilgi ve tecrübelerine bağlıdır. Yatay ve düşey kurplar yerleştirilirken, gerekli proje standartlarının sağlanması zorunluluğu da toplam yapım maliyetinde etken olmaktadır.

5.3.2.2 Düşey Kurp Sayısı 1 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Düşey kurp sayısının 1, yatay kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde, başlangıç ve bitiş noktalarının, 4 yatay kurpla birleştirilmesi durumunda maliyet en düşük olmaktadır. Daha sonra sırasıyla, yatay kurpsuz geçki, 2, 3, 5 ve 1 yatay kurplu geçkiler en düşük yapım maliyetini vermektedir. Düşey kurp sayısının 1 olarak alınması durumunda yatay kurp sayılarıyla maliyet değerleri arasında doğrusal bir ilişki görülmemektedir.

A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 833133m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.55m, minimum dolgu yüksekliği; -16.97m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.26m, standart sapması ise; 7.31m'dir.

A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 1059802m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 16.57m, minimum dolgu yüksekliği; -13.91m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.71m, standart sapması ise; 7.73m'dir.

A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 865755m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 13.20m, minimum dolgu yüksekliği; -14.76m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -3.68m, standart sapması ise; 6.66m'dir.

A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 776421m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 11.64m, minimum dolgu yüksekliği; -13.16m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -2.68m, standart sapması ise; 6.37m'dir.

A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 413996m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.59m, minimum dolgu yüksekliği; -9.52m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.77m, standart sapması ise; 3.91m'dir.

A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 569776m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.70m, minimum dolgu yüksekliği; -10.64m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -3.90m, standart sapması ise; 3.77m'dir.

5.3.2.3 Düşey Kurp Sayısı 2 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Düşey kurp sayısının 2, yatay kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde, başlangıç ve bitiş noktalarını yatay kurp kullanmadan doğrudan birleştiren yatay geçkinin, yapım maliyeti en düşük olmaktadır. En yüksek maliyeti ise 1 yatay kurpun kullanıldığı geçki vermektedir. Düşey kurp sayısının 2 olarak alınması

durumunda yatay kurp sayılarıyla yapım maliyet değerleri arasında doğrusal bir ilişki görülmemektedir.

A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 696832m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.75m, minimum dolgu yüksekliği; -14.09m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.75m, standart sapması ise; 6.38m'dir.

A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 1012880m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 18.45m, minimum dolgu yüksekliği; -12.00m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.03m, standart sapması ise; 8.15m'dir.

A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 662792m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.14m, minimum dolgu yüksekliği; -15.21m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.83m, standart sapması ise; 6.12m'dir.

A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 691482m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.40m, minimum dolgu yüksekliği; -10.23m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.05m, standart sapması ise; 5.60m'dir.

A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 472081m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 8.91m, minimum dolgu yüksekliği; -7.83m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.06m, standart sapması ise; 4.31m'dir.

A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 300466m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 5.56m, minimum dolgu yüksekliği; -6.48m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.66m, standart sapması ise; 2.39m'dir.

5.3.2.4 Düşey Kurp Sayısı 3 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Düşey kurp sayısının 3, yatay kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde, başlangıç ve bitiş noktalarını yatay kurp kullanmadan doğrudan birleştiren yatay geçkinin, yapım maliyeti minimumdur. En yüksek maliyeti ise 2 yatay kurp kullanıldığı geçki vermektedir. Düşey kurp sayısının 3 olarak alınması durumunda yatay kurp sayılarıyla yapım maliyet değerleri arasında doğrusal bir ilişki görülmemektedir.

A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 603393m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.27m, minimum dolgu yüksekliği; -12.28m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.07m, standart sapması ise; 5.74m'dir.

A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 724705m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 16.25m, minimum dolgu yüksekliği; -11.42m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.49m, standart sapması ise; 6.41m 'dir.

A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 831457m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 18.69m, minimum dolgu yüksekliği; -11.55m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.40m, standart sapması ise; 7.09m 'dir.

A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 648312m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 13.47m, minimum dolgu yüksekliği; -10.87m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.72m, standart sapması ise; 5.63m 'dir.

A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 454652m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 6.76m, minimum dolgu yüksekliği; -8.19m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.30m, standart sapması ise; 3.55m 'dir.

A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 349131m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 5.51m, minimum dolgu yüksekliği; -5.73m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.85m, standart sapması ise; 2.64m 'dir.

5.3.2.5 Düşey Kurp Sayısı 4 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Düşey kurp sayısının 4, yatay kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde, 1 yatay kurpla birleştirilen geçki minimum maliyete sahiptir. 4 yatay kurpla birleştirilen geçki ise en yüksek yapım maliyetini vermektedir. Burada da düşey kurp sayısının 4 olarak alınması durumunda yatay kurp sayılarıyla maliyet değerleri arasında doğrusal bir ilişki görülmemektedir.

A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 429842m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.70m, minimum dolgu yüksekliği; -12.33m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -3.29m , standart sapması ise; 3.79m 'dir.

A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 237072m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.39m, minimum dolgu yüksekliği; -7.98m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -1.03m , standart sapması ise; 2.55m 'dir.

A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 422033m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 7.54m, minimum dolgu yüksekliği; -7.51m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.48m, standart sapması ise; 3.93m 'dir.

A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 556404m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 12.91m, minimum dolgu yüksekliği; -10.23m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.44m, standart sapması ise; 5.21m 'dir.

A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 482143m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.79m, minimum dolgu yüksekliği; -8.99m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.18m , standart sapması ise; 4.10m 'dir.

A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 204854m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 4.40m, minimum dolgu yüksekliği; -4.13m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.34m , standart sapması ise; 1.90m 'dir.

5.3.2.6 Düşey Kurp Sayısı 5 Olan Geçki İçin Değerlendirmeler

Düşey kurp sayısının 5, yatay kurp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alındığı karayolu geçkilerinde, en düşük maliyeti veren geçki seçeneği yine yatay kurbun bulunmadığı geçkidir. Sonra yapım maliyeti bakımından sırasıyla, 1, 2, 4, 3 ve son olarakta 5 yatay kurplu geçkiler gelmektedir. Ancak 5 düşey kurbun sabit yatay kurpların ise değişken olarak alındığı geçkiler arasında da yatay kurp sayısı ile yapım maliyeti arasında doğrusal bir ilişki görülmemektedir.

A ve B noktalarının yatay kurp kullanılmadan doğrudan birleştirilmesi durumunda; toplam toprak hacmi; 151378m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.45m, minimum dolgu yüksekliği; -7.06m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.64m , standart sapması ise; 1.96m 'dir.

A ve B noktalarının 1 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 94131m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 2.73m, minimum dolgu yüksekliği; -3.10m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.47m , standart sapması ise; 1.02m 'dir.

A ve B noktalarının 2 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 249947m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 6.54m, minimum dolgu yüksekliği; -4.40m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.20m , standart sapması ise; 2.61m 'dir.

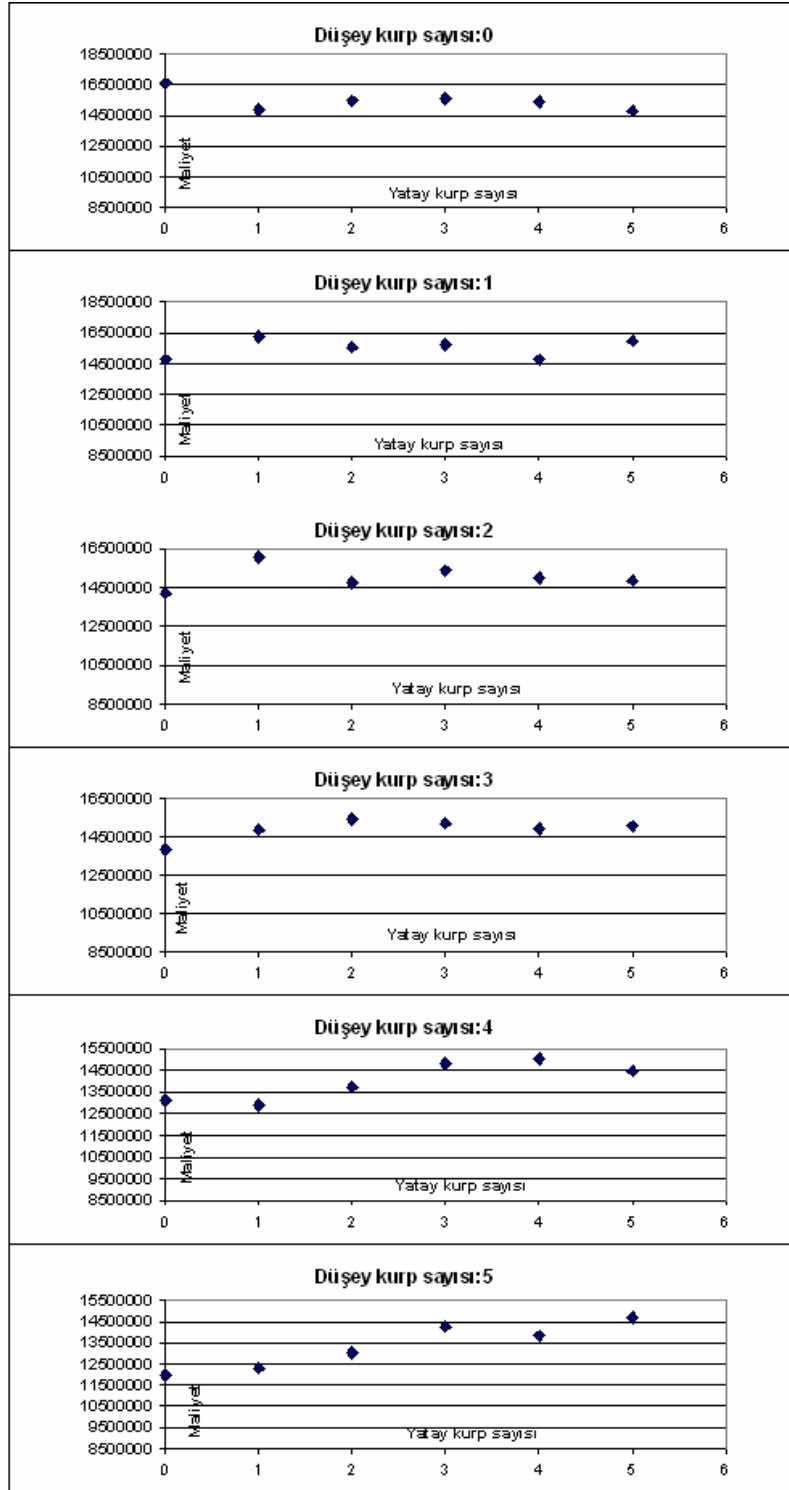
A ve B noktalarının 3 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 420967m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 10.43m, minimum dolgu yüksekliği; -3.92m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 1.18m , standart sapması ise; 3.70m 'dir.

A ve B noktalarının 4 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 190491m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 3.59m, minimum dolgu yüksekliği; -5.81m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; -0.48m, standart sapması ise; 1.91m'dir.

A ve B noktalarının 5 yatay kurpla birleştirildiği geçkide; toplam toprak hacmi; 256584m^3 , maksimum kazı yüksekliği; 5.81m, minimum dolgu yüksekliği; -7.61m olup, kazı dolgu yükseklikleri için ortalama değer; 0.26m, standart sapması ise; 2.28m'dir.

Burada da görüldüğü gibi, yapım maliyetinin düşük olduğu seçenekleri sağlayan ilk sıralardaki geçkiler, genellikle yatay kurbun kullanılmadığı veya daha az sayıda yatay kurbun kullanıldığı geçkilerdir. Çünkü burada düşey karp sayısı fazla olduğu için toprak işi maliyeti zaten düşük olmakta, geriye de yol uzunluğunun etkisi kalmaktadır. Bu sebeple yatay karp sayısı daha az olan seçenekler önceliklidir. Bunun sebebi de yatay karp sayısının az olması nedeniyle karayolu uzunluğunun kısılması, bunun kamulaştırma ve üstyapı maliyetlerini azaltmasıdır. Ancak ilk seçenekte düşey karp kullanılmaması halinde 5 yatay kurplu seçenek, 1 düşey karp kullanılması halinde 4 yatay kurplu seçenek toprak işi maliyetinin düşük olması nedeniyle minimum maliyeti vermektedir.

Yatay karp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4, 5 olarak alındığı ve boykesitte başlangıç ve bitiş noktalarının düşey karp uygulanmadan doğrudan birleştirildiği geçki eksenlerinin maliyet değerleriyle olan ilişkileri incelendiğinde, aralarında doğrusal bir ilişki olmadığı görülmektedir. Bu geçkilerde yatay karp sayısının artması, karayolunun uzunluğunu arttırmakta, böylece kamulaştırma ve üstyapı maliyetlerinin artmasını sağlamakta, diğer yandan, yatay karp sayısının artmasıyla, karayolu geçkisi sıfır poligonuna yaklaşmakta ve böylece toprak işi de azalmaktadır. Some noktalarının belirlenmesine bağlı olarak, proje elemanları, yol uzunluğu, toprak işi-kamulaştırma-üstyapı maliyetleri değişeceği için some noktalarının yerlerinin tespiti çok önemlidir. Some noktalarının yerlerinin tespit edilmesi, karar vericinin bilgi ve tecrübelerine bağlıdır. Yatay ve düşey kurplar yerleştirilirken, gerekli proje standartlarının sağlanması zorunluluğu da toplam yapım maliyetinde etken olmaktadır.



Şekil 5.11: Düsey karp sayısının sırasıyla 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alınması durumunda yatay karp sayısına bağlı olarak maliyet değerlerinin değişimi

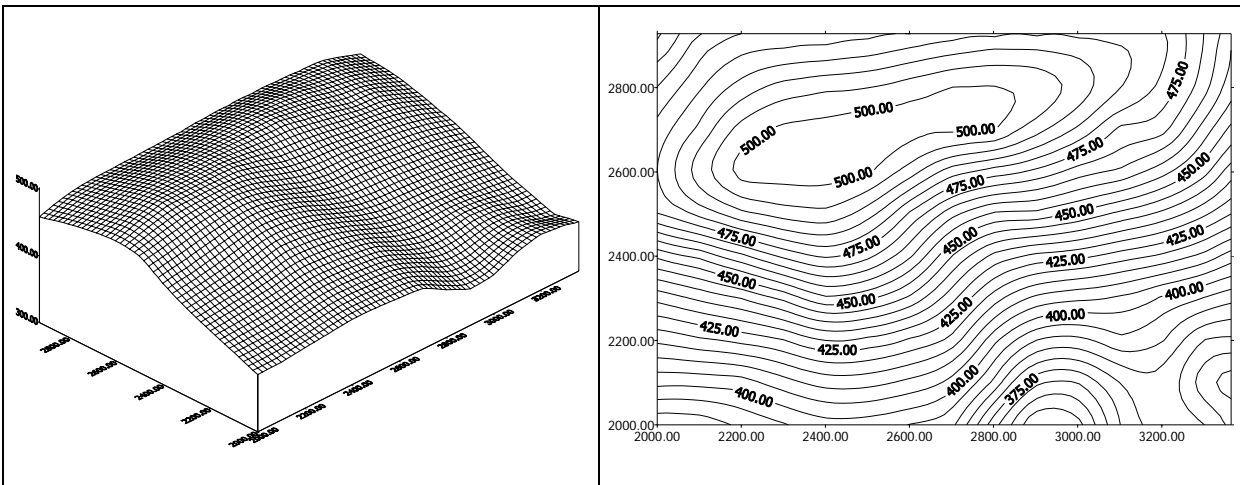
Maliyet değerleri açısından, burada yatay kurbun sabit düsey kurbun değişken veya düsey kurbun sabit yatay kurbun değişken alındığı geçki seçeneklerinde görüldüğü gibi karayolu

maliyeti açısından en önemli etkenler karayolu uzunluğu ve toprak hacmidir. Karayolu uzunluğu; kamulaştırma ve üstyapı maliyetini, toprak hacmi; toprakışı maliyetini etkileyen unsurlardır. Farklı bir arazide aynı yöntem uygulandığı zaman yine buradakinden farklı ilişkiler ortaya çıkacaktır. Karayolunda, bütün standartların ve proje elemanlarının arazi topoğrafyasına bağlı olarak belirlenmesi ve arazinin değişken olması sebebiyle kesin bir sonuç elde edilememektedir.

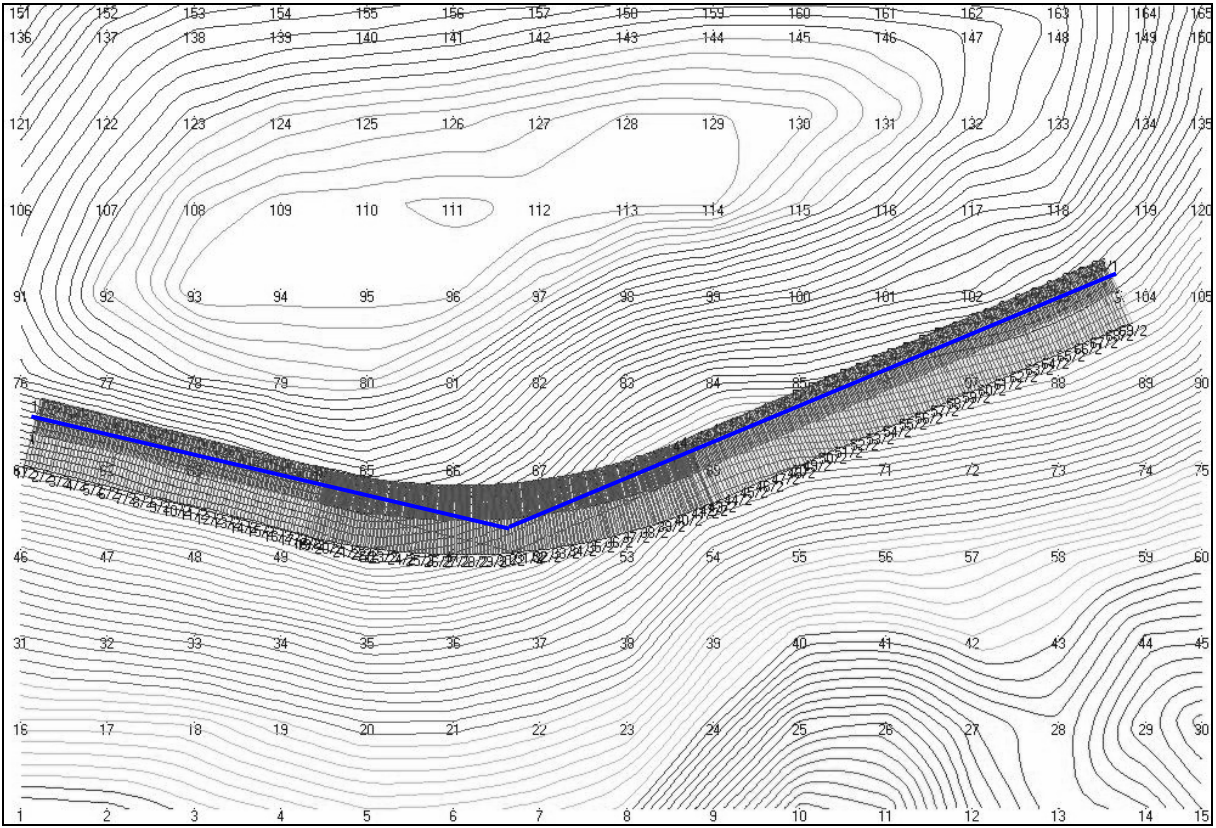
5.4 Yapım Maliyetini Etkileyen Proje Elemanlarının Belirlenmesi

5.4.1 Hazırlık Çalışması

Bir karayolu projelendirmesinde hedef iki noktayı birbirine bağlayan ve standartları daha önceden tanımlanmış bir güzergahın minimum maliyetle oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, karayolu proje elemanlarının yol yapım maliyetine etkilerinin incelenmesi için, karayolu geometrik standartlarına göre, birinci, ikinci ve üçüncü sınıf karayollarında, en uygun yol geçkileri oluşturularak, her bir proje elemanındaki değişimin toplam yol yapım maliyetini nasıl etkilediğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak öncelikle yapım maliyetini etkileyen hangi proje elemanlarının inceleneceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple; seçilen (1000*1500) metrelik bir deneme alanının yükseklik eğrili haritası oluşturulmuş, geçirilen sıfır poligonunu oluşturan nokta kümesi spline fonksiyonu ile tanımlanıp optimuma yakın boykesit verisi elde edilmiş, daha sonra Karayolu Geometrik Standartları tablosundan birinci sınıf, dalgalı arazi modeli ve 80km/sa'lik proje hızı seçilerek bir ön çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada iki sabit nokta tek some noktalı bir geçkiyle birleştirilerek, bu geçki; yarıçap, yol uzunluğu, boyuna eğim, düşey kurp uzunluğu, klotoid parametresi gibi parametrelerin yol yapım maliyetini nasıl etkilediği incelenmiş ve elde edilen bulgular grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Hazırlık çalışma bölgesinin 2 ve 3 boyutlu modeli



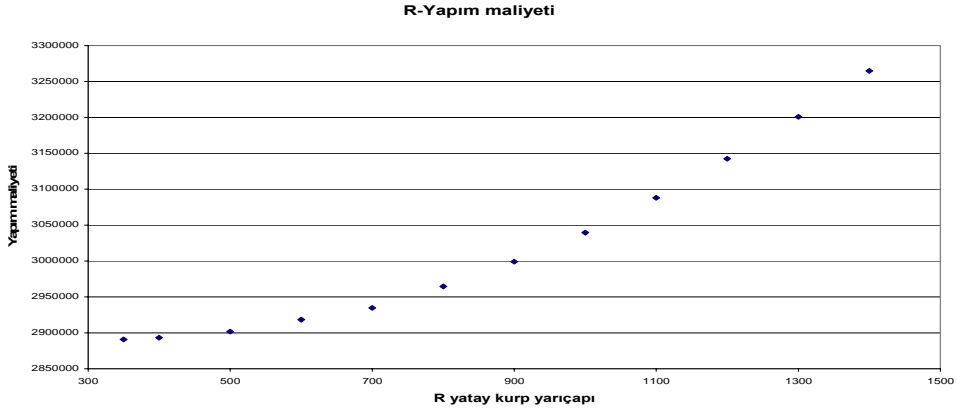
Şekil 5.13: Uygulama yapılan tek some noktalı yol geçkisi

5.4.1.1 R Yarıçapının İncelenmesi

Birinci sınıf, dalgalı arazi, $V=80\text{km/sa}$ hız için R minimum kurp yarıçapı 250m'den başlamaktadır. Yarıçap için $R=350\text{m}$ minimum değeri seçilip, R yarıçapı artırılarak bunun yol uzunluğunu, kümülatif hacmi ve yol yapım maliyetini nasıl etkilediği araştırılmıştır. R yarıçapı, yol uzunluğu ve yapım maliyetine ait değerler tablo 1'dedir.

Çizelge 5.2: Yarıçap, yol uzunluğu ve yapım maliyeti değerleri

R (yarıçap m)	Yol Uzunluğu (m)	Yapım Maliyeti (YTL)
350	1324,99	2890656.269
400	1323,80	2893286.074
500	1321,41	2901690.853
600	1319,01	2918386.603
700	1316,62	2934698.569
800	1314,23	2964646.864
900	1311,84	2999128.304
1000	1309,44	3039558.193
1100	1307,05	3087920.169
1200	1304,66	3142379.060
1300	1302,27	3200699.356
1400	1299,87	3264794.129



Şekil 5.14: Yarıçap- yapım maliyeti ilişkisi

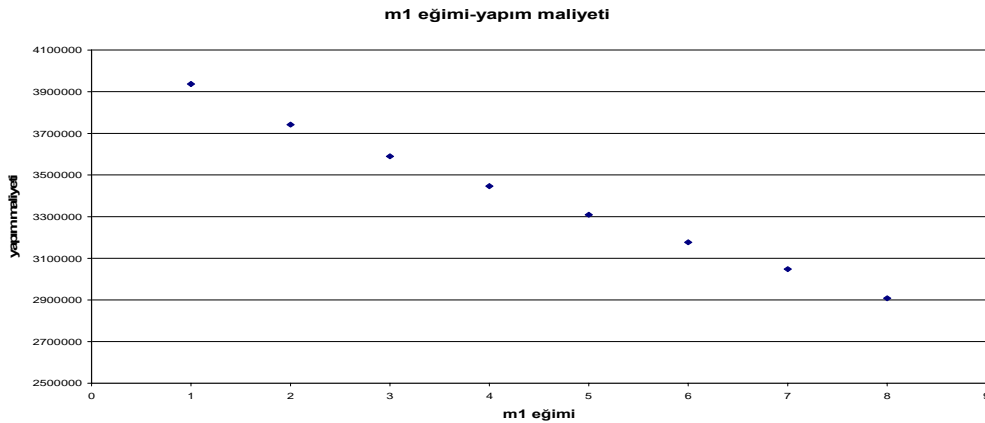
5.4.1.2 Boyuna Eğimin İncelenmesi

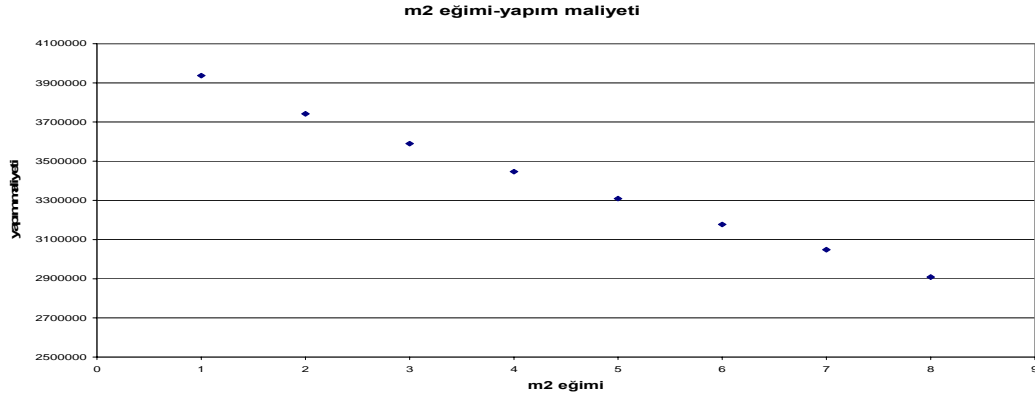
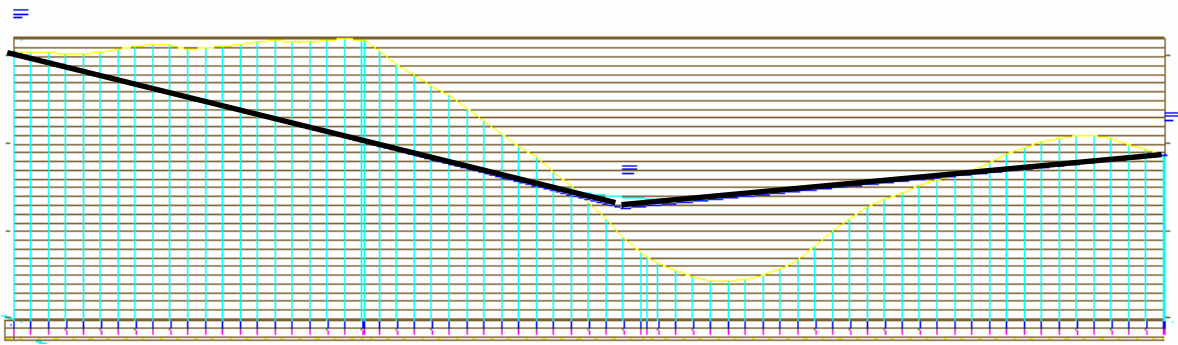
Boyuna eğim kriteri ile yol yapım maliyeti ilişkisini incelemek için yine birinci sınıf dalgalı arazi için $V=80\text{km/sa}$, $R=500\text{m}$ yarıçap alınarak incelemeler yapılmıştır. Boykesitte başlangıç ve son noktaları m_1 ve m_2 eğimleri arasına bir açık karp yerleştirilerek birleştirilmiştir. Açık kurbun some kotu her uygulama için 2.00m arttırılarak yeni kırmızı çizgiler elde edilmiştir. Bu uygulama sonucu aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.3: Boyuna eğimler ve yapım maliyeti değerleri

Eğim (m_1)	Eğim (m_2)	Kot (S_1)	Yapım maliyeti
-4,25	+2,90	431,00	3937170.059
-3,97	+2,58	433,00	3741986.018
-3,68	+2,26	435,00	3589727.567
-3,40	+1,93	437,00	3446342.124
-3,11	+1,61	439,00	3309077.717
-2,82	+1,29	441,00	3176626.705
-2,54	+0,97	443,00	3047897.976
-2,25	+0,65	445,00	2908246.765

Birinci sınıf karayolu geometrik standartlarına bağlı olarak maksimum boyuna eğim %4.25, minimum boyuna eğim%0.65 olarak alınmıştır.

Şekil 5.15: m₁ eğimi- yapım maliyeti ilişkisi

Şekil 5.16: m₂ eğimi- yapım maliyeti ilişkisi

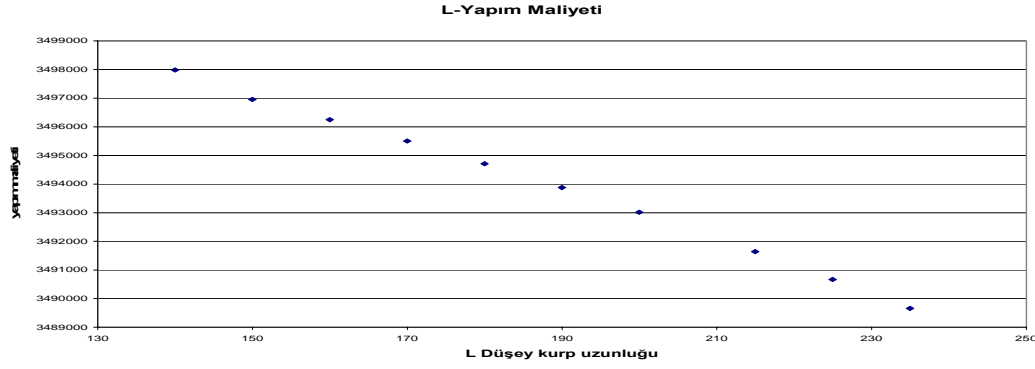
Şekil 5.17: Boykesit

5.4.1.3 L Düşey Kurp Uzunluğunun İncelenmesi

Düşey kurp uzunluğunun (L) yapım maliyetine olan etkisi incelenirken yine birinci sınıf dalgalı arazi modeli için $V=80\text{km/sa}$, $R=500\text{m}$, m_1 eğimi= $-3,549$ ve m_2 eğimi= $+1,846$ alınmıştır. Bu standartlar seçildiğinde boykesitte oluşan açık kurbun uzunluğu minimum 138.00m olmalıdır. Bu uygulama için L kurp uzunluğu artırılmasıyla kümülatif hacmin nasıl etkilendiği aşağıdaki sonuçlardan görülebilir.

Çizelge 5.4: Düşey kurp uzunluğu ve yapım maliyeti değerleri

Açık kurp katsayısı (ka)	L minimum kurp uz. (m)	L kurp uz. (m)	Yapım maliyeti (YTL)
23	138,00	140	3497984.098
27	145,65	150	3496957.484
29	156,43	160	3496250.428
31	167,22	170	3495503.516
33	178,01	180	3494710.285
35	188,80	190	3493878.489
37	199,59	200	3493014.922
39	210,38	215	3491640.985
41	221,17	225	3490669.271
43	231,96	235	3489659.937



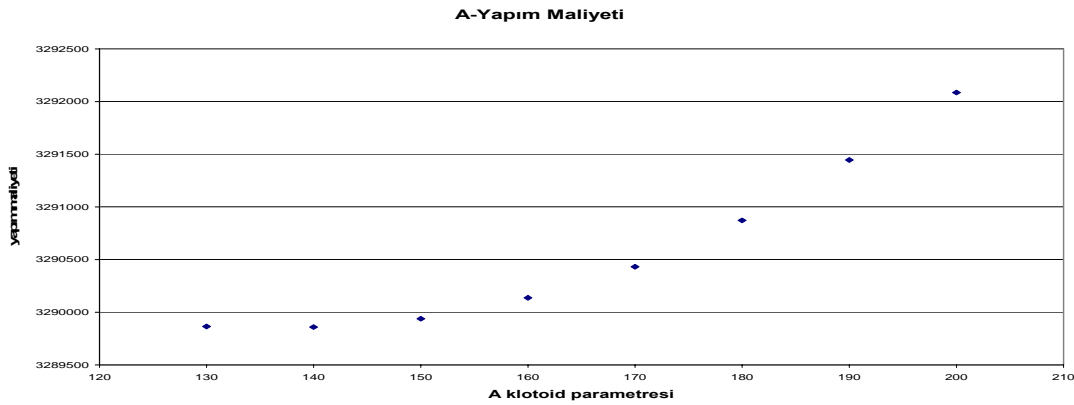
Şekil 5.18: Düşey kurp uzunluğu yapım maliyeti ilişkisi

5.4.1.4 A Klotoid Parametresinin İncelenmesi

Birinci sınıf, dalgalı arazi modeli, $V=80\text{km/sa}$, $R=500\text{m}$ için A parametresi incelenmiştir. A parametresinin arttırılmasıyla yol uzunluğu, kümülatif hacim ve yol yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıdaki tablo ve grafiklerde gösterilmiştir.

Çizelge 5.5: A parametresi, yol uzunluğu ve yapım maliyeti değerleri

A parametresi	Yol uzunluğu	Yapım maliyeti
130	1321,34	3289864.394
140	1321,32	3289859.071
150	1321,30	3289938.402
160	1321,26	3290137.206
170	1321,22	3290431.666
180	1321,18	3290871.225
190	1321,13	3291445.014
200	1321,06	3292085.426



Şekil 5.19: A parametresi-yapım maliyeti ilişkisi

Bu ön çalışmada görülmüştür ki, karayolu proje elemanları içerisinde en etkili olanı yatay kurp yarıçapı ve boyuna eğimdir. Ancak boyuna eğim değeri tek bir parametre olarak ifade edilememektedir. Çünkü oluşturulan düşey eksene bağlı olarak en az iki tane boyuna eğim değeri mevcuttur. Çalışılan diğer bölge daha büyük bir alana sahip olduğu için, daha uzun bir yol geçkisi oluşturulacağından boyuna eğim sayısı da daha fazla olacaktır. Bu sebeple boyuna eğim değerinin yapım maliyetini minimum yapacak şekilde en uygun değerinin belirlenmesi

ve bu parametrenin değişken olarak alınmaması düşünölmüştür. Yapılan uygulamada boyuna eğim değerindeki en küçük bir değişimin kümülatif hacimde büyük artışlara sebep olduğu, bunun da yapım maliyetini arttırdığı görölmüştür. Buradan yola çıkarak, asıl uygulama bölgesinde yapılan çalışmada, yatay kurp yarıçapı, klotoid parametresi ve düşey kurp uzunluğundan oluşın proje elemanları değişken olarak alınmış ve bunların yapım maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir.

5.5 Proje Elemanlarındaki Değişimlerin Yapım Maliyetine Olan Etkilerinin İncelenmesi

Proje elemanlarındaki değişimlerin, karayolu yapım maliyetini nasıl etkilediklerini belirleyebilmek için farklı yol sınıflarında, bu uygulamanın yapılması düşünölmüştür. Bu sebeple uygulamanın, birinci, ikinci ve üçüncü sınıf yollarda yapılmasına karar verilmiştir. Birinci sınıf karayolunda düz arazi yapısı için; 100km/s, ikinci sınıf karayolunda düz arazi yapısı için; 80km/s ve üçüncü sınıf karayolunda düz arazi yapısı için; 60km/s proje hızları alınarak, bu proje hızlarına göre minimum proje elemanları, geometrik standartlar tablosundan belirlenmiştir. Ancak öncelikle proje elemanlarının yapım maliyetine etkilerinin incelenmesi için karayolu geçkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yatay ve düşey kurp sayılarının yapım maliyetine etkilerinin incelendiği çalışmadaki geçki seçenekleri dikkate alınarak, her sınıf yol için en uygun geçki tespit edilmeye çalışılmıştır. Birinci, ikinci ve üçüncü sınıf yollar için en uygun geçki belirlenirken proje standartları ve bunların incelenme aralığı dikkate alınmıştır. Ayrıca, yatay some noktalarının yerleri belirlenirken, güvenlik açısından hiçbir zaman uzun aliymanların tercih edilmemesi sebebiyle, proje hızına bağlı olarak olması gereken maksimum aliyman uzunluklarına da bağlı kalınmıştır (Çizelge 5.2). Birinci sınıf karayolu için 2000.00m, ikinci sınıf karayolu için 1600.00m ve üçüncü sınıf karayolu için 1200m, maksimum aliyman uzunlukları alınarak, birinci sınıf karayolu için; 3 yatay - 3 düşey kurplu, ikinci sınıf karayolu için; 4 yatay - 4 düşey kurplu ve üçüncü sınıf karayolu için 5 yatay – 5 düşey kurplu geçkilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Yatay ve düşey kurp sayısı aynı olan geçki seçeneklerinin seçilmesinin sebebi, bu seçeneklerde yatay ve düşey kurpların someleri birbirleriyle çakıştırıldığı için daha büyük parametrelerin denenmesine imkan vermesidir.

Proje elemanlarındaki değişimlerin, karayolu yapım maliyetine olan etkileri incelenirken, kurp yarıçapı; R, düşey kurp uzunluğu; L, klotoid parametresi; A, platform genişliği; PG, kamulaştırma genişliği; KG, dikkate alınmıştır. Ancak burada bu belirtilen proje elemanları incelenirken bunların yanı sıra diğer proje elemanları da dikkate alınmıştır. Örneğin, düşey kurp uzunluğunun etkisi incelenirken, geçiş görş uzunluğu sağlanmış, minimum ve

maksimum boyuna eğim değerleri arasındaki değerler kullanılmış, platform genişliğinde şerit ve banket genişlikleri enkesitler oluşturulurken dikkate alınmış ve dever değerleri sağlanmıştır. Ancak burada boyuna eğim değerlerinin değişimi incelenmemiştir. Çünkü, boykesitte kullanılan boyuna eğim değerleri için, proje standartlarını sağlayan ve o geçkiler için optimum yapım maliyetini verecek olan değerler belirlenmiştir. Dolayısıyla, bu boyuna eğim değerlerinin artırılması ya da azaltılması yapım maliyetini arttıracaktır.

Geçkilerde, proje standartlarına bağlı olarak yarıçap(R), klotoid parametresi(A) ve minimum açık(Ka) ve kapalı(Kk) düşey kurp katsayılarına bağlı olarak belirlenen düşey kurp uzunluğunun(L) minimum ve maksimum değerleri belirlenip, bu proje elemanlarının minimum değerlerinden başlayarak, maksimum değerlerine kadar arttırılmalarıyla bunların, toplam yarma, toplam dolgu, kümülatif hacim, yol uzunluğu ve bunlara bağlı olarak karayolu yapım maliyetini ne şekilde etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Yol yapım maliyetinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan geçki seçeneklerinde, maksimum eğim, minimum eğim, minimum dever değeri, maksimum dever değeri, platform, şerit ve banket genişlikleri, gibi diğer parametrelerde dikkate alınmıştır. Bu geçkilerde, kullanılan proje hızlarına bağlı olarak proje elemanlarının minimum standart değerleri aşağıda çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: Oluşturulan geçkilerde kullanılan proje standartları

Proje hızı (km/s)	100	80	60
Max. alıyman uzunluğu (m)	2000	1600	1200
Min. kurp yarıçapı (m)	400	250	150
Min. Klotoid parametresi	160	130	100
Maksimum eğim (%)	4	5	6
Minimum eğim (%)	0.5	0.5	0.5
Min. Kapalı düşey kurp katsayısı	107	44	17-15
Min. Açık düşey kurp katsayısı	51	30	16-15
Minimum Dever	%2	%2	%2
Maksimum Dever	%8	%8	%8
Emniyetli duruş uzaklığı (m)	155	110	70
Geçiş görüş uzunluğu (m)	670	550	420
Platform genişliği (m)	12.00	10.00	8.00
Şerit genişliği (m)	3.50	3.50	3.00
Banket genişliği (m)	2.50	1.50	1.00
Kamulaştırma genişliği (m)	60.00	40.00	15.00

Birinci, ikinci ve üçüncü sınıf karayolu geçkilerinde yukarıda çizelge 5.2'de verilen minimum değerlere bağlı olarak karayolu geçkileri oluşturulmuş ve bunların değişimlerinin yapım maliyetini nasıl etkiledikleri incelenmiştir. Bu değerlendirmeler sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

5.5.1 Birinci Sınıf Karayolu Geçkisi İçin Proje Elemanları Değişiminin Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi

Proje hızı 100 km/s olan 3 yatay - 3 düşey kurplu geçki için, minimum yatay kurp yarıçapı 550m, minimum klotoid parametresi değeri; 160, minimum açık ve kapalı düşey kurp uzunluğu; 150m alınmış, diğer proje elemanları için çizelge 5.6'daki değerler kullanılmıştır. Bu minimum değerler kullanılarak oluşturulan karayolu geçkisinin uzunluğu, 6013,33m'dir. Enkesitler oluşturulurken, Karayolu Geometrik Standartlarına bağlı olarak, şerit genişliği; 3.5m, banket genişliği; 2.5m olmak üzere toplam platform genişliği; 12.00m olarak alınmıştır. Enkesit noktalarının arazi kotlarına ve başlangıca olan uzaklıklarına bağlı olarak çizilen boykesit üzerinde, düşey kurpların some noktaları yatay kurplarla çakıştırılarak oluşturulan kırmızı çizginin, boyuna eğim değerleri sırasıyla; $g_1 = -\%0.567$, $g_2 = -\%1.794$, $g_3 = -\%0.573$, $g_4 = -\%1.123$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra kırmızı ve siyah kotlar arasında kalan alanların, toplam yarma, toplam dolgu hacimleri hesaplanıp kütleler diyagramları çizilmiştir. 3 yatay – 3 düşey kurplu geçki için, minimum proje elemanları kullanılarak oluşturulan karayolu geçkisi ve oluşturulan diğer geçkilerle, bu geçkilerin boykesit ve kütleler diyagramları ek-1'de verilmektedir. Bu şekiller, R ve A parametrelerine bağlı olarak oluşturulan karayolu geçkilerini ve bu geçkilerin minimum değerden başlanarak düşey kurp uzunluklarının arttırılmasıyla oluşan yeni boykesit ve kütleler diyagramlarını göstermektedir. Boykesit diyagramlarında; yatay eksen yolun uzunluğunu(m), düşey eksen yükseklik değerlerini(m), kütleler diyagramlarında; yatay eksen yolun uzunluğunu(m), düşey eksen kütleler diyagramı değerini(m³) ifade etmektedir. Ayrıca bu şekillerde, her yol geçkisi için, düşey kurp uzunluğuna bağlı olarak değişen, maksimum yarma yüksekliği(hymax), minimum dolgu yüksekliği(hdmin), kazı dolgu yüksekliklerinin ortalaması(ort) ve bunların standart sapmaları(stds) gösterilmiştir. Yarma ve dolgu yükseklikleri metre birimindedir.

Geçkilere ait yapım maliyetinin belirlenmesi için, maliyet hesapları yapılmıştır. Yapım maliyeti, toprak işleri,sanat yapıları, etüd-plan-proje ve kamulaştırma maliyetlerinde oluşan altyapı maliyeti ile, alttemel, temel, bitümlü temel, binder ve aşınma tabakaları maliyetlerinden oluşan üstyapı maliyetleri toplamı olarak alınmıştır. Bu maliyet değerleri hesaplanırken, KGM tarafından hazırlanmış, 1993, 2002 ve 2004 yıllarına ait ekonomik analiz çizelgeleri kullanılmıştır. Maliyet değerleri, enflasyon oranları ve merkez bankası verileri kullanılarak Ocak 2005 yılı verilerine dönüştürülmüş, YTL (Yeni Türk Lirası) olarak karşılıkları belirlenmiştir.

Maliyet hesaplarında bölüm 4’de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitliklerden platform genişliğine bağlı olanlar için ekonomik analiz çizelgelerinden farklı birim maliyetler elde edilmektedir. Platform genişliğine bağlı olarak bu eşitliklerin ekonomik analiz çizelgelerinden alınan değerleriyle hesapları aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Diğer yapım maliyetini oluşturan değerlerin hesaplanması ise bölüm 4’de belirtildiği gibi yapılmıştır. Buradaki uygulamada arazi yapısı, %50 toprak, %40 küskülük, %10 kayalık olarak alınmıştır.

Platform genişliği=12.00m için;

Toprak işi maliyeti;

$$TİM=(11099.44*toprak+14344.17*küskülük+37372.08*kayalık)*V$$

Alttemel tabakası maliyeti;

$$ATM=529025.40*ATK*YU$$

Temel tabakası maliyeti;

$$TTM=1393911.00*TK*YU$$

Burada alttemel kalınlığı 0.30m, temel kalınlığı 0.20m, bitümlü temel tabakasının kalınlığı 0.10m, binder tabakasının kalınlığı, 0.07m ve aşınma tabakası kalınlığı 0.05m alınmış ve bu değerlere bağlı olarak yapım maliyetleri hesaplanmıştır.

3 yatay 3 düşey kurplu geçki için önce minimum R, A ve L proje elemanları kullanılarak yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu proje elemanlarının maksimum değerleri belirlenmiştir. Minimum ve maksimum değerleri belirlenen R, A ve L proje elemanları için, ara değerler seçilerek, bu şekilde oluşturulan geçkilerin yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Birinci sınıf karayolu geçkisi için R yatay kurp yarıçap değerleri sırasıyla; 550m, 900m, 1200m ve 1600m, A klotoid parametresi değerleri sırasıyla; 160, 200, 300 ve 400, L düşey kurp uzunluğu değerleri sırasıyla; 150m, 500m, 1000m ve 1200m alınarak yatay kurp yarıçapı, klotoid parametresi ve düşey kurp uzunluğundan oluşan proje elemanlarının her biri için 4 farklı değer belirlenmiş ve bu 4 değer kombinasyonu şeklinde alternatif seçenekler oluşturularak maliyetleri hesaplanmıştır. Burada minimum proje elemanları kullanıldığı zaman, maksimum proje elemanlarına göre karayolunun uzunluğu, %2.92, toplam yapım maliyeti de; %4.49 oranında artmaktadır.

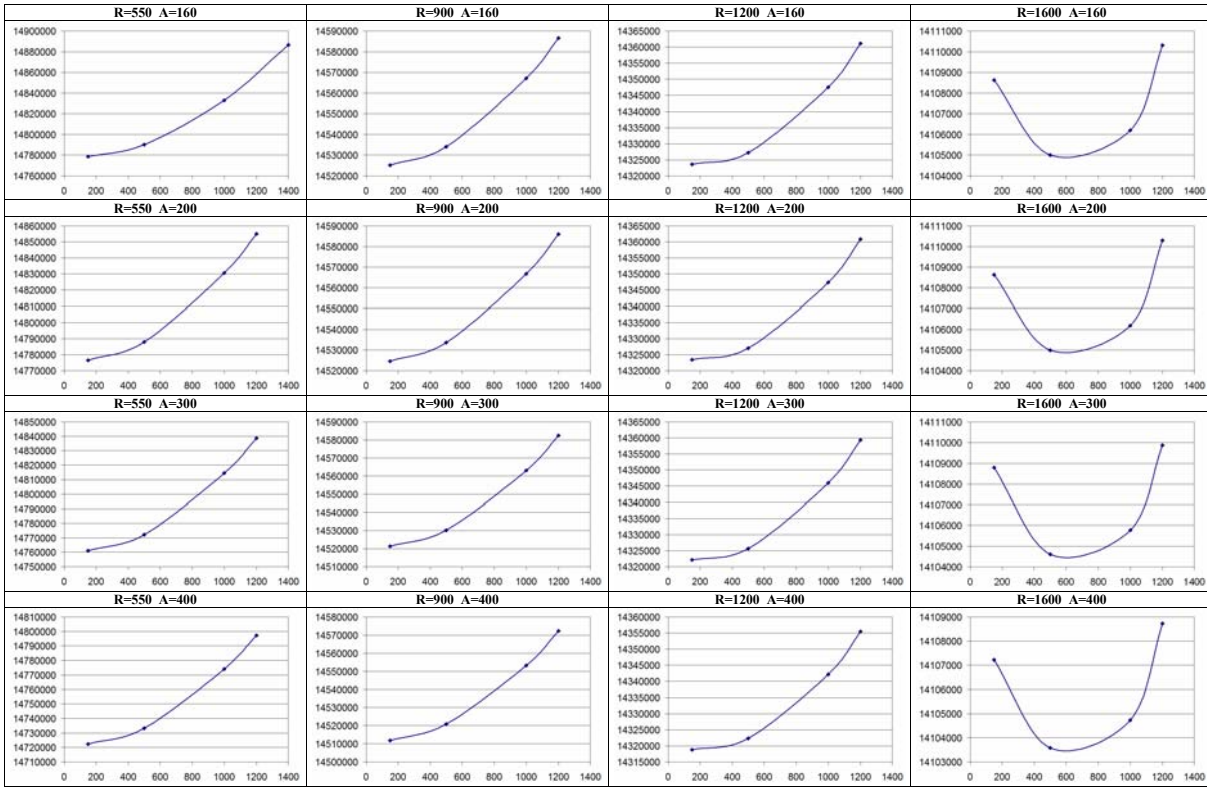
Yatay kurp yarıçapının, klotoid parametresinin, düşey kurp uzunluğunun yapım maliyetine olan etkilerini belirlemek için, yatay kurp yarıçapı R ve klotoid parametresi A sabit alınarak L düşey kurp uzunluğunun etkisi, yatay kurp yarıçapı R ve düşey kurp uzunluğu L sabit alınarak

A klotoid parametresinin etkisi, klotoid parametresi A ve düşey kurp uzunluğu L sabit alınarak, R yatay kurp yarıçapının etkisi incelenmiştir. Bu şekilde 3 yatay 3 düşey kurplu geçki için toplam 64 tane farklı geçki seçeneği oluşturulmuş ve bunların yapım maliyetleri hesaplanmıştır. (ek-1)

Bu 64 geçki seçeneği incelendiğinde en düşük maliyeti, R=1600m, A=400 ve L=500m, en yüksek maliyeti, R=550, A=160, L=1400m olan geçki seçenekleri vermektedir. Her bir proje elemanının yapım maliyeti üzerindeki etkilerini sırasıyla inceleyelim.

5.5.1.1 L Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

L proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinde yapım maliyetine etkisini belirlemek amacıyla kurp yarıçapı R ve klotoid parametresi A değeri sabit tutularak, oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı L değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.20: Birinci sınıf karayolu geçkisinde R ve A parametreleri sabit alındığı zaman, L parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen metre cinsinden L değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.20’de görüldüğü gibi, 550, 900 ve 1200 yarıçaplarındaki L düşey kurp uzunluklarının yapım maliyeti üzerinde sürekli arttırıcı bir etkisi vardır. Ancak R=1600m yatay kurp yarıçapı için azaltıcı etkiside mevcuttur. L düşey kurp uzunluğunun, 550, 900, 1200, 1600 kurp yarıçapları ve 160, 200, 300, 400 klotoid parametreleri sabit olarak alındığı zaman, toplam altyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetini nasıl etkilediği aşağıda çizelge 5.7’de verilmiştir. L düşey kurp uzunluğunun üstyapı maliyeti üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Çünkü, L düşey kurp uzunluğu yapım maliyeti hesabında, karayolu uzunluğunu etkilemediği için, üstyapı maliyetinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Çizelge 5.7: R ve A proje elemanları sabit olarak alındığında L’nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM ve TYM’ne etkisi

R (m)	A	L (m)	TAM (%)	TYM (%)
550	160	150-1400	0.81 artış	0.71 artış
900	160	150-1200	0.47 artış	0.41 artış
1200	160	150-1200	0.29 artış	0.25 artış
1600	160	150-1200	0.01 artış	0.01 artış
550	200	150-1200	0.59 artış	0.52 artış
900	200	150-1200	0.47 artış	0.41 artış
1200	200	150-1200	0.29 artış	0.25 artış
1600	200	150-1200	0.01 artış	0.01 artış
550	300	150-1200	0.59 artış	0.51 artış
900	300	150-1200	0.47 artış	0.41 artış
1200	300	150-1200	0.29 artış	0.25 artış
1600	300	150-1200	0.01 artış	0.01 artış
550	400	150-1200	0.57 artış	0.49 artış
900	400	150-1200	0.47 artış	0.40 artış
1200	400	150-1200	0.29 artış	0.25 artış
1600	400	150-1200	0.01 artış	0.01 artış

Çizelge 5.7’de görüldüğü gibi R=550m ve A=160 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1400m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde; % 0.71 oranında, toplam altyapı maliyetinde; %0.81 oranında artışa neden olmuştur. Burada maksimum L uzunluğunun 1400m olmasının sebebi, sadece R=550m ve A=160 değerindeki proje elemanları bu değeri sağladığı içindir. R=900m ve A=160 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1200m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde; % 0.41, toplam altyapı maliyetinde; %0.47 oranında, R=1200m ve A=160 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1200m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde % 0.25, toplam altyapı maliyetinde; %0.29 oranında artışa sebep olmuştur. Çizelge 5.7’deki değerleri bu şekilde yorumlamak mümkündür.

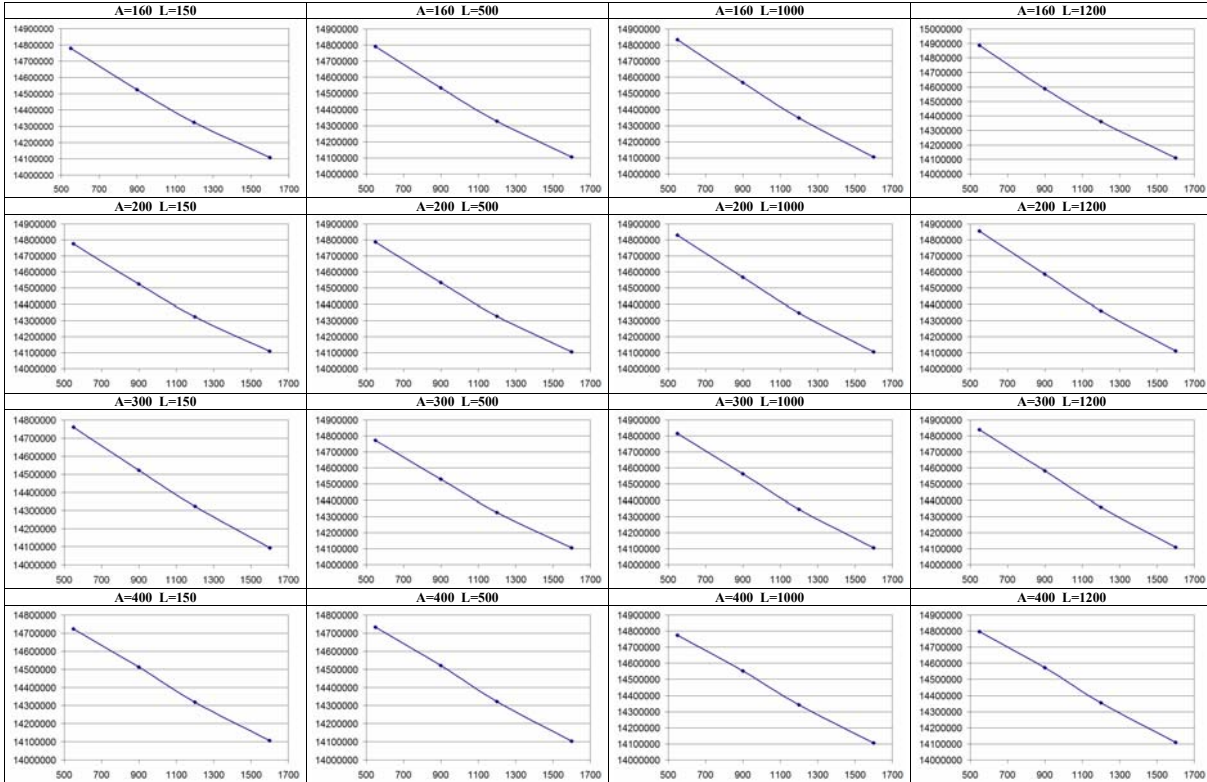
R=1600m ve A=160 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1200m arasında değişmesi yapım maliyetinde % 0.01 oranında artış sağlamıştır, ancak; L uzunluğunun 500m ve 1000 m olması durumunda böyle bir artış değil, %0.02 oranında bir azalma söz konusudur.

Aynı şekilde, $R=1600\text{m}$ ve $A=200$ için; L değerinin 500m ve 1000m olması, yapım maliyetinde; $\%0.02$ oranında azalma, $R=1600\text{m}$, $A=300$ ve $A=400$ için; L değerinin 500m olması; $\%0.03$, ve 1000m olması; $\%0.02$ oranında yapım maliyetinde azalmaya sebep olmuştur.

R yarıçapının 1600m olması durumunda düşey kurp uzunluğunun büyüklüğüne bağlı olarak yapım maliyeti üzerinde arttırıcı ya da azaltıcı etkisi olabilmektedir.

5.5.1.2 R Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

R proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla klotoid parametresi A ve düşey kurp uzunluğu L değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı R değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.21: Birinci sınıf karayolu geçkisinde A ve L parametreleri sabit alındığında, R parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen metre cinsinden R değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.21'de görüldüğü gibi, R yatay kurp yarıçapının, toplam yapım maliyeti üzerinde azaltıcı bir etkisi vardır. A ve L parametrelerinin sabit, R yatay kurp yarıçapının 550m , 900m ,

1200m ve 1600m alınması durumunda, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıda çizelge 5.8'de verilmiştir. Ayrıca, R yatay kurp yarıçapı karayolunun uzunluğunu etkilediği için, kurp yarıçapının artmasıyla yol uzunluğunda ne oranda bir değişme olduğu da çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 5.8:A ve L proje elemanları sabit olarak alındığında R'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÜR, TYM ve YU'na etkisi

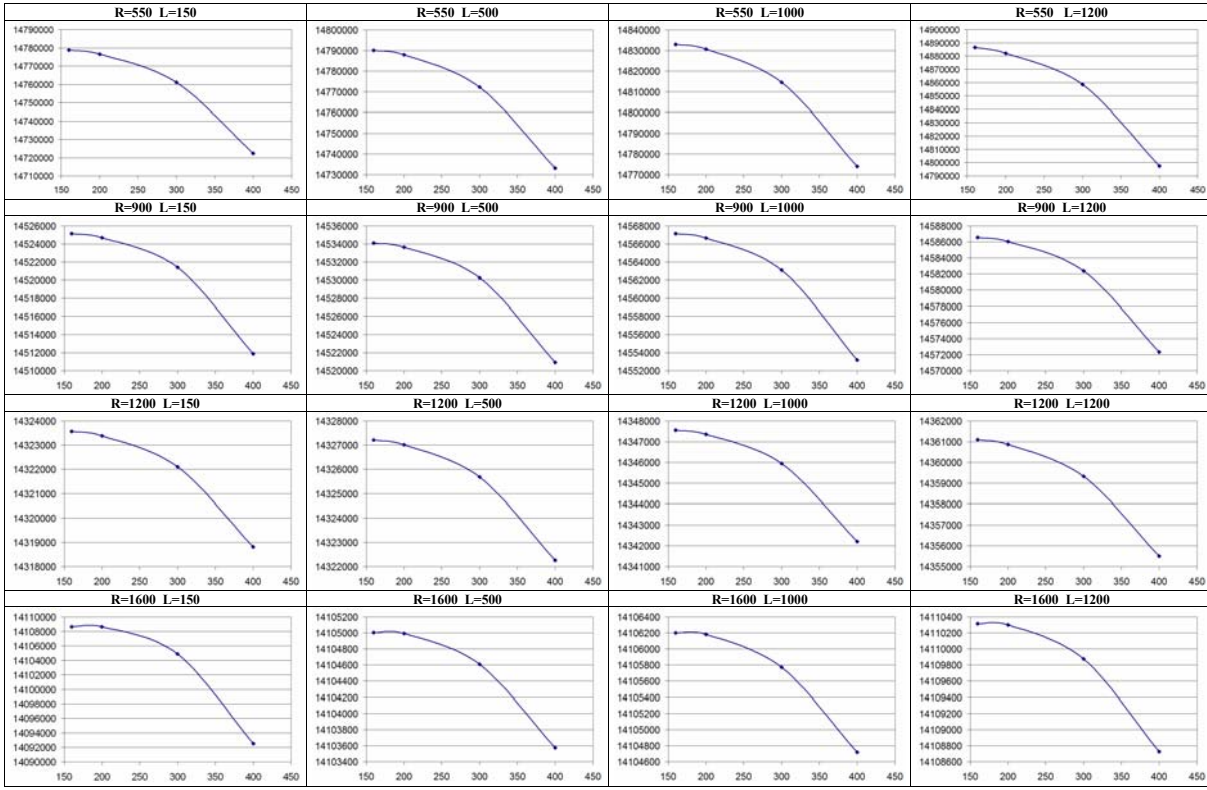
A	L (m)	R (m)	TAM (%)	TÜR (%)	TYM (%)	YU (%)
160	150	550-1600	4.73 azalma	2.90 azalma	4.49 azalma	2.90 azalma
160	500	550-1600	4.83 azalma	2.90 azalma	4.58 azalma	2.90 azalma
160	1000	550-1600	5.13 azalma	2.90 azalma	4.84 azalma	2.90 azalma
160	1400-1200	550-1600	5.48 azalma	2.90 azalma	5.15 azalma	2.90 azalma
200	150	550-1600	4.71 azalma	2.90 azalma	4.47 azalma	2.90 azalma
200	500	550-1600	4.82 azalma	2.90 azalma	4.57 azalma	2.90 azalma
200	1000	550-1600	5.12 azalma	2.90 azalma	4.83 azalma	2.90 azalma
200	1200	550-1600	5.26 azalma	2.90 azalma	4.95 azalma	2.90 azalma
300	150	550-1600	4.61 azalma	2.83 azalma	4.38 azalma	2.83 azalma
300	500	550-1600	4.72 azalma	2.83 azalma	4.47 azalma	2.83 azalma
300	1000	550-1600	5.01 azalma	2.83 azalma	4.73 azalma	2.83 azalma
300	1200	550-1600	5.15 azalma	2.83 azalma	4.85 azalma	2.83 azalma
400	150	550-1600	4.35 azalma	2.68 azalma	4.14 azalma	2.68 azalma
400	500	550-1600	4.46 azalma	2.68 azalma	4.23 azalma	2.68 azalma
400	1000	550-1600	4.75 azalma	2.68 azalma	4.48 azalma	2.68 azalma
400	1200	550-1600	4.88 azalma	2.68 azalma	4.60 azalma	2.68 azalma

Çizelge 5.8 ve şekil 5.21'de görüldüğü gibi R yarıçapının minimum değeri olan 550m'den, maksimum değeri olan 1600m'ye yükseltilmesiyle TAM, TÜR, TYM ve YU değerlerinde belirgin oranlarda azalma olmaktadır. Ayrıca, toplam altyapı ve toplam yapım maliyetindeki azalma miktarlarının oranları, düşey kurp uzunluğunun artmasıyla doğru orantılı olarak değişmektedir.

Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi R yarıçapının artması, TÜR ile YU'nun azalması aynı oranda değişmektedir. Bu da TÜR'nin YU'na bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır.

5.5.1.3 A Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

A proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla yatay kurp yarıçapı R ve düşey kurp uzunluğu L değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı A değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.22: Birinci sınıf karayolu geçkisinde R ve L parametreleri sabit alındığında, A parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen A değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.22’de görüldüğü gibi, A klotoid parametresinin artmasının, toplam yapım maliyetini azaltıcı yönde bir etkisi vardır. R ve L parametrelerinin sabit, A klotoid parametresinin, 160, 200, 300 ve 400 olarak alınması durumunda, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıda çizelge 5.9’de verilmiştir. Ayrıca, A klotoid parametresi, karayolunun uzunluğunu etkilediği için, klotoid parametresinin artmasıyla yol uzunluğunda ne oranda bir değişme olduğu da hesaplanarak çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 5.9: R ve L proje elemanları sabit olarak alındığında A’nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÛM, TYM ve YU’na etkisi

R (m)	L (m)	A	TAM (%)	TÛM (%)	TYM (%)	YU (%)
550	150	160-400	0.40 azalma	0.24 azalma	0.38 azalma	0.24 azalma
550	500	160-400	0.40 azalma	0.24 azalma	0.38 azalma	0.24 azalma
550	1000	160-400	0.42 azalma	0.24 azalma	0.39 azalma	0.24 azalma
550	1200	160-400	0.64 azalma	0.24 azalma	0.59 azalma	0.24 azalma
900	150	160-400	0.09 azalma	0.06 azalma	0.09 azalma	0.06 azalma
900	500	160-400	0.09 azalma	0.06 azalma	0.09 azalma	0.06 azalma
900	1000	160-400	0.10 azalma	0.06 azalma	0.09 azalma	0.06 azalma
900	1200	160-400	0.10 azalma	0.06 azalma	0.09 azalma	0.06 azalma
1200	150	160-400	0.03 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma
1200	500	160-400	0.04 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma
1200	1000	160-400	0.04 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma
1200	1200	160-400	0.04 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma	0.03 azalma
1600	150	160-400	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma
1600	500	160-400	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma
1600	1000	160-400	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma
1600	1200	160-400	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma

Çizelge 5.9 ve şekil 5.22’de görüldüğü gibi A klotoit parametresinin minimum değeri olan 160’dan, maksimum değeri olan 400’e yükseltilmesiyle TAM, TÛM, TYM ve YU değerlerinde azalma olmaktadır. Burada dikkat çeken bir diğer nokta, hem yol uzunluğunun hem de maliyet değerlerinin A klotoit parametresinden etkilenme oranlarının, R yarıçap uzunluğunun artmasıyla azalmasıdır.

5.5.2 İkinci Sınıf Karayolu Geçkisinde Proje Elemanları Değişiminin Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi

Proje hızı 80 km/s olan 4 yatay- 4 düşey kurplu geçki için, minimum yatay kurp yarıçapı 350m, minimum klotoit parametresi değeri; 130, minimum açık ve kapalı düşey kurp uzunluğu; 150m alınmış, diğer proje elemanları için çizelge 5.2’deki değerler kullanılmıştır. Bu minimum değerler kullanılarak oluşturulan karayolu geçkisinin uzunluğu, 6318.49m’dir. Enkesitler oluşturulurken, Karayolu Geometrik Standartlarına bağlı olarak, şerit genişliği; 3.5m, banket genişliği; 1.5m olmak üzere toplam platform genişliği; 10.00m olarak alınmıştır. Enkesit noktalarının arazi kotlarına ve başlangıca olan uzaklıklarına bağlı olarak çizilen boykesit üzerinde, düşey kurpların some noktaları yatay kurplarla çakıştırılarak oluşturulan kırmızı çizginin, boyuna eğim değerleri sırasıyla; $g_1 = -\%0.594$, $g_2 = -\%1.194$, $g_3 = -\%0.549$, $g_4 = -\%1.465$ ve $g_5 = -\%0.913$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra kırmızı ve siyah kotlar arasında kalan alanların, toplam yarma, toplam dolgu hacimleri hesaplanıp kütleler diyagramları çizilmiştir. 4 yatay 4 düşey kurplu geçki için, minimum proje elemanları kullanılarak oluşturulan karayolu geçkisi ve oluşturulan diğer geçkilerle, bu geçkilerin boykesit ve kütleler diyagramları ek-2’de verilmektedir. Bu şekiller, R ve A parametrelerine bağlı olarak oluşturulan karayolu geçkilerini ve bu geçkilerin minimum değerden başlanarak düşey kurp uzunluklarının arttırılmasıyla oluşan yeni boykesit ve kütleler diyagramlarını göstermektedir. Ayrıca bu şekillerde, her yol geçkisi için, düşey kurp uzunluğuna bağlı olarak değişen, maksimum yarma yüksekliği(hymax), minimum dolgu yüksekliği(hdmin), kazı dolgu yüksekliklerinin ortalaması(ort) ve bunların standart sapmaları(stds) gösterilmiştir. Yarma ve dolgu yükseklikleri metre birimindedir.

Bu geçkilere ait yapım maliyetinin belirlenmesi için, maliyet hesapları yapılmıştır. Yapım maliyeti, toprak işleri,sanat yapıları, etüd-plan-proje ve kamulaştırma maliyetlerinde oluşan altyapı maliyeti ile, alttemel, temel, binder ve aşınma tabakaları maliyetlerinden oluşan üstyapı maliyetleri toplamı olarak alınmıştır. Bu maliyet değerleri hesaplanırken, KGM tarafından hazırlanmış, 1993, 2002 ve 2004 yıllarına ait ekonomik analiz çizelgeleri kullanılmıştır. Maliyet değerleri, enflasyon oranları ve merkez bankası verileri kullanılarak

Ocak 2005 yılı verilerine dönüştürülmüş, YTL (Yeni Türk Lirası) olarak karşılıkları belirlenmiştir. Maliyet hesaplarında bölüm 4'de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitliklerden platform genişliğine bağlı olanlar için ekonomik analiz çizelgelerinden farklı birim fiyatlar elde edilmektedir. Platform genişliğine bağlı olarak bu eşitliklerin ekonomik analiz çizelgelerinden alınan değerleriyle hesapları aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Diğer yapım maliyetini oluşturan değerlerin hesaplanması ise bölüm 4'de belirtildiği gibi yapılmıştır. Buradaki uygulamada arazi yapısı, %50 toprak, %40 küskülük, %10 kayalık alınmıştır.

Platform genişliği=10.00m için;

Toprak işi maliyeti;

$$TİM=(11140.85*toprak+14406.28*küskülük+37454.89*kayalık)*V$$

Alttemel tabakası maliyeti;

$$ATM=440854.50*ATK*YU$$

Temel tabakası maliyeti;

$$TTM=1161592.00*TK*YU$$

Burada alttemel kalınlığı 0.30m, temel kalınlığı 0.15m, binder tabakasının kalınlığı, 0.08m ve aşınma tabakası kalınlığı 0.05m alınmış ve toplam üst yapı kalınlığı 0.58m alınarak yapım maliyetleri hesaplanmıştır.

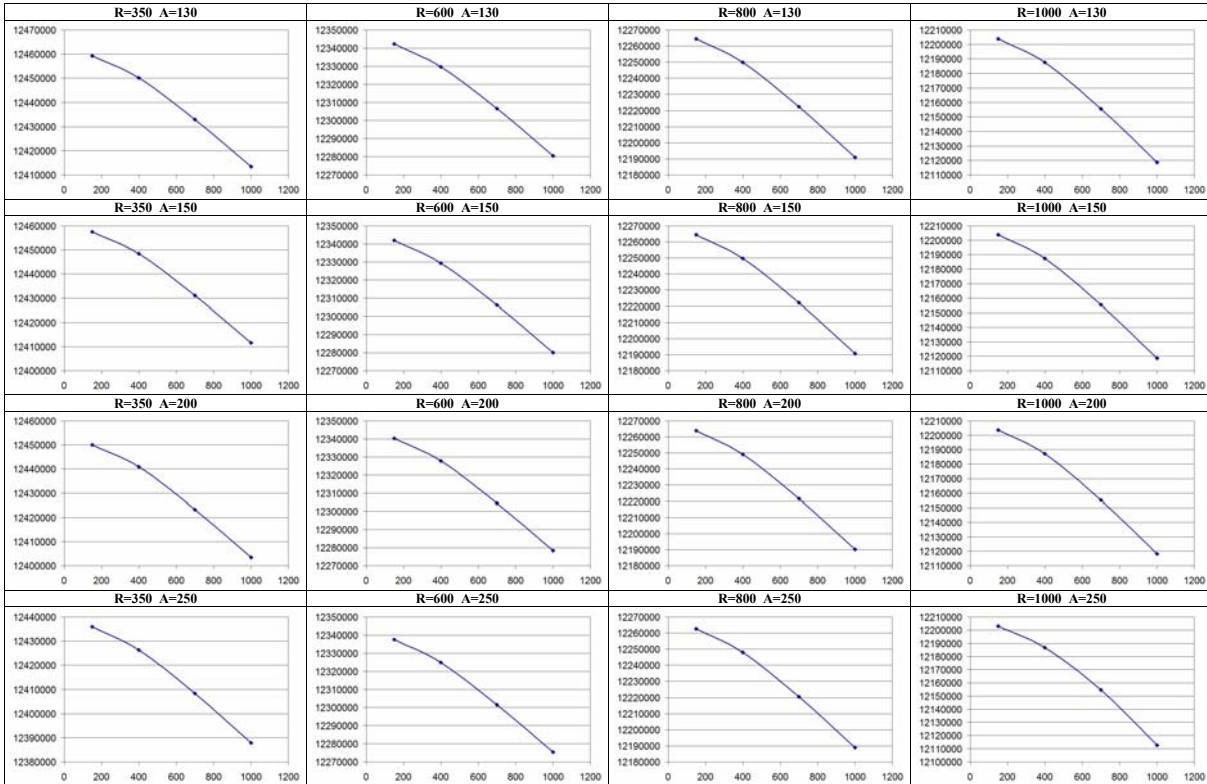
4 yatay 4 düşey kurplu geçki için önce minimum R, A ve L proje elemanları kullanılarak yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu proje elemanlarının maksimum değerleri belirlenmiştir. Minimum ve maksimum değerleri belirlenen R, A ve L proje elemanları için, ara değerler seçilerek, bu şekilde oluşturulan geçkilerin yapım maliyetleri hesaplanmıştır. İkinci sınıf karayolu geçkisi için R yatay kurp yarıçap değerleri sırasıyla; 350m, 600m, 800m ve 1000m, A klotoid parametresi değerleri sırasıyla; 130, 150, 200 ve 250, L düşey kurp uzunluğu değerleri sırasıyla; 150m, 400m, 700m ve 1000m olarak alınarak yatay kurp yarıçapı, klotoid parametresi ve düşey kurp uzunluğundan oluşan proje elemanlarının her biri için 4 farklı değer belirlenmiş ve bu 4 değer kombinasyonu şeklinde alternatif seçenekler oluşturularak maliyetleri hesaplanmıştır.

Yatay kurp yarıçapının, klotoid parametresinin, düşey kurp uzunluğunun yapım maliyetine olan etkilerini belirlemek için, yatay kurp yarıçapı R ve klotoid parametresi A sabit alınarak L düşey kurp uzunluğunun etkisi, yatay kurp yarıçapı R ve düşey kurp uzunluğu L sabit alınarak

A klotoid parametresinin etkisi, klotoid parametresi A ve düşey kurp uzunluğu L sabit alınarak, R yatay kurp yarıçapının etkisi incelenmiştir. Bu şekilde 4 yatay 4 düşey kurplu geçki için toplam 64 tane farklı geçki seçeneği oluşturulmuş ve bunların yapım maliyetleri hesaplanmıştır (ek-2). Bu 64 geçki seçeneği incelendiğinde en düşük maliyeti, maksimum proje elemanlarının kullanıldığı $R=1000m$, $A=250$ ve $L=1000m$ ve en yüksek maliyeti en düşük proje elemanlarının kullanıldığı, $R=350$, $A=130$, $L=150m$ olan geçki seçenekleri vermektedir. Minimum proje elemanları kullanıldığı zaman, maksimum proje elemanlarına göre, karayolunun uzunluğu, %3.04, toplam yapım maliyeti de; %2.80 artmaktadır. Her bir proje elemanının yapım maliyeti üzerindeki etkilerini sırasıyla inceleyelim.

5.5.2.1 L Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

L proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla kurp yarıçapı R ve klotoid parametresi A değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı L değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.23: İkinci sınıf karayolu geçkisinde R ve A parametreleri sabit alındığı zaman, L parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen metre cinsinden L değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.23’de görüldüğü gibi, bütün yarıçap ve klotoid parametrelerinde, L düşey kurp uzunluklarının yapım maliyeti üzerinde, 3 yatay kurplu birinci sınıf karayolu geçkisinin aksine, sürekli azaltma yönünde bir etkisi vardır. L düşey kurp uzunluğunun, 350, 600, 800, 1000 kurp yarıçapları ve 130, 150, 200, 250 klotoid parametreleri sabit olarak alındığı zaman, toplam altyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetini nasıl etkilediği aşağıda çizelge 5.10’da verilmiştir. L düşey kurp uzunluğunun üstyapı maliyeti üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Çünkü, L düşey kurp uzunluğu yapım maliyeti hesabında, karayolu uzunluğunu etkilemediği için, üstyapı maliyetinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır.

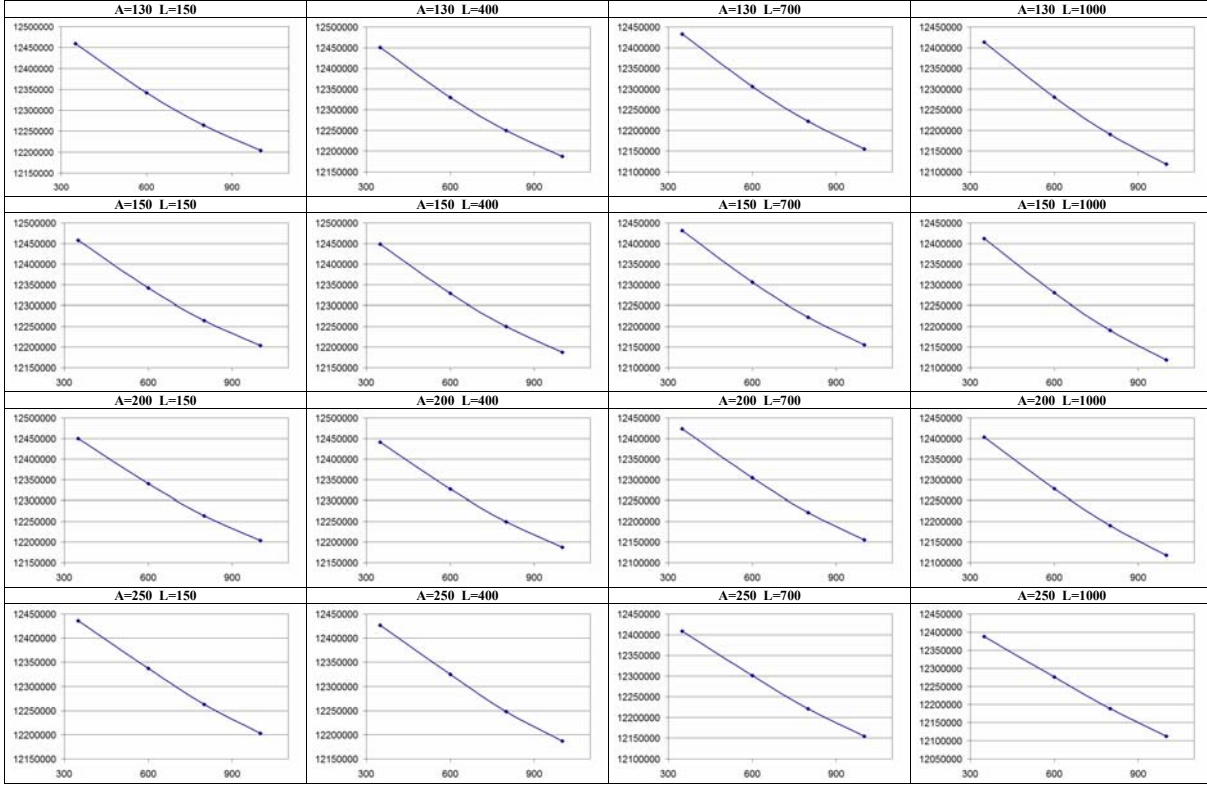
Çizelge 5.10: R ve A proje elemanları sabit olarak alındığında L’nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM ve TYM’ne etkisi

R (m)	A	L (m)	TAM (%)	TYM (%)
350	130	150-1000	0.41 azalma	0.34 azalma
600	130	150-1000	0.56 azalma	0.46 azalma
800	130	150-1000	0.67 azalma	0.55 azalma
1000	120	150-1000	0.78 azalma	0.64 azalma
350	150	150-1000	0.41 azalma	0.34 azalma
600	150	150-1000	0.56 azalma	0.46 azalma
800	150	150-1000	0.67 azalma	0.55 azalma
1000	150	150-1000	0.78 azalma	0.64 azalma
350	200	150-1000	0.42 azalma	0.34 azalma
600	200	150-1000	0.56 azalma	0.46 azalma
800	200	150-1000	0.67 azalma	0.55 azalma
1000	200	150-1000	0.78 azalma	0.64 azalma
350	250	150-1000	0.43 azalma	0.36 azalma
600	250	150-1000	0.56 azalma	0.46 azalma
800	250	150-1000	0.67 azalma	0.56 azalma
1000	250	150-1000	0.82 azalma	0.68 azalma

Çizelge 5.10’da görüldüğü gibi R=350m ve A=130 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1000m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde; % 0.34 oranında, toplam altyapı maliyetinde; %0.41 oranında azalmaya neden olmuştur. R=600m ve A=130 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1000m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde; % 0.46, toplam altyapı maliyetinde; %0.56 oranında, R=800m ve A=130 için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 1000m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde % 0.55, toplam altyapı maliyetinde; %0.67 oranında azalmaya sebep olmuştur. Çizelgedeki değerleri bu şekilde yorumlamak mümkündür. Burada da görüldüğü gibi 4 yatay 4 düşey kurplu ikinci sınıf bir karayolu geçkisinde L düşey kurp uzunluğunun, minimum 150m’den maksimum 1000m’ye yükseltilmesi yapım maliyetinde azalmaya sebep olmaktadır.

5.5.2.2 R Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

R proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla klotoid parametresi A ve düşey kurp uzunluğu L değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı R değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.24: İkinci sınıf karayolu geçkisinde A ve L parametreleri sabit alındığında, R parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen metre cinsinden R değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.24'da görüldüğü gibi, R yatay kurp yarıçapının, toplam yapım maliyeti üzerinde azaltıcı bir etkisi vardır. A ve L parametrelerinin sabit, R yatay kurp yarıçapının 350m, 600m, 800m ve 1000m olarak alınması durumunda, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıda çizelge 5.11'de verilmiştir. Ayrıca, R yatay kurp yarıçapı, karayolunun uzunluğunu etkilediği için, kurp yarıçapının artmasıyla yol uzunluğunda ne oranda bir değişme olduğu da çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 5.11: A ve L proje elemanları sabit olarak alındığında R'nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÛM, TYM ve YU'na etkisi

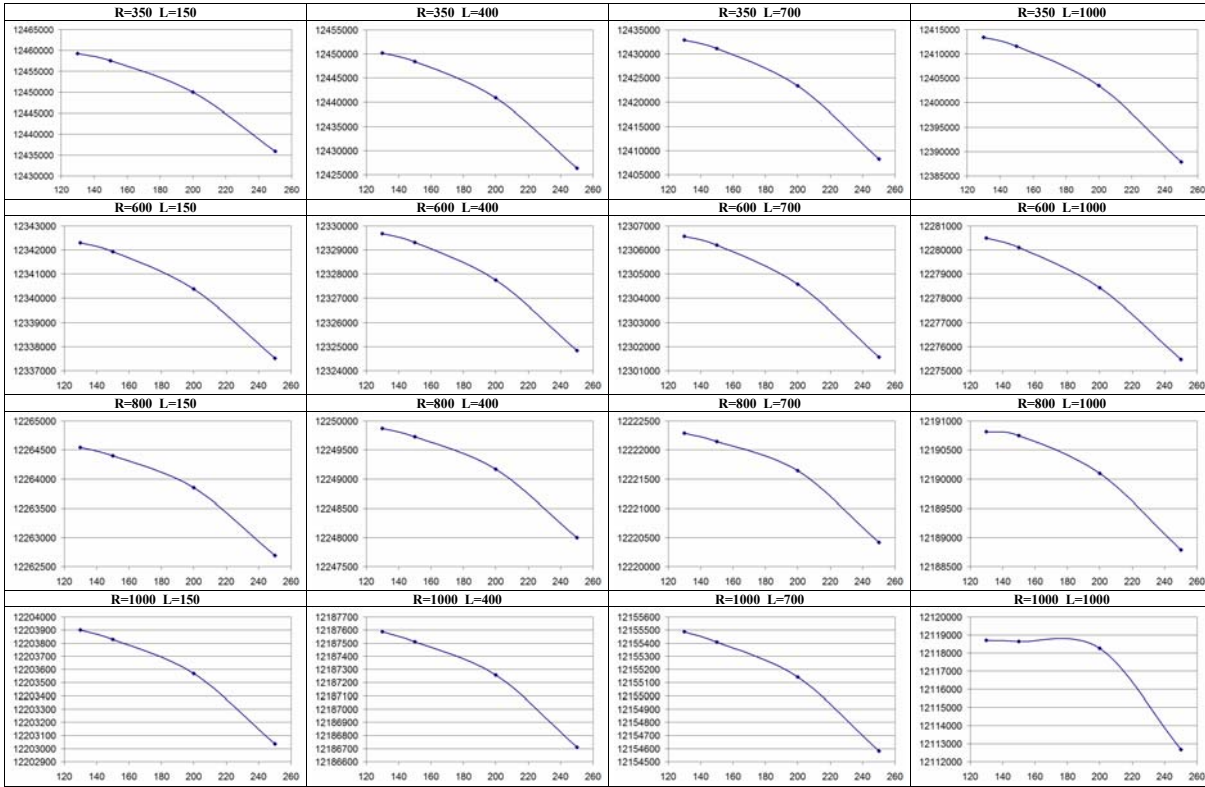
A	L (m)	R (m)	TAM (%)	TÛM (%)	TYM (%)	YU (%)
130	150	350-1000	1.94 azalma	3.03 azalma	2.13 azalma	3.03 azalma
130	400	350-1000	2.00 azalma	3.03 azalma	2.18 azalma	3.03 azalma
130	700	350-1000	2.14 azalma	3.03 azalma	2.29 azalma	3.03 azalma
130	1000	350-1000	2.30 azalma	3.03 azalma	2.43 azalma	3.03 azalma
150	150	350-1000	1.92 azalma	3.01 azalma	2.11 azalma	3.01 azalma
150	400	350-1000	1.99 azalma	3.01 azalma	2.17 azalma	3.01 azalma
150	700	350-1000	2.13 azalma	3.01 azalma	2.28 azalma	3.01 azalma
150	1000	350-1000	2.28 azalma	3.01 azalma	2.41 azalma	3.01 azalma
200	150	350-1000	1.87 azalma	2.96 azalma	2.06 azalma	2.96 azalma
200	400	350-1000	1.93 azalma	2.96 azalma	2.11 azalma	2.96 azalma
200	700	350-1000	2.07 azalma	2.96 azalma	2.22 azalma	2.96 azalma
200	1000	350-1000	2.22 azalma	2.96 azalma	2.35 azalma	2.96 azalma
250	150	350-1000	1.76 azalma	2.85 azalma	1.95 azalma	2.85 azalma
250	400	350-1000	1.82 azalma	2.85 azalma	2.00 azalma	2.85 azalma
250	700	350-1000	1.95 azalma	2.85 azalma	2.11 azalma	2.85 azalma
250	1000	350-1000	2.15 azalma	2.85 azalma	2.27 azalma	2.85 azalma

Çizelge 5.11 ve şekil 5.24'da görüldüğü gibi R yarıçapının minimum değeri olan 350m'den, maksimum değeri olan 1000m'ye yükseltilmesiyle TAM, TÛM, TYM ve YU değerlerinde düzenli bir şekilde azalma olmaktadır. Ancak buradaki azalma miktarı, birinci sınıf 3 yatay kurplu geçkiden daha düşüktür. Çünkü, hem yarıçapların artış aralığı hem de maksimum kurp yarıçapı daha düşüktür. Burada, proje standartlarının sağlanması zorunluluğu, some sayısının artmasıyla uygulanacak kurp yarıçapı, klotoid parametresi ve düşey kurp uzunluğunun maksimum değerlerini düşürmüştür.

Çizelge 5.11'de görüldüğü gibi R yarıçapının artması, TÛM ile YU'nun azalması aynı oranda değişmektedir. Bu da TÛM 'nin YU'na bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır.

5.5.2.3 A Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

A proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla yatay kurp yarıçapı R ve düşey kurp uzunluğu L değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı A değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.25: İkinci sınıf karayolu geçkisinde R ve L parametreleri sabit alındığında, A parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen A değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.25’de görüldüğü gibi, A klotoid parametresinin artmasının, toplam yapım maliyetini azaltıcı yönde bir etkisi vardır. R ve L parametrelerinin sabit, A klotoid parametresinin, 130, 150, 200 ve 250 olarak alınması durumunda, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıda çizelge 5.12’de verilmiştir. Ayrıca, A klotoid parametresi, karayolunun uzunluğunu etkilediği için, klotoid parametresinin artmasıyla yol uzunluğunda ne oranda bir değişme olduğu da hesaplanarak çizelge 5.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.12: R ve L proje elemanları sabit olarak alındığında A’nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÖM, TYM ve YU’na etkisi

R (m)	L (m)	A	TAM (%)	TÖM (%)	TYM (%)	YU (%)
350	150	130-250	0.19 azalma	0.19 azalma	0.19 azalma	0.19 azalma
350	400	130-250	0.19 azalma	0.19 azalma	0.19 azalma	0.19 azalma
350	700	130-250	0.20 azalma	0.19 azalma	0.20 azalma	0.19 azalma
350	1000	130-250	0.21 azalma	0.19 azalma	0.21 azalma	0.19 azalma
600	150	130-250	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma
600	400	130-250	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma
600	700	130-250	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma
600	1000	130-250	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma	0.04 azalma
800	150	130-250	0.01 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma
800	400	130-250	0.01 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma
800	700	130-250	0.02 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma
800	1000	130-250	0.02 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma	0.02 azalma
1000	150	130-250	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma
1000	400	130-250	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma
1000	700	130-250	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma	0.01 azalma
1000	1000	130-250	0.05 azalma	0.01 azalma	0.05 azalma	0.01 azalma

Çizelge 5.12 ve şekil 5.26'de görüldüğü gibi A klotoit parametresinin minimum değeri olan 130'dan, maksimum değeri olan 250'ye yükseltilmesiyle TAM, TÛM, TYM ve YU değerlerinde azalma olmaktadır. Burada dikkat çeken bir nokta, hem yol uzunluğunun hem de maliyet değerlerinin A klotoit parametresinden etkilenme oranlarının, R yarıçap uzunluğunun artmasıyla azalmasıdır. R=1000m ve L=1000 m için A klotoit parametresinin, 130'da 250'ye yükseltilmesiyle, yarıçapın maksimum olmasına rağmen A parametresinin etkisi artmaktadır. Bunun sebebi bu geçki seçeneğinin minimum yapım maliyetini vermesinden kaynaklanmaktadır.

5.5.3 Üçüncü Sınıf Karayolu Geçkisinde Proje Elemanları Değişiminin Yapım Maliyetine Etkilerinin İncelenmesi

Proje hızı 60 km/s olan 5 yatay kurplu geçki için, minimum yatay kurp yarıçapı 200m, minimum klotoit parametresi değeri; 100, minimum açık ve kapalı düşey kurp uzunluğu; 150m alınmış, diğer proje elemanları için çizelge 5.2'deki değerler kullanılmıştır. Bu minimum değerler kullanılarak oluşturulan karayolu geçkisinin uzunluğu, 7019,53m'dir. Enkesitler oluşturulurken, Karayolu Geometrik Standartlarına bağlı olarak, şerit genişliği; 3.00m, banket genişliği; 1.00m olmak üzere toplam platform genişliği; 8.00m olarak alınmıştır. Enkesit noktalarının arazi kotlarına ve başlangıca olan uzaklıklarına bağlı olarak çizilen boykesit üzerinde, düşey kurpların some noktaları yatay kurplarla çakıştırılarak oluşturulan kırmızı çizginin, boyuna eğim değerleri sırasıyla; $g_1 = -\%0.545$, $g_2 = -\%1.287$, $g_3 = -\%0.619$, $g_4 = -\%1.340$, $g_5 = -\%0.512$ ve $g_6 = -1.105$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra kırmızı ve siyah kotlar arasında kalan alanların, toplam yarma, toplam dolgu hacimleri hesaplanıp kütleler diyagramları çizilmiştir. 5 yatay 5 düşey kurplu geçki için, minimum proje elemanları kullanılarak oluşturulan karayolu geçkisi ve oluşturulan diğer geçkilerle, bu geçkilerin boykesit ve kütleler diyagramları ek-3'de verilmektedir. Bu şekiller, R ve A parametrelerine bağlı olarak oluşturulan karayolu geçkilerini ve bu geçkilerin minimum değerden başlanarak düşey kurp uzunluklarının arttırılmasıyla oluşan yeni boykesit ve kütleler diyagramlarını göstermektedir. Ayrıca bu şekillerde, her yol geçkisi için, düşey kurp uzunluğuna bağlı olarak değişen, maksimum yarma yüksekliği(hymax), minimum dolgu yüksekliği(hdmin), kazı dolgu yüksekliklerinin ortalaması(ort) ve bunların standart sapmaları(stds) gösterilmiştir. Yarma ve dolgu yükseklikleri metre birimindedir.

Bu geçkilere ait yapım maliyetinin belirlenmesi için, maliyet hesapları yapılmıştır. Yapım maliyeti, toprak işleri, sanat yapıları, etüd-plan-proje ve kamulaştırma maliyetlerinde oluşan

altyapı maliyeti ile, alttemel, temel ve kaplama tabakaları maliyetlerinden oluşan üstyapı maliyetleri toplamı olarak alınmıştır. Bu maliyet değerleri hesaplanırken, KGM tarafından hazırlanmış, 1993, 2002 ve 2004 yıllarına ait ekonomik analiz çizelgeleri kullanılmıştır. Maliyet değerleri, enflasyon oranları ve merkez bankası verileri kullanılarak Ocak 2005 yılı verilerine dönüştürülmüş, YTL (Yeni Türk Lirası) olarak karşılıkları belirlenmiştir.

Buradaki uygulamada arazi yapısı, %50 toprak, %40 küskülük, %10 kayalık alınmıştır. Maliyet hesaplarında bölüm 4’de verilen eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitliklerden platform genişliğine bağlı olanlar için ekonomik analiz çizelgelerinden farklı birim maliyetler elde edilmiştir. Platform genişliğine bağlı olarak bu eşitliklerin ekonomik analiz çizelgelerinden alınan değerleriyle hesapları aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Diğer yapım maliyetini oluşturan değerlerin hesaplanması ise bölüm 4’de belirtildiği gibi yapılmıştır.

Platform genişliği=8.00m için;

Toprak işi maliyeti;

$$TİM=(11202.96*toprak+14499.45*küskülük+37579.11*kayalık)*V$$

Alttemel tabakası maliyeti;

$$ATM=352683.60*ATK*YU$$

Temel tabakası maliyeti;

$$TTM=929273,60*TK*YU$$

Burada alttemel kalınlığı 0.30m, temel kalınlığı 0.15m ve TipI sathi kaplama kullanılması dikkate alınarak yapım maliyetleri hesaplanmıştır.

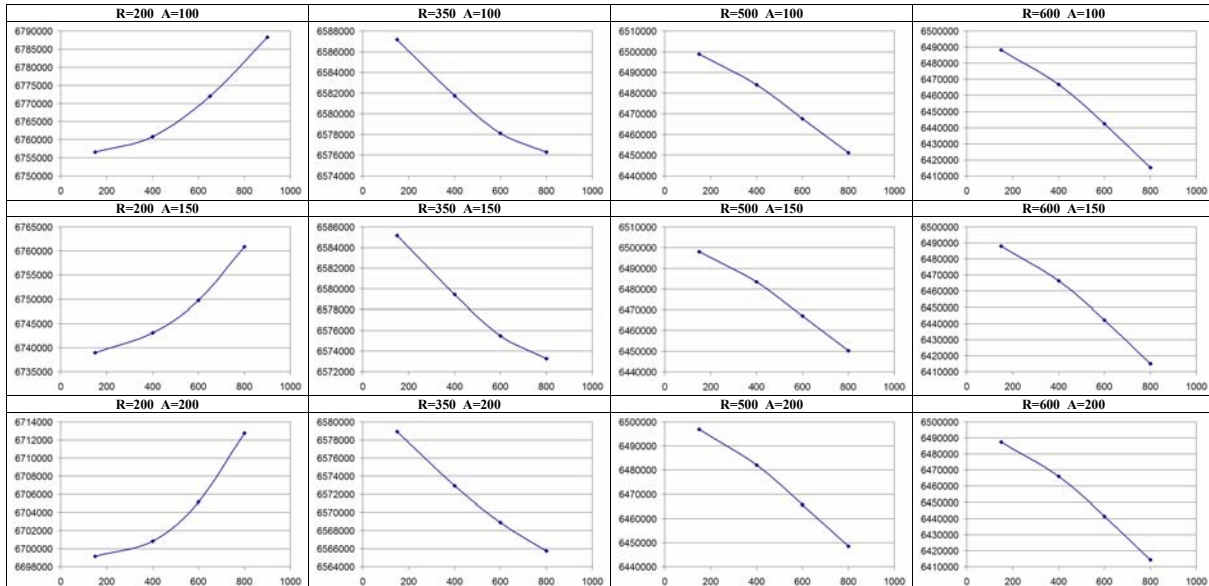
5 yatay 5 düşey kurplu geçki için önce minimum R, A ve L proje elemanları kullanılarak yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu proje elemanlarının maksimum değerleri belirlenmiştir. Minimum ve maksimum değerleri belirlenen R, A ve L proje elemanları için, ara değerler seçilerek, bu şekilde oluşturulan geçkilerin yapım maliyetleri hesaplanmıştır. Üçüncü sınıf karayolu geçkisi için R yatay kurp yarıçap değerleri sırasıyla; 200m, 350m, 500m ve 600m, A klotoid parametresi değerleri sırasıyla; 100, 150 ve 200, L düşey kurp uzunluğu değerleri sırasıyla; 150m, 400m, 600m ve 800m alınarak yatay kurp yarıçapı, klotoid parametresi ve düşey kurp uzunluğundan oluşan proje elemanlarından R ve L için 4, A için 3 farklı değer belirlenmiş ve bu değerlerin kombinasyonu şeklinde alternatif seçenekler oluşturularak maliyetleri hesaplanmıştır.

Yatay kurp yarıçapının, klotoid parametresinin, düşey kurp uzunluğunun yapım maliyetine olan etkilerini belirlemek için, yatay kurp yarıçapı R ve klotoid parametresi A sabit alınarak L düşey kurp uzunluğunun etkisi, yatay kurp yarıçapı R ve düşey kurp uzunluğu L sabit alınarak A klotoid parametresinin etkisi, klotoid parametresi A ve düşey kurp uzunluğu L sabit alınarak, R yatay kurp yarıçapının etkisi incelenmiştir. Bu şekilde 5 yatay 5 düşey kurplu üçüncü sınıf karayolu geçkisi için toplam 48 tane farklı geçki seçeneği oluşturulmuş ve bunların yapım maliyetleri hesaplanmıştır (ek-3).

Bu 48 geçki seçeneği incelendiğinde en düşük maliyeti maksimum proje elemanlarının kullanıldığı, R=600m, A=200 ve L=800m, en yüksek maliyeti, R=200, A=100, L=900m olan geçki seçenekleri vermektedir. Minimum proje elemanları kullanıldığı zaman maksimum proje elemanlarına göre, karayolunun uzunluğu; %7.94, toplam yapım maliyeti de; %5.79 oranında artmaktadır. Her bir proje elemanının yapım maliyeti üzerindeki etkilerini sırasıyla inceleyelim.

5.5.3.1 L Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

L proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla kurp yarıçapı R ve klotoid parametresi A değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı L değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.26: Üçüncü sınıf karayolu geçkisinde R ve A parametreleri sabit alındığı zaman, L parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen metre cinsinden L değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.26’de görüldüğü gibi, 350, 500 ve 600 yarıçaplarındaki L düşey kurp uzunluklarının yapım maliyeti üzerinde sürekli azaltıcı bir etkisi vardır. Ancak R=200m yatay kurp yarıçapı için, L kurp uzunluğunun minimum değerinden maksimum değerine gitmesiyle, TAM ve TYM değerleri artmaktadır. L düşey kurp uzunluğunun, 200, 350, 500, 600 kurp yarıçapları ve 100, 150, 200 klotoid parametreleri sabit olarak alındığı zaman, toplam altyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetini nasıl etkilediği aşağıda çizelge 5.13’de verilmiştir. L düşey kurp uzunluğunun üstyapı maliyeti üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Çünkü, L düşey kurp uzunluğu yapım maliyeti hesabında, karayolu uzunluğunu etkilemediği için, üstyapı maliyetinde herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Çizelge 5.13: R ve A proje elemanları sabit olarak alındığında L’nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM ve TYM’ne etkisi

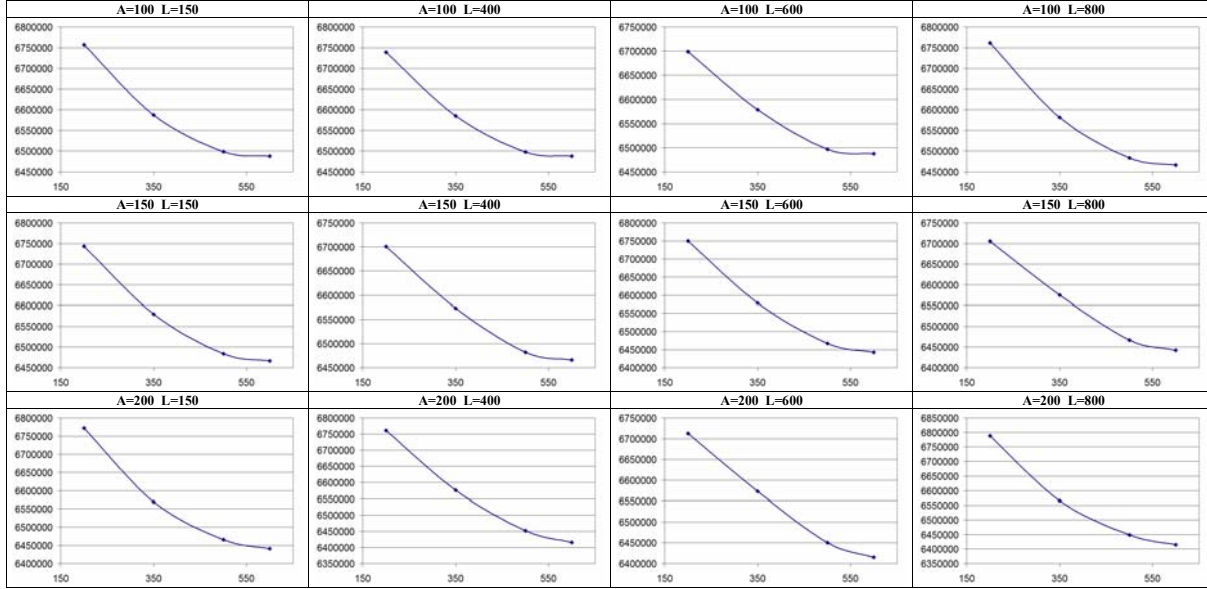
R (m)	A	L (m)	TAM (%)	TYM (%)
200	100	150-900	0.52 artış	0.35 artış
350	100	150-800	0.18 azalma	0.12 azalma
500	100	150-800	0.81 azalma	0.55 azalma
600	100	150-800	1.24 azalma	0.85 azalma
200	150	150-800	0.36 artış	0.24 artış
350	150	150-800	0.20 azalma	0.13 azalma
500	150	150-800	0.82 azalma	0.55 azalma
600	150	150-800	1.24 azalma	0.85 azalma
200	200	150-800	0.23 artış	0.15 artış
350	200	150-800	0.22 azalma	0.15 azalma
500	200	150-800	0.83 azalma	0.56 azalma
600	200	150-800	1.25 azalma	0.85 azalma

Çizelge 5.13’de görüldüğü gibi R=200m ve A=100m için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 900m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde; % 0.35 oranında, toplam altyapı maliyetinde; %0.52 oranında artışa neden olmuştur. Burada maksimum L uzunluğunun 900m olmasının sebebi, sadece R=200m ve A=100 değerindeki proje elemanları bu değeri sağladığı içindir. R=350m ve A=100m için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 800m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde; % 0.12, toplam altyapı maliyetinde; %0.18 oranında, R=500m ve A=100m için; L değerinin minimum 150m’den maksimum 800m arasında değişmesi toplam yapım maliyetinde % 0.55, toplam altyapı maliyetinde; %0.81 oranında azalmaya sebep olmuştur. Çizelge 5.13’deki değerler bu şekilde yorumlanabilir.

Burada yarıçapın minimum değerinde olması halinde düşey kurp uzunluğunun yapım maliyeti üzerinde arttırıcı, kurp yarıçapının daha büyük değerler alması halinde, düşey kurp uzunluğunun yapım maliyeti üzerinde azaltıcı bir etkisi mevcuttur.

5.5.3.2 R Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

R proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla klotoid parametresi A ve düşey kurp uzunluğu L değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 4 farklı R değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.27: Üçüncü sınıf karayolu geçkisinde A ve L parametreleri sabit alındığında, R parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay eksen metre cinsinden R değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.27’de görüldüğü gibi, R yatay kurp yarıçapının, toplam yapım maliyeti üzerinde azaltıcı bir etkisi vardır. A ve L parametrelerinin sabit, R yatay kurp yarıçapının 200m, 350m, 500m ve 600m alınması durumunda, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıda çizelge 5.14’de verilmiştir. Ayrıca, R yatay kurp yarıçapı karayolunun uzunluğunu etkilediği için, kurp yarıçapının artmasıyla yol uzunluğunda ne oranda bir değişme olduğu da çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 5.14: A ve L proje elemanları sabit olarak alındığında R’nin minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÖM, TYM ve YU’na etkisi

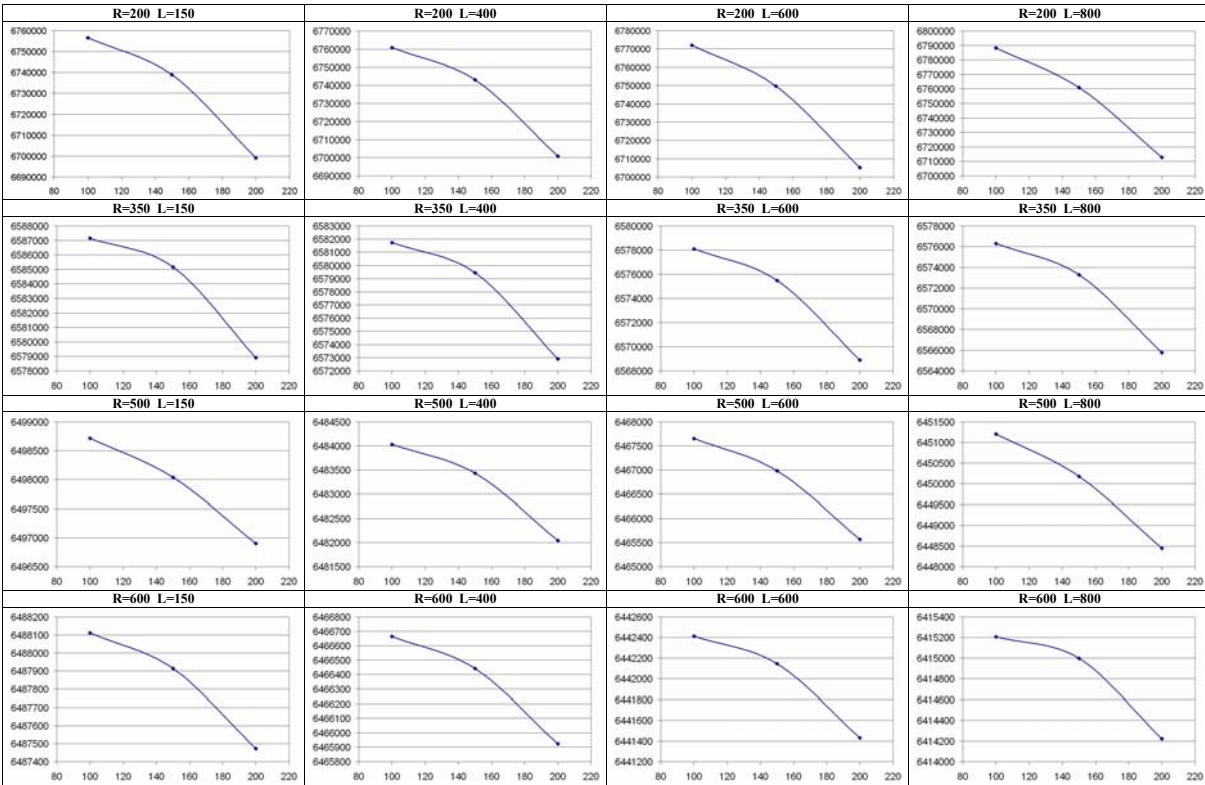
A	L (m)	R (m)	TAM (%)	TÖM (%)	TYM (%)	YU (%)
100	150	200-600	3.53 azalma	7.91 azalma	4.97 azalma	7.91 azalma
100	400	200-600	3.96 azalma	7.91 azalma	5.25 azalma	7.91 azalma
100	650	200-600	4.53 azalma	7.91 azalma	5.63 azalma	7.91 azalma
100	900-800	200-600	5.23 azalma	7.91 azalma	6.10 azalma	7.91 azalma
150	150	200-600	3.28 azalma	7.70 azalma	4.73 azalma	7.70 azalma
150	400	200-600	3.70 azalma	7.70 azalma	5.01 azalma	7.70 azalma
150	600	200-600	4.21 azalma	7.70 azalma	5.35 azalma	7.70 azalma
150	800	200-600	4.83 azalma	7.70 azalma	5.77 azalma	7.70 azalma
200	150	200-600	2.71 azalma	7.20 azalma	4.18 azalma	7.20 azalma
200	400	200-600	3.09 azalma	7.20 azalma	4.44 azalma	7.20 azalma
200	600	200-600	3.57 azalma	7.20 azalma	4.76 azalma	7.20 azalma
200	800	200-600	4.14 azalma	7.20 azalma	5.14 azalma	7.20 azalma

Çizelge 5.14 ve şekil 5.27’de görüldüğü gibi R yarıçapının minimum değeri olan 200m’den, maksimum değeri olan 600m’ye yükseltilmesiyle TAM, TÛM, TYM ve YU değerlerinde belirgin oranlarda azalma olmaktadır.

Çizelge 5.14’de de görüldüğü gibi R yarıçapının artması, TÛM ile YU’nun azalması aynı oranda değişmektedir. Bu da TÛM ‘nin YU’na bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır.

5.5.3.3 A Proje Elemanının Yapım Maliyeti Üzerindeki Etkisi

A proje elemanının, farklı geçki seçeneklerinin yapım maliyetindeki etkisini belirlemek amacıyla yatay kurp yarıçapı R ve düşey kurp uzunluğu L değeri sabit tutularak oluşturulan geçki seçeneklerinde 3 farklı A değerinin değişiminin yapım maliyetini nasıl etkilediğini belirlemek için gerekli hesaplar yapılmış ve maliyet grafikleri çizilmiştir.



Şekil 5.28: Üçüncü sınıf karayolu geçkisinde R ve L parametreleri sabit alındığında, A parametresi ile M maliyet değer değişimlerinin grafikleri (düşey eksen YTL cinsinden maliyetleri yatay A değerlerini göstermektedir)

Şekil 5.28’de görüldüğü gibi, A klotoit parametresinin artmasının, toplam yapım maliyetini azaltıcı yönde bir etkisi vardır. R ve L parametrelerinin sabit, A klotoit parametresinin, 100, 150 ve 200 olarak alınması durumunda, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti ve toplam yapım maliyetinin nasıl değiştiği aşağıda çizelge 5.15’de verilmiştir. Ayrıca, A klotoit parametresi, karayolunun uzunluğunu etkilediği için, klotoit parametresinin artmasıyla yol uzunluğunda ne oranda bir değişme olduğu da hesaplanarak çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 5.15: R ve L proje elemanları sabit olarak alındığında A’nın minimum ve maksimum değerleri arasındaki değişimin TAM, TÛM, TYM ve YU’na etkisi

R (m)	L (m)	A	TAM (%)	TÛM (%)	TYM (%)	YU (%)
200	150	100-200	0.86 azalma	0.80 azalma	0.84 azalma	0.80 azalma
200	400	100-200	0.90 azalma	0.80 azalma	0.87 azalma	0.80 azalma
200	650	100-200	1.01 azalma	0.80 azalma	0.94 azalma	0.80 azalma
200	800-900	100-200	1.15 azalma	0.80 azalma	1.03 azalma	0.80 azalma
350	150	100-200	0.12 azalma	0.17 azalma	0.14 azalma	0.17 azalma
350	400	100-200	0.13 azalma	0.17 azalma	0.14 azalma	0.17 azalma
350	600	100-200	0.14 azalma	0.17 azalma	0.15 azalma	0.17 azalma
350	800	100-200	0.16 azalma	0.17 azalma	0.16 azalma	0.17 azalma
500	150	100-200	0.02 azalma	0.06 azalma	0.04 azalma	0.06 azalma
500	400	100-200	0.03 azalma	0.06 azalma	0.04 azalma	0.06 azalma
500	600	100-200	0.03 azalma	0.06 azalma	0.04 azalma	0.06 azalma
500	800	100-200	0.04 azalma	0.06 azalma	0.05 azalma	0.06 azalma
600	150	100-200	0.01 azalma	0.04 azalma	0.02 azalma	0.04 azalma
600	400	100-200	0.01 azalma	0.04 azalma	0.02 azalma	0.04 azalma
600	600	100-200	0.01 azalma	0.04 azalma	0.02 azalma	0.04 azalma
600	800	100-200	0.01 azalma	0.04 azalma	0.02 azalma	0.04 azalma

Çizelge 5.15 ve şekil 5.28’de görüldüğü gibi A klotoit parametresinin minimum değeri olan 100’den, maksimum değeri olan 200’e yükseltilmesiyle TAM, TÛM, TYM ve YU değerlerinde azalma olmaktadır. Yol uzunluğunun ve maliyet değerlerinin A klotoit parametresinden etkilenme oranları, R yarıçap uzunluğunun artmasıyla azalmaktadır. Minimum yarıçap değerinde A parametresinin etkisi en yüksek değerdedir.

5.6 Karayolu Yapım Maliyetinin R, L ve A Proje Elemanlarının Fonksiyonu Olarak Çoklu Regresyon Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi

Regresyon analizi, aralarında herhangi bir ilişki bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminleri ya da kestirimleri yapabilmek amacıyla matematiksel bir model ile gerçekleştirilen bir istatistik analiz tekniğidir.

Regresyon analizinin işlem aşaması;

- Değişkenlerin belirlenmesi
- Modelin uydurulması

- Uyuşumsuz ve/veya kaba hatalı gözlemlerin tespiti
- Artık hataların analizi
- Regresyon modelinin performansının ölçülmesi
- Bağımsız bir veri grubu ile modelin kalite kontrolü
- Modelin kesinleştirilmesi ve regresyon denkleminin oluşturulması

olarak sıralanabilir.

Problemin çözümünde öncelikle regresyon analizi yaklaşımı kullanılarak oluşturulacak modelin içinde bulunacak değişkenler tespit edilmesi gerekmektedir. Bu noktada göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus bağımlı değişken ile bağımsız değişken veya değişkenler arasında ne tip bir ilişki olduğunun ve bu ilişkinin önem derecesinin belirlenmesidir. Özellikle çok sayıda bağımsız değişken olması durumunda, bu husus daha büyük bir önem kazanmaktadır. Söz konusu değişkenlerden bağımlı değişken y , bağımsız değişken x olmak üzere, $y=f(x)$ şeklinde tanımlanan fonksiyona regresyon denir. $f(x)$ fonksiyonu en genel hali ile, y ile x arasındaki ilişkiye bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Erdem 2006)

Doğrusal: $y = ax + b$

Parabolik: $y = ax^2 + b$

Üstsel: $y = ab^x$, $y = ae^x$

Geometrik: $y = ax^b \Rightarrow \log y = b \log(ax)$

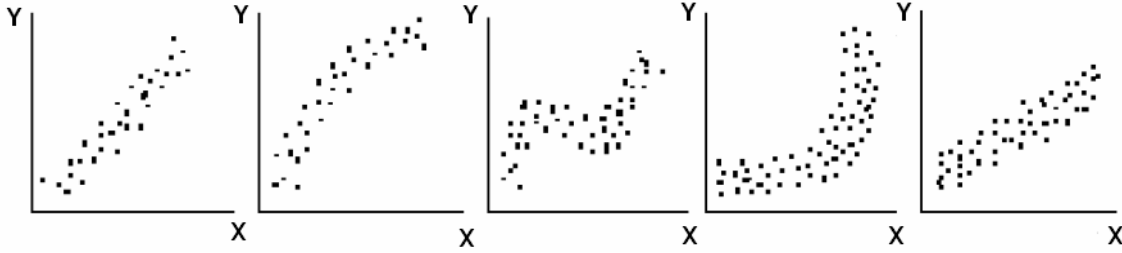
Hiperbolik: $y=(ax+b)^{-1}$ (5.1)

Uygulamalarda, regresyon modelinin mümkün olan en az bağımsız değişken ile en iyi tahmini yapabilecek şekilde uydurulması esastır. Dolayısıyla, bağımsız değişkenlerden sadece istatistiksel olarak anlamlı olanların seçilmesi gerekmektedir.

Regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin modele ne şekilde gireceği ya da değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade edecek olan modelin hangi model olacağı konusunda başlangıçta bir fikir elde etmek için, gözlem noktalarının iki boyutlu dik bir koordinat eksenindeki dağılımını gösteren bir grafik oluşturulması ve incelenmesi yeterli olacaktır. Elde edilen grafikte bazı

tipik görünümlere göre Y ile X arasındaki ilişkinin şekli görsel olarak belirlenebilir ve hangi fonksiyonun uygulanacağına karar verilir.

Çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda, karayolu yapım maliyetinin (bağımlı değişken) R, A ve L proje elemanlarının (bağımsız değişkenler) fonksiyonu olarak belirlenmesi amacıyla, üç farklı fonksiyon kullanılarak matematiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.29 Bazı fonksiyon tiplerinin dağılım grafikleri(Şahinler 2000)

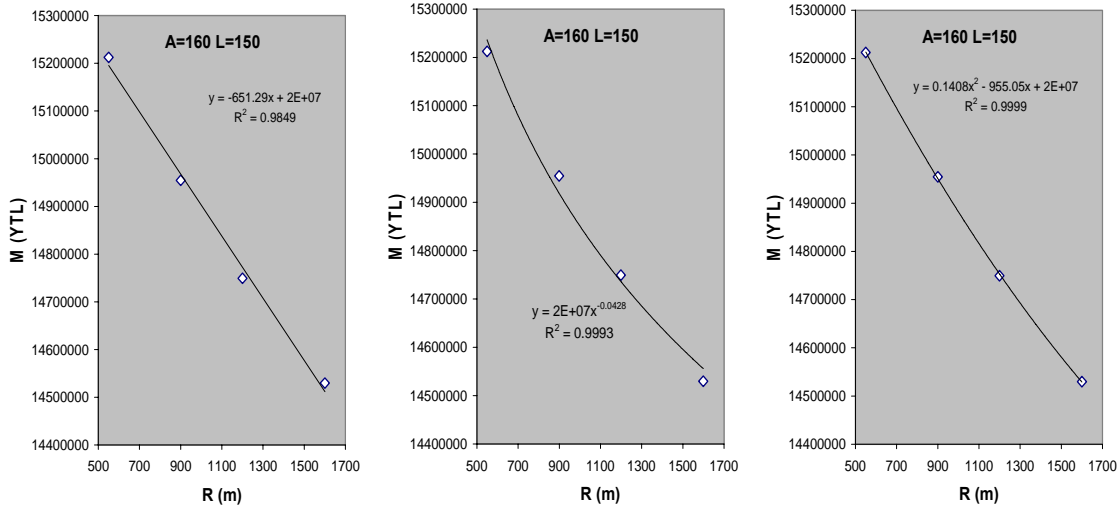
Regresyona ilişkin değişkenlerin tanımlanması ve seçilmesinden sonra, modeli sayısal olarak temsil edecek parametrelerin yani katsayıların hesaplanması adımına geçilebilir. Modelin sayısal olarak çözümünde kullanılacak en etkin teknik Gauss'un En Küçük Kareler (EKK) ilkesinin kullanılmasıdır. EKK, modelin uydurulmasından sonra bağımlı değişkenin gözlenen değeri ile modelden kestirilen kestirim değeri arasındaki farkların (artık hata) kareleri toplamının minimum yapılmasına dayanmaktadır. Uydurulan modelin EKK'in varsayımlarına uygun olup olmadığı ve doğru modele hangi derecede yaklaştığının ölçülmesi de dikkate alınması gereken en önemli ölçütlerdendir.

Bağımsız değişken x 'in regresyon modeli ile bağımlı değişken y 'i ne kadar açıklayabildiğini görmek için bir ölçüt olan karar katsayısı/belirtme katsayısı/regresyon katsayısı, r^2 (coefficient of determination) kullanılır. r^2 1'e ne kadar yakınsa, regresyon o kadar anlamlıdır, belirleyicidir. Bu konuda bilimsel bir karar verebilmek için hipotez testi yapılır. Belirtme katsayısı, kullanılan x değişkenlerinin y 'deki toplam varyasyonu açıklayabilme oranını verir ve $0 < r^2 < 1$ ' dir. r^2 ' nin büyük çıkması her zaman modelin iyi olduğu sonucunu göstermez. Çünkü modele konu ile ilgili veya ilgisiz bir değişkenin eklenmesi r^2 'nin değerini artıracaktır. Dolayısıyla da büyük r^2 'si olan modeller her zaman tahmin yapmada en iyi model olmayabilir. Ancak modele giren değişkenler yönünden bir problem yoksa pratikte iyi bir ölçüdür. r^2 'nin karekökü y ile x değişkenleri arasındaki çoklu korelasyon katsayısını verir.

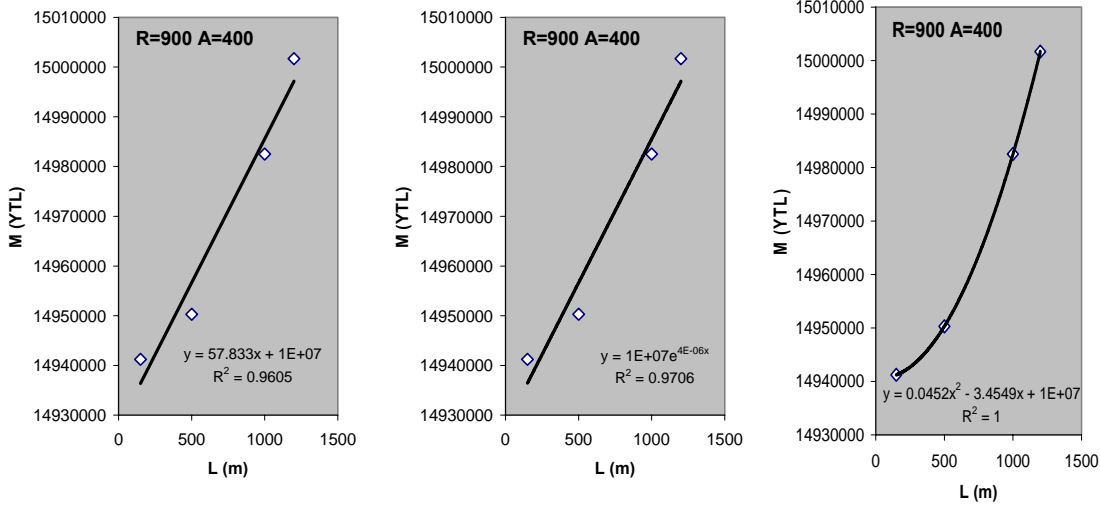
Eğer modeli bu temel ölçütleri yerine getiremez ise eksik ve/veya hatalı sonuçlar verecek, problemin yanlış bir şekilde çözülmesine ve yorumlanmasına neden olacaktır.

Çalışmada oluşturulması düşünülen çoklu regresyon modelinin nasıl bir fonksiyon ile ifade edileceğine karar vermek için her bir bağımsız değişken (R,A,L) ile bağımlı değişken (M) toplam yol yapım maliyetleri ilişkilerinin ayrı ayrı ele alınması düşünülmüştür. Yapılan ön değerlendirmeler sonucu;

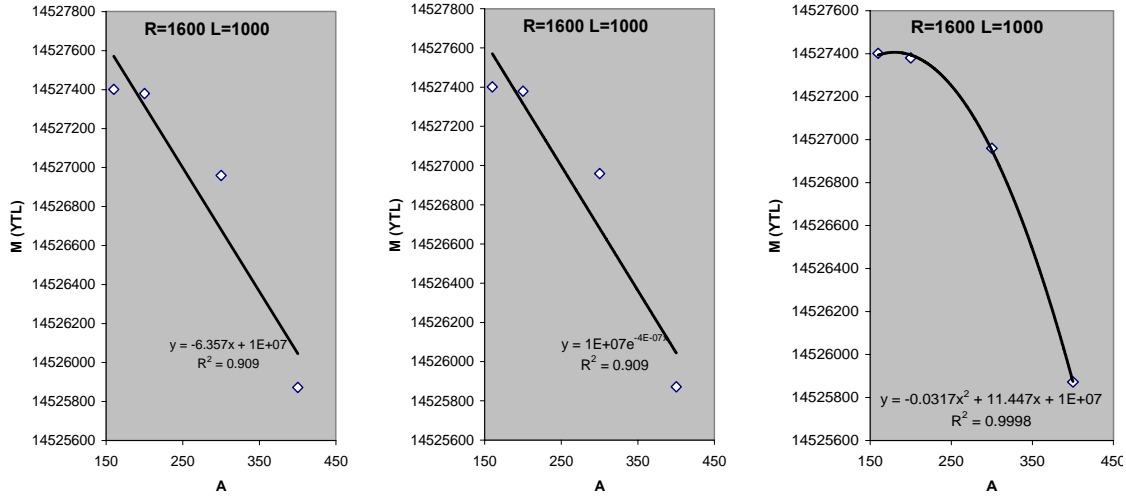
- Her üç sınıf (I,II,III) yol için ayrı ayrı model oluşturulmasının daha uygun olduğuna;
- R, A ve L proje elemanlarının, maliyetle ilişkileri irdelendiğinde çoğunlukla maliyetle aralarında $y = ax + b$ şeklinde yaklaşık doğrusal bir eğilim görülmektedir. Sayısal değerlendirmeler sonucunda söz konusu eğilimin $y = ax^b \Rightarrow \log y = b \log(ax)$ şeklinde üssel bir fonksiyon veya $y = a + bx + cx^2$ şeklinde polinomal bir fonksiyonla tanımlamanın sonuçları anlamlı bir şekilde geliştirdiği kanısına varılmıştır.



Şekil 5.30 R ile maliyet arasındaki ilişki için örnek fonksiyon gösterimi



Şekil 5.31 L ile maliyet arasındaki ilişki için örnek fonksiyon gösterimi



Şekil 5.32 A ile maliyet arasındaki ilişki için örnek fonksiyon gösterimi

Yukarıda yapılan ayrı ayrı değerlendirmeler sonucunda, her tip yol sınıfı için yol yapım maliyetinin R, A ve L proje elemanlarının fonksiyonu olacak şekilde aşağıda belirtilen modeller kullanılarak gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

1. Model $M = \alpha_0 + \alpha_1 R + \alpha_2 A + \alpha_3 L + v$ 4 katsayılı doğrusal

2. Model $M = \beta_0 + \beta_1 R^{\beta_2} + \beta_3 e^{\beta_4 A} + \beta_5 e^{\beta_6 L} + v$ 7 katsayılı üssel fonksiyonlar

3. Model $M = \gamma_0 + \gamma_1 R + \gamma_2 R^2 + \gamma_3 A + \gamma_4 A^2 + \gamma_5 L + \gamma_6 L^2 + v$ 7 katsayılı 2. derece polinomal

Çalışmanın önceki bölümlerinde verildiği gibi, 1. sınıf yol için 64, 2. sınıf yol için 64 ve 3. sınıf yol için 48 olmak üzere toplam 176 farklı R,A,L değeri için yol yapım maliyetleri belirlenmiştir. Çalışmanın bu kısmında, her yol sınıfı için geçerli olacak en uygun regresyon

modelinin ve ampirik katsayıların hesaplanması hedeflenmektedir. Her yol sınıfına ait veri grubunun yaklaşık %80 lik kısmı modellerin oluşturulmasında kullanılmış, kalan %20 lik kısım ise modellere hiçbir şekilde katılmayarak bağımsız veri grubu olarak ele alınmasına karar verilmiştir. Çoklu regresyon katsayılarının çözümü için, EKK ilkesine göre oluşturulabilecek denklem sistemi matris gösterimiyle aşağıda verilmektedir. Buna göre;

$[v_i v_i] = \min.$ olmak üzere ; $(n \times 1)$ boyutlu maliyet değerlerini içeren bağımlı değişkenler vektörü;

$$\underline{1}^T = [M_1 \quad M_2 \quad M_3 \quad \dots \quad M_n] \quad (5.2)$$

$(n \times u)$ boyutlu katsayılar matrisi üç model için ayrı ayrı,

1. Model;

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & R_1 & A_1 & L_1 \\ 1 & R_2 & A_2 & L_2 \\ 1 & R_3 & A_3 & L_3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & R_n & A_n & L_n \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

2. Model;

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & R_1^{\beta_2} & \beta_1 R_1^{\beta_2} \log R_1 & e^{\beta_6 A} & A_1 \beta_3 e^{\beta_6 A} & e^{\beta_4 L_1} & L_1 \beta_4 e^{\beta_4 L_1} \\ 1 & R_2^{\beta_2} & \beta_1 R_2^{\beta_2} \log R_2 & e^{\beta_6 A_2} & A_2 \beta_3 e^{\beta_6 A_2} & e^{\beta_4 L_2} & L_2 \beta_4 e^{\beta_4 L_2} \\ 1 & R_3^{\beta_2} & \beta_1 R_3^{\beta_2} \log R_3 & e^{\beta_6 A_3} & A_3 \beta_3 e^{\beta_6 A_3} & e^{\beta_4 L_3} & L_3 \beta_4 e^{\beta_4 L_3} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & R_n^{\beta_2} & \beta_1 R_n^{\beta_2} \log R_n & e^{\beta_6 A_n} & A_n \beta_3 e^{\beta_6 A_n} & e^{\beta_4 L_n} & L_n \beta_4 e^{\beta_4 L_n} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

3.Model;

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 1 & R_1 & R_1^2 & A_1 & A_1^2 & L_1 & L_1^2 \\ 1 & R_2 & R_2^2 & A_2 & A_2^2 & L_2 & L_2^2 \\ 1 & R_3 & R_3^2 & A_3 & A_3^2 & L_3 & L_3^2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & R_n & R_n^2 & A_n & A_n^2 & L_n & L_n^2 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

şeklinde yazılabilir (matris elemanları fonksiyonun her bir değişkene ait kısmi türevlerinin alınmasıyla oluşturulmaktadır).Buradan katsayıların çözümü için; $\underline{x} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} (\underline{A}^T \underline{l})$ genel bağıntısı yazılabilir. Söz konusu \underline{x} matrisinin elemanları $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ gibi regresyon katsayılarını verecektir. Her bir bağımlı değişkene ait artık hataların hesabı için ise; $\underline{v} = \underline{A} \underline{x} - \underline{l}$, ortalama hata hesabı için; $S_0 = \sqrt{[\underline{v} \underline{v}] / (n - u)}$ yazılabilir. Burada n toplam bağımlı değişken sayısı veya ölçü sayısı u ise bilinmeyen katsayı sayısıdır. Her bir regresyon katsayısına ait ortalama hata için; $Q_{xx} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1}$ matrisinin her bir köşegen elemanının karekökü ile S_0 ortalama hatası çarpılır. Bu aşamadan sonra problem çözümlenmiştir ve uyumsuz ve kaba hatalı ölçüler tespit edilerek modelden çıkarılıp, model değerlendirilerek kalite kontrol yapılır ve uygunluk test edilir. Elde edilen regresyon katsayıları aşağıda belirtildiği gibi istatistiksel olarak test edilir.

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_1 &= 0 \\ H_a : \beta_1 &\neq 0 \end{aligned} \quad (5.6)$$

Bir regresyonun anlamlı olması aslında doğrunun eğimi olan β_1 'in sıfırdan farklı olması ile eşdeğerdir. β_1 değerlerini tahmin etmek için kullanılan b_1 , aslında ortalaması β_1 ve varyansı $\sigma_{b_1}^2$ olan normal dağılım gösterir, $b_1 \sim N(\beta_1, \sigma_{b_1}^2)$. Burada,

$$\sigma_{b_1} = \frac{\sigma}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \Rightarrow s_{b_1} = \frac{s}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (5.7)$$

şeklinde tahmin edilir. Yukarıdaki hipotezi test etmek için t-testi kullanılır:

$$\text{Test istatistiği} = t_{n-2} = \frac{b_1 - \beta_1}{s_{b_1}} = \frac{b_1}{s_{b_1}} \quad (5.8)$$

Kritik değer : $t_{\alpha/2, n-2}$ olmak üzere Eğer $t_{n-2} < -t_{\alpha/2}$ veya $t_{n-2} > t_{\alpha/2} \Rightarrow H_0$ reddedilir. Ya da, eğer p – değeri $< \alpha \Rightarrow H_0$ reddedilir.

H_0 reddedilirse, α yanılma olasılığı ile $\beta_1 \neq 0$ 'dır, yani y değerleri x 'e bağlı olarak değişim gösterirler ve bu durumda regresyon anlamlıdır.

Her ne kadar regresyon analizi ile oluşturulan matematiksel modelin uygun olup olmadığına, varyans analizleri, anlamlılık testleri r^2 regresyon katsayısı ve diğer ölçütlere göre karar verirse de bu ölçütler modelin iç doğrulukları hakkında bilgi vermektedirler. Pratik uygulamalarda, regresyon modelinin bağımsız bir veri grubu ile test edilerek dış doğruluğunun da test edilmesi gerekmektedir. Sözü edilen bağımsız veri grubu modelin oluşturulmasında yer almayan farklı bir veri grubudur. Bu bağımsız veri grubuna ait gerçek değerler ile regresyon modeli ile kestirilecek değerler arasındaki farklar kullanılarak, regresyon modelinin bağımsız veri grubu ile uyuşumu belirlenmelidir. Burada; bilinen orijinal değer ile kestirilen değer arasındaki farkların kareleri toplamının veri sayına bölümünün karekökü (rms: root mean square) değeri kullanılmaktadır. Yukarıda belirtilen sıra ve esaslara göre yapmış olduğumuz modelsel uygulama sonuçları ve bazı önemli bilgiler Şekil 5.33, 5.34 ve 5.35'da görsel ve sayısal olarak sunulmaktadır.

MODEL	I. SINIF			
1	KATSAYILAR	STD. SAPMA	TEST BÜYÜKLÜĞÜ	
	15114944.907572	12535.49	1169.598	Anlamlı
	-649.801155	7.3332	-85.9526	Anlamlı
	-102.663842	30.2446	-3.29299	Anlamlı
	43.291413	6.7706	6.205985	Anlamlı
	S_0	20381.5	$t_{0.05-f}$	1.6772
ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000		
	Standart Hata	2741.996		
	Ortanca	2352.444		
	Standart Sapma	19772.965		
	Örnek Varyans	403061957.17		
	Basıklık	1.067		
	Çarpıklık	-0.873		
	Aralık	90675.988		
	En Büyük	-58990.550		
	En Küçük	31685.438		
	Toplam	0.000		
	En Büyük(1)	31685.438		
	En Küçük(1)	-58990.550		
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	5504.847			
2	14964582.618346	50590.91	286.922	Anlamlı
	-818242.380516	2526.705	-314.123	Anlamlı
	378906.325078	5542.478	66.31314	Anlamlı
	344699.636496	49192.98	6.796877	Anlamlı
	-323122.213657	38201.15	-8.20469	Anlamlı
	-43333.890587	2230.359	-18.8462	Anlamlı
	36568.325012	1243.465	28.52616	Anlamlı
	S_0	16064.1	$t_{0.05-f}$	1.6794
	ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000	
Standart Hata		2092.581		
Ortanca		2080.941		
Standart Sapma		15089.611		
Örnek Varyans		234737211.54		
Basıklık		-0.097		
Çarpıklık		0.097		
Aralık		73403.198		
En Büyük		-35949.752		
En Küçük		37453.446		
Toplam		0.000		
En Büyük(1)		37453.446		
En Küçük(1)		-35949.752		
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	4200.973			
3	15196672.3229664000	3332.91	4422.793	Anlamlı
	-830.0382866388	3.858755	-208.652	Anlamlı
	0.0842219887	0.001767	46.22288	Anlamlı
	31.3168296557	11.82805	2.568245	Anlamlı
	-0.2260600167	0.037947	-5.77852	Anlamlı
	-32.1504407749	2.729573	-11.4252	Anlamlı
	0.0557874353	0.001951	27.7358	Anlamlı
	S_0	16067.6	$t_{0.05-f}$	1.6794
ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000		
	Standart Hata	2092.969		
	Ortanca	1349.270		
	Standart Sapma	15092.812		
	Örnek Varyans	234838497.00		
	Basıklık	0.097		
	Çarpıklık	0.000		
	Aralık	73513.487		
	En Büyük	-35520.333		
	En Küçük	37993.154		
	Toplam	0.000		
	En Büyük(1)	37993.154		
	En Küçük(1)	-35520.333		
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	4201.846			

Şekil 5.33 1.sınıf karayolu için model uygulama sonuçları

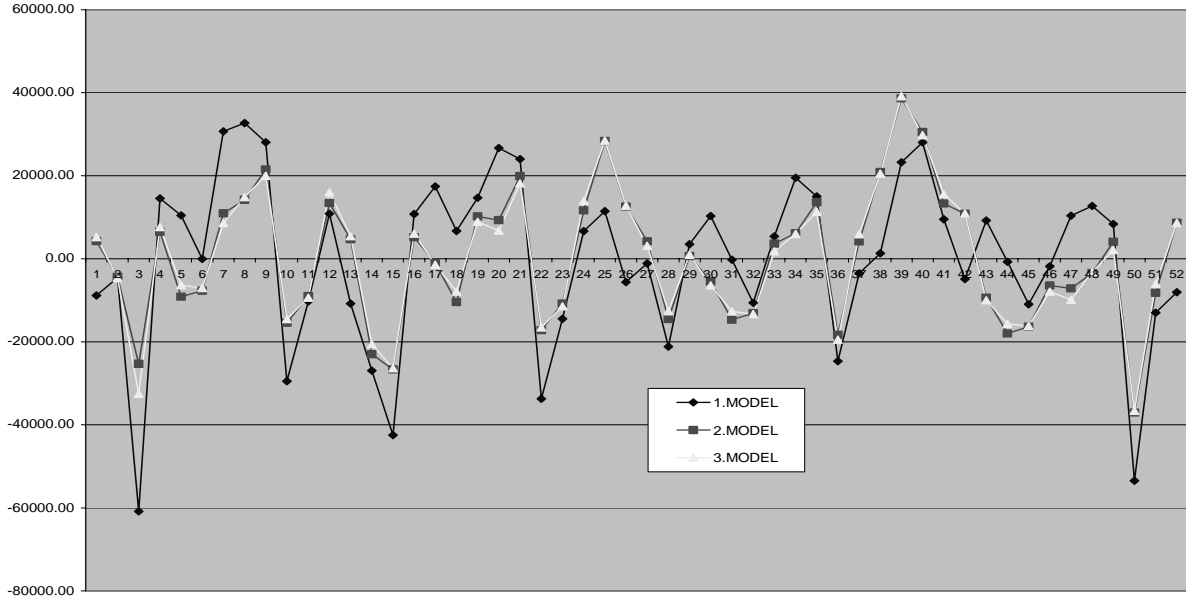
MODEL	II. SINIF			
1	KATSAYILAR	STD. SAPMA	TEST BÜYÜKLÜĞÜ	
	12595148.348267	7296.548925	1726.178838	Anlamlı
	-418.019465	5.824502436	-71.76912872	Anlamlı
	-56.098843	29.96864483	-1.871917897	Anlamlı
	-73.341093	4.337872291	-16.90715815	Anlamlı
	S₀	10085.77159	t_{0.05-f}	1.6772
ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000		
	Standart Hata	1356.908		
	Ortanca	3295.440		
	Standart Sapma	9784.660		
	Örnek Varyans	104064233.792		
	Basıklık	-0.552		
	Çarpıklık	-0.644		
	Aralık	36268.792		
	En Büyük	-21558.452		
	En Küçük	14710.340		
	Toplam	0.000		
	En Büyük(1)	14710.340		
	En Küçük(1)	-21558.452		
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	2724.028			
2	11650375.039467	202937.9	57.40858	Anlamlı
	-518306.754758	2416.653	-214.4729	Anlamlı
	409019.488063	9531.475	42.91251	Anlamlı
	1062682.213143	199934.8	5.315144	Anlamlı
	-936137.413074	167715.1	-5.581711	Anlamlı
	-35038.908577	3612.618	-9.699034	Anlamlı
	-3424.046788	2192.472	-1.561729	Anlamlı
	S₀	7038.77	t_{0.05-f}	1.6794
	ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000	
Standart Hata		916.872		
Ortanca		241.224		
Standart Sapma		6611.764		
Örnek Varyans		47516931.052		
Basıklık		0.552		
Çarpıklık		-0.092		
Aralık		35070.676		
En Büyük		-17985.908		
En Küçük		17084.768		
Toplam		0.368		
En Büyük(1)		17084.768		
En Küçük(1)		-17985.908		
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	1840.736			
3	12622107.424392	5122.72626	2463.94337	Anlamlı
	-604.687435	6.02401	-100.37951	Anlamlı
	0.138759	0.00444	31.28212	Anlamlı
	165.070301	53.82911	3.06656	Anlamlı
	-0.600879	0.14068	-4.27119	Anlamlı
	-27.447933	3.14052	-8.73993	Anlamlı
	-0.040633	0.00267	-15.21611	Anlamlı
	S₀	6961.96	t_{0.05-f}	1.6794
ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000		
	Standart Hata	906.844		
	Ortanca	629.648		
	Standart Sapma	6539.636		
	Örnek Varyans	46485526.136		
	Basıklık	0.644		
	Çarpıklık	-0.092		
	Aralık	34861.100		
	En Büyük	-18019.304		
	En Küçük	16841.888		
	Toplam	0.000		
	En Büyük(1)	16841.888		
	En Küçük(1)	-18019.304		
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	1820.680			

Şekil 5.34 2.sınıf karayolu için model uygulama sonuçları

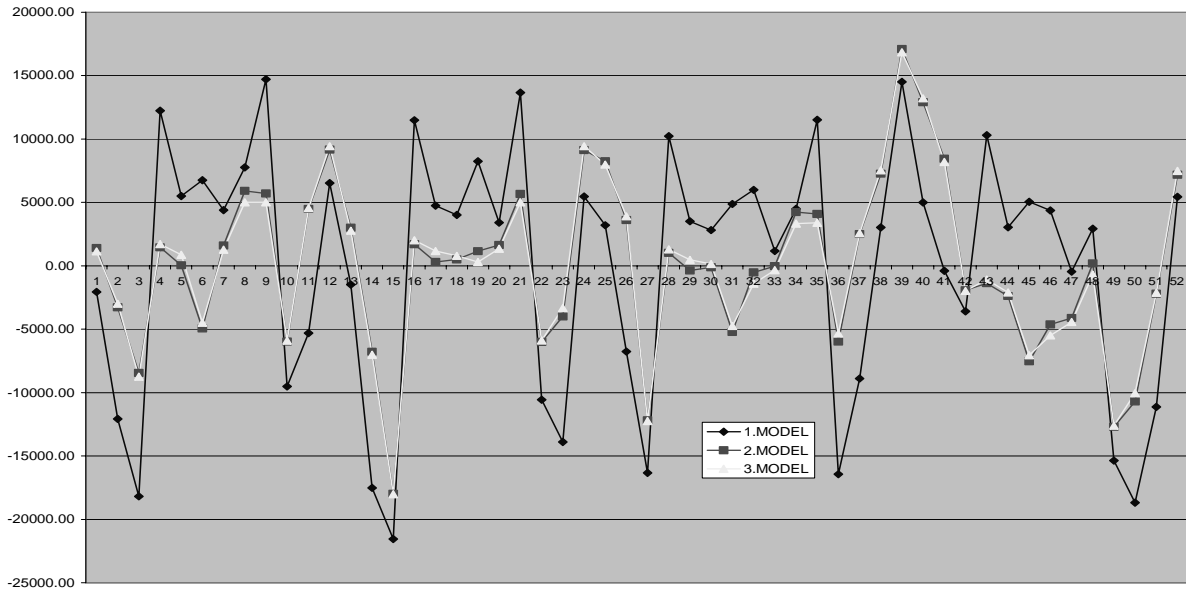
MODEL	III. SINIF				
1	KATSAYILAR	STD. SAPMA	TEST BÜYÜKLÜĞÜ		
	6926390.670452	19298.086	358.9159391	Anlamlı	
	-861.450175	24.8354436	-34.6863212	Anlamlı	
	-140.078062	92.8190044	-1.50915282	Anlamlı	
	-29.789632	15.4874687	-1.923466794	Anlamlı	
	S₀	23637.3673	t_{0.05-f}	1.6772	
ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000			
	Standart Hata	3646.125			
	Ortanca	6689.550			
	Standart Sapma	22770.150			
	Örnek Varyans	691305789.450			
	Basıklık	-0.525			
	Çarpıklık	-0.525			
	Aralık	78122.175			
	En Büyük	-47196.600			
	En Küçük	30925.650			
	Toplam	0.000			
	En Büyük(1)	30925.650			
	En Küçük(1)	-47196.600			
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	7381.200				
2	2510231.4622479	432511.9443	5.8038	Anlamlı	
	-892580.9957266	1721.3748	-518.5280	Anlamlı	
	1720234.4851331	25818.7354	66.6274	Anlamlı	
	4624523.9600105	427717.0407	10.8121	Anlamlı	
	-4144666.8540840	371533.0942	-11.1556	Anlamlı	
	9910.1635542	5478.8730	1.8088	Anlamlı	
	-20995.3903532	6626.8530	-3.1682	Anlamlı	
		S₀	15685.78	t_{0.05-f}	1.6794
	ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000		
Standart Hata		2313.600			
Ortanca		1464.525			
Standart Sapma		14448.225			
Örnek Varyans		278334024.450			
Basıklık		0.375			
Çarpıklık		0.000			
Aralık		66426.225			
En Büyük		-30967.875			
En Küçük		35458.350			
Toplam		0.225			
En Büyük(1)		35458.350			
En Küçük(1)		-30967.875			
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	4683.600				
3	7012886.529087	5223.72373	1342.50716	Anlamlı	
	-1658.168782	11.79832	-140.54277	Anlamlı	
	0.996885	0.01465	68.03720	Anlamlı	
	570.072865	64.26671	8.87042	Anlamlı	
	-2.460612	0.21316	-11.54357	Anlamlı	
	-6.334919	3.57929	-1.76988	Anlamlı	
	-0.031071	0.00538	-5.77893	Anlamlı	
		S₀	15499.41	t_{0.05-f}	1.6794
ARTIK HATALAR	Ortalama	0.000			
	Standart Hata	2286.075			
	Ortanca	-166.575			
	Standart Sapma	14276.550			
	Örnek Varyans	271759024.050			
	Basıklık	0.450			
	Çarpıklık	0.000			
	Aralık	67102.575			
	En Büyük	-31583.775			
	En Küçük	35518.800			
	Toplam	0.000			
	En Büyük(1)	35518.800			
	En Küçük(1)	-31583.775			
Güvenirlilik Düzeyi (95.0%)	4627.950				

Şekil 5.35 3.sınıf karayolu için model uygulama sonuçları

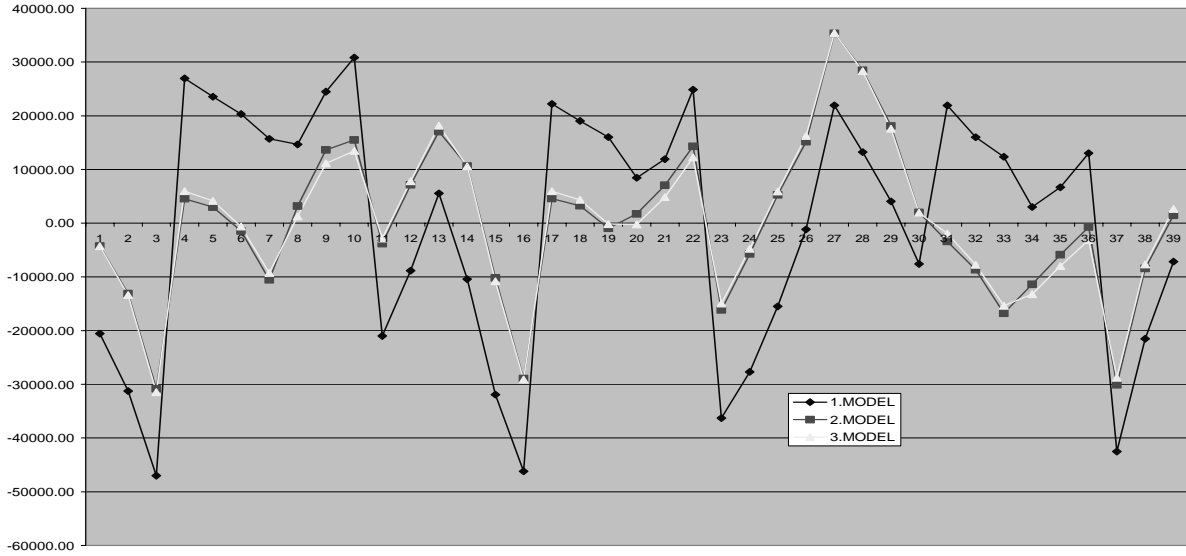
Modelsel uygulama ve analizlerden sonra, özellikle artık hataların büyüklükleri, dağılımları ve ortalama hatalar irdelendiğinde en uygun sonuçlar 3 nolu model yani 7 katsayılı polinomal regresyon çözümü sonrasında elde edildiği görülmektedir. 2 nolu model ise 3 nolu modele oldukça yakın sonuçlar sunabilmektedir. Uygulamada 2 nolu modelin doğrusal olmayan bir eşitlik olması ve hesaplama öncesinde katsayıların yaklaşık değerlerini gerektirmesi önemli bir dezavantaj gibi görünse de, çalışmada bu problem 3-4 iterasyonla çözüm yapılarak ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 5.36 1.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin düzeltmeleri ve dağılımları



Şekil 5.37 2.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin düzeltmeleri ve dağılımları



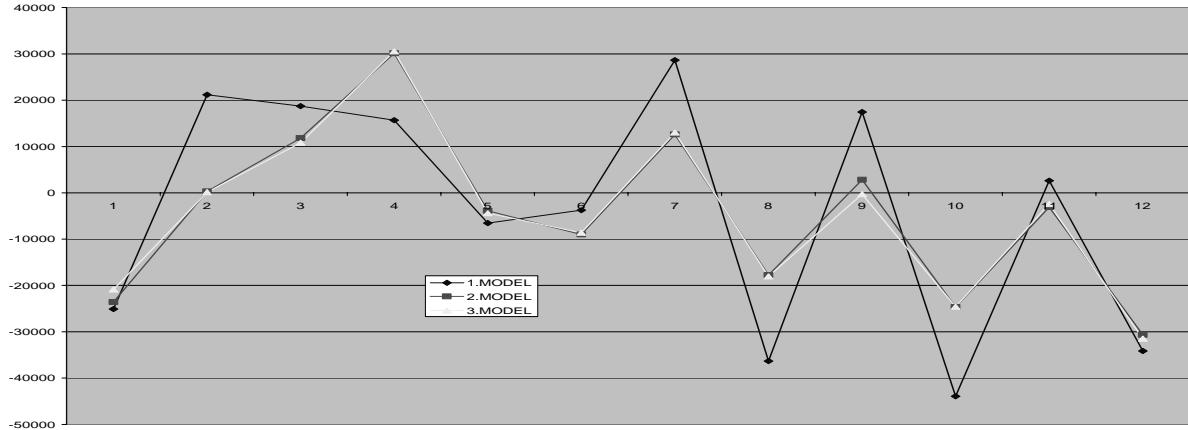
Şekil 5.38 3.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin düzeltmeleri ve dağılımları

Çizelge 5.16 Bağımsız veri grubu ile modellerin test edilmesi

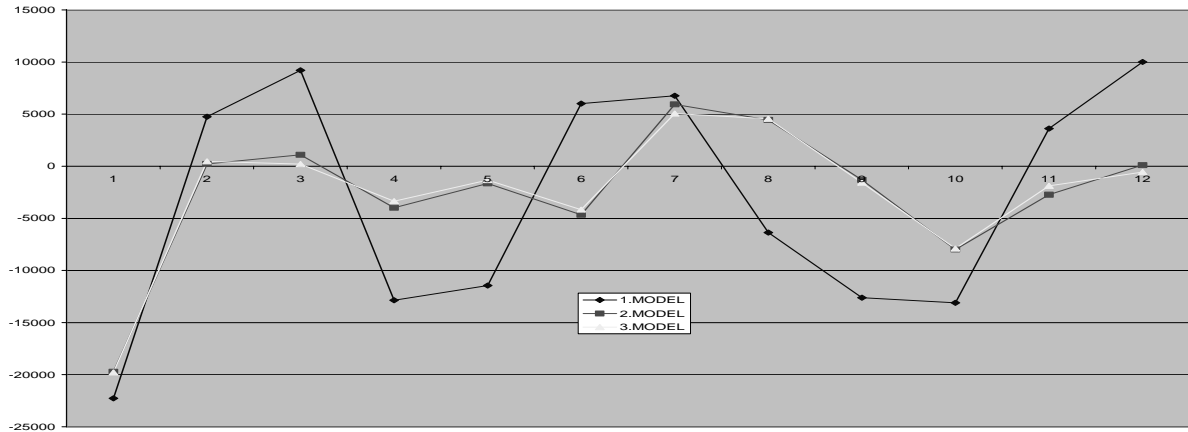
	R	A	L	MALİYET	BİLİLEN VE KESTİRİLEN MALİYET FARKLARI			FARKLARIN ORANSAL DEĞERLERİ		
					1.MODEL	2.MODEL	3.MODEL	1.MODEL	2.MODEL	3.MODEL
I. SINIF	550	160	1000	14808751	-24332	-22863	-20263	608.612	647.71	730.845
	900	160	500	14514813	20530.4	285.177	139.866	706.993	50897.6	103777
	1200	160	150	14307095	18156.9	11463.8	10468.1	787.971	1248.02	1366.73
	1600	160	1200	14095571	15215.8	29228.6	29625.5	926.378	482.252	475.791
	550	200	500	14764994	-6326.4	-3769.2	-4272.6	2333.87	3917.31	3455.74
	900	200	1200	14565175	-3633.5	-8711.6	-8342.3	4008.56	1671.93	1745.94
	1200	200	1000	14330162	27780.1	12224.8	12601.9	515.843	1172.22	1137.14
	550	300	1200	14813941	-35236	-17238	-17509	420.424	859.4	846.071
	1200	300	500	14309106	16924	2731.07	-278.71	845.49	5239.38	51341.4
	1600	300	150	14093553	-42595	-23942	-23851	330.871	588.654	590.893
	900	400	150	14492985	2566.73	-2987.6	-2337.9	5646.48	4851	6199.26
1600	400	500	14088984	-33141	-29731	-30536	425.118	473.89	461.382	
			RMS	23886.8	17123.9	16975.4				
II. SINIF	350	130	1000	12390477	-22270	-19714.1	-19789.2	511.866	578.2262	576.0329
	600	130	700	12280948	4756.479	228.902	480.1931	2375.386	49359.44	23529.02
	800	130	150	12233220	9219.154	1109.124	216.2952	1220.78	10147.24	52033.33
	1000	130	400	12153348	-12848.2	-3978.46	-3345.2	870.2472	2810.406	3342.418
	350	150	400	12422536	-11446.4	-1642.92	-1311.51	998.4613	6956.368	8714.216
	600	150	1000	12256568	6013.363	-4660.4	-4159.23	1875.164	2419.544	2711.09
	800	150	700	12194204	6774.761	5940.292	5075.777	1655.95	1888.571	2210.237
	1000	150	700	12123737	-6361.51	4457.025	4559.037	1753.33	2502.53	2446.534
	350	200	700	12398889	-12605.7	-1299.16	-1568.67	904.9042	8780.244	7271.724
	1000	200	150	12168018	-13110.7	-7979.94	-7892.52	853.8484	1402.839	1418.378
	600	250	400	12297353	3622.229	-2724.15	-1872.97	3123.371	4153.063	6040.438
800	250	1000	12163351	10015.93	115.0384	-556.064	1117.249	97274.36	20124.12	
			RMS	11054.5	6819.889	6690.903				
III. SINIF	200	100	900	6778116	-66631	-57960.5	-57255.3	75.98947	87.35702	88.43285
	500	100	400	6449817	18193.65	8548.653	6374.051	264.8184	563.5992	755.8796
	600	100	150	6418907	-29572.8	-14243.6	-13005.9	162.1398	336.636	368.6727
	200	150	400	6740351	-20977	1933.108	1613.846	240.0266	2604.637	3119.902
	350	150	800	6566566	11713.24	-9729.23	-8481.44	418.7763	504.1757	578.3462
	500	150	600	6436810	18241.39	12183.61	9647.557	263.5928	394.6526	498.3955
	350	200	400	6564254	18935.2	-4518	-3279.91	258.9621	1085.326	1495.008
	500	200	800	6422249	19844.93	1643.266	-307.934	241.7454	2919.443	15579.39
	600	200	400	6401753	-33868.5	-19585.1	-18513.1	141.1966	244.1708	258.3092
				RMS	30649.75	21829.89	21105.97			

1 nolu model ise diğer modellere göre daha kaba sonuçlar vermesine ve artık hatalarının normal dağılım özelliğinden bir miktar sapsmış olmasına rağmen; oldukça kolay uygulanabilen

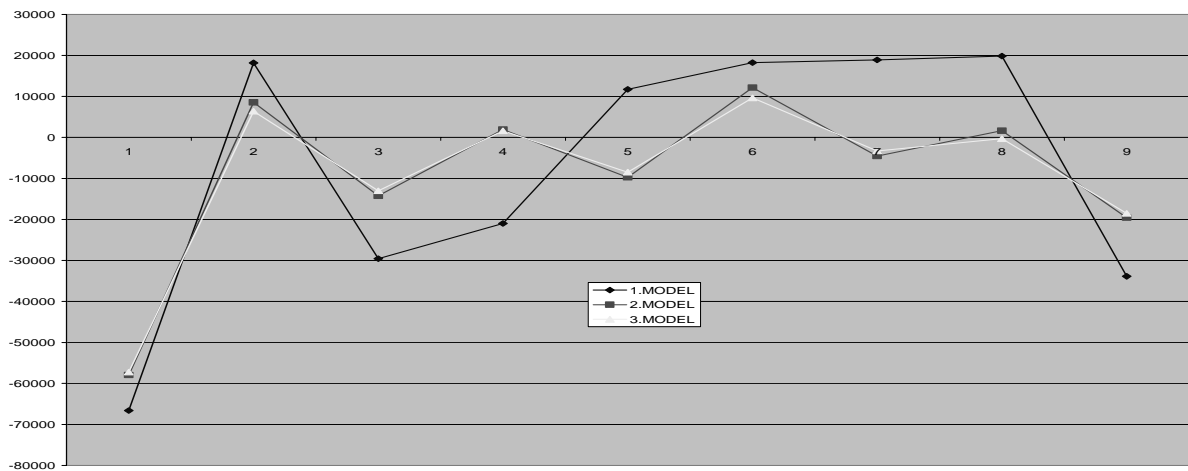
pratik bir modeldir. Bu modelle de yaklaşık olarak kestirim yapabilmek mümkün olmaktadır. Bağımsız veri grubu ile yapmış olduğumuz karşılaştırmalar da uyum değerleri ile model doğrulukları birbirine yakın sonuçlar sunmaktadır. Dolayısıyla, böyle bir veri grubu ve matematiksel model yardımıyla 10000-20000 ytl civarında bir doğruluk ile maliyet kestirimi yapmak mümkün görünmektedir.



Şekil 5.39 1.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin test edilmesi



Şekil 5.40 2.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin test edilmesi



Şekil 5.41 3.sınıf karayolu için oluşturulan modellerin test edilmesi

Oluşturulan modelin katsayılarının sadece çalışmada oluşturulan yol geçkileri ve arazi tipi için geçerli olduğu, yeni bir proje veya yol tasarımında kullanılamayacağı açıktır. Bununla birlikte, ortaya konulan yaklaşım ve kullanılan algoritmalar, özellikle yapım maliyeti göz önüne alındığında, proje elemanlarının en uygun değerlerinin seçilmesine olanak sağlayabileceklerdir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ülkemizde; sahip olunan çok kısıtlı imkânlarla, ihtiyaç duyulan karayolu yatırımlarının minimum maliyetle gerçekleştirilmesi istenir. Bunun için bir karayolu yatırımında; yapım, bakım-onarım, karayolu işletme, idari, taşıt işletme, kaza ve seyahat süresi gibi birçok bileşenden oluşan giderlerden bazıları göz ardı edilerek, karayolu yatırımlarında genellikle ilk yapılan yatırım giderleri dikkate alınmaktadır. Bu da genellikle hazırlanan birkaç yol geçkisi seçeneği arasından en uygun olanını seçerek gerçekleştirilmektedir. İlk yatırım giderlerini etkileyen en önemli etkenler, karayolu geçkilerini oluşturan ve karayolu geometrik standartlarına göre belirlenen proje elemanlarıdır. Bu sebeple yapılan bu çalışmada yol geçkilerini oluşturan karayolu proje elemanlarının ilk yatırım giderlerinde nasıl etkili oldukları incelenmiştir. Ancak proje elemanlarının yapım maliyetine etkilerini inceleyebilmek için öncelikle en uygun yol geçkilerinin belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla; birinci, ikinci ve üçüncü sınıf yol geçkileri için karayolu proje elemanlarının yapım maliyetine etkilerinin incelenebileceği en uygun yatay ve düşey kurp sayısına sahip geçkiler belirlenmiştir. Bu geçkiler belirlenirken yatay ve düşey kurp sayılarının yapım maliyeti üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapım maliyeti olarak; toprak işleri, sanat yapıları, etüt-plan-proje ve kamulaştırma maliyetlerinden oluşan altyapı maliyetleriyle, yol sınıfına bağlı olarak belirlenen tabaka maliyetlerinden oluşan üstyapı maliyetleri toplamı alınmıştır. Yatay ve düşey kurp sayılarının yapım maliyetiyle olan ilişkisiyle ilgili yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şöyledir:

- Yatay kurp sayısının sabit, düşey kurp sayısının sırasıyla; 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alınması halinde, düşey kurp sayısının artmasıyla yapım maliyetinin azalması arasında doğrusal ilişki sadece yatay kurp kullanılmaması halinde mümkün olmaktadır. Çünkü burada yapım maliyeti açısından önemli bir etken olan toprak işi düşey kurp sayısına bağlı olarak azalmaktadır. Buna karşılık, 1, 2, 3, 4 ve 5 yatay kurp sabit alındığı geçkilerde, düşey kurp sayısının sırasıyla artmasıyla maliyetin azalması arasında doğrusal bir ilişki yoktur.
- Düşey kurp sayısının sabit, yatay kurp sayısının sırasıyla; 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak alınması halinde, yatay kurp kullanılması yapım maliyetini azaltmaktadır, ancak doğrusal bir ilişki yoktur.
- Yatay ve düşey kurp sayılarının artmasıyla yapım maliyetinin azalması arasında doğrusal bir ilişki bulunmamasının sebebi; arazi yapısına, some noktalarının yerlerine ve proje standartlarının sağlanma zorunluluğuna bağlıdır.

- Minimum maliyetleri genelde, yatay kurp ve düşey kurp sayısına bağlı olarak; 0-5, 1-5, 1-4, 2-5 olan geçki seçenekleri vermektedir. Burada etken, yatay kurp sayısının az olması nedeniyle, karayolu uzunluğunun kısalması böylece, kamulaştırma ve üstyapı maliyetlerinin düşmesiyle toplam yapım maliyetinin azalması ve ayrıca düşey kurp sayısının fazla olmasıyla da, kırmızı kotlarla siyah kotlar arasındaki farkın az olması, böylece hacim değerlerinin düşmesi ve bunun toprak işi maliyetini dolayısıyla toplam yapım maliyetini azaltmasıdır.

Proje elemanlarının yapım maliyetine etkilerinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmada, bir önceki çalışmada elde edilen geçki seçenekleri içinden, birinci sınıf karayolu için; 3 yatay-3 düşey, ikinci sınıf karayolu için; 4 yatay-4 düşey, üçüncü sınıf karayolu için 5 yatay-5 düşey kurplu geçki seçenekleri seçilerek proje elemanlarının etkisi bu geçkiler üzerinde araştırılmıştır. Bu geçkilerin seçilmesinin sebebi proje standartları ve bunların incelenme aralığının dikkate alınmasıdır. Yatay some noktalarının yerleri belirlenirken, güvenlik açısından hiçbir zaman uzun aliymanların tercih edilmemesi sebebiyle, proje hızına bağlı olarak olması gereken maksimum aliyman uzunlukları karayolları geometrik standartları tablosundan birinci sınıf karayolu için 2000.00m, ikinci sınıf karayolu için 1600.00m ve üçüncü sınıf karayolu için 1200.00m alınarak belirlenmiştir. Düşey kurp sayıları belirlenirken, yatay kurp sayısı ile aynı olan geçki seçenekleri seçilmiş, bu seçeneklerde yatay ve düşey kurpların someleri birbirleriyle karşılaştırıldığı için daha büyük parametre değerlerinin denenmesi sağlanmıştır.

Proje elemanları, birinci, ikinci ve üçüncü sınıf yollar için sırasıyla, 100km/s, 80km/s ve 60km/s olan proje hızlarına bağlı olarak Karayolu Geometrik Standartları tablosundan minimum değerleri seçilerek belirlenmiştir. Proje standartlarına bağlı olarak, yatay kurp yarıçapı (R), klotoid parametresi(A) ve minimum açık ve kapalı düşey kurp katsayılarına bağlı olarak belirlenen düşey kurp uzunluğunun(L) daha sonra maksimum değerleri de belirlenerek, minimum değerlerden başlayıp maksimum değerlere kadar bu proje elemanlarının alabileceği değerlerin belirli oranlarda arttırılmalarıyla bunların; toplam yarma, toplam dolgu, yığışım hacim, yol uzunluğu ve bunlara bağlı olarak karayolu yapım maliyetlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yapım maliyetinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan geçki seçeneklerinde, maksimum eğim, minimum eğim, maksimum dever,

minimum dever, platform, şerit ve banket genişlikleri gibi proje elemanları da dikkate alınmıştır. Proje elemanları ile yapım maliyeti arasındaki ilişkiler incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir:

- L proje elemanının minimum değerinden maksimum değerine yükseltilmesinin, birinci ve üçüncü sınıf karayolunda yapım maliyetini hem arttırıcı hem de azaltıcı, ikinci sınıf karayolunda yapım maliyetini azaltıcı etkisi vardır.
- L düşey kurp uzunluğunun birinci, ikinci ve üçüncü sınıf yollarda toplam üstyapı maliyeti ve yol uzunluğu üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.
- A proje elemanının minimum değerinden maksimum değerine yükseltilmesinin, bütün yol sınıflarında yapım maliyetini azaltıcı yönde etkisi vardır. A proje elemanı sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü sınıf karayollarında yapım maliyetini; %0.01-0.59, %0.01-0.21, %0.02-1.03 arasında, yol uzunluğunu; %0.01-0.24, %0.01-0.19, %0.02-1.03 arasında azaltmaktadır.
- Birinci, ikinci ve üçüncü sınıf yollarda, A klotoid parametresinin R yatay kurp yarıçapına bağımlı olduğu için, toplam altyapı maliyeti, toplam üstyapı maliyeti, yol uzunluğu ve toplam yapım maliyeti üzerinde azaltıcı yöndeki etkisi R yatay kurp yarıçapının artmasıyla azalmaktadır.
- R proje elemanının minimum değerinden maksimum değerine yükseltilmesinin, bütün yol sınıflarında yapım maliyetini azaltıcı etkisi vardır. R proje elemanı sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü sınıf karayollarında yapım maliyetini; %4.14-5.15, %2.00-2.43, %4.18-6.10 arasında, yol uzunluğunu; %2.68-2.90, %2.85-3.03, %7.20-7.91 arasında azaltmaktadır.
- Karayolu standardının düşmesine ve yatay kurp sayısının artmasına bağlı olarak, R yatay kurp yarıçapının artmasıyla, yol uzunluğu ve toplam üstyapı maliyeti üzerindeki azaltıcı etkisi de artmaktadır.
- Burada elde edilen sonuçlara göre yatay kurp yarıçapı, klotoid parametresi ve düşey kurp uzunluğu proje elemanları karşılaştırıldığında karayolu yapım maliyetinde en etkili proje elemanı yatay kurp yarıçapıdır.
- Yatay kurp yarıçapının arttırılmasıyla geçki sıfır poligonundan uzaklaşmasına rağmen, yol uzunluğunda ve dolayısıyla üstyapı maliyetinde oluşan azalma sebebiyle yapım maliyeti de azalmaktadır.
- Yapım maliyetini düşürmek için, uygulamada görüldüğü gibi yapım maliyetinde önemli bir etken olan yol uzunluğunu azaltacak proje elemanlarını tercih etmek gerekmektedir.

- Birinci sınıf karayolu geçkisi için minimum yapım maliyetini; $R=1600m$, $A=400$ ve $L=500m$ değerindeki proje elemanları sağlamaktadır.
- İkinci sınıf karayolu geçkisi için minimum yapım maliyetini; $R=1000m$, $A=250$ ve $L=1000m$ değerindeki proje elemanları vermektedir.
- Üçüncü sınıf karayolu geçkisi için, minimum yapım maliyetini; $R=600$, $A=200$ ve $L=800m$ değerindeki proje elemanları vermektedir.
- Buradaki uygulamada farklı boyuna eğim değerleri denenerek bunlar içinden yapım maliyetini minimum yapan boyuna eğim değerleri belirlenip, bu değerler kullanılmıştır. Boyuna eğim değerlerinin artırılması ya da azaltılması yönünde yapılacak değişikliklerin yapım maliyeti üzerinde oldukça etkili olduğu en uygun boyuna eğimin belirlenmesi sırasında görülmüştür.
- Yapılan değerlendirmeler sonucunda, üç farklı yol sınıfı için karayolu yapım maliyetinin, R , A ve L proje elemanlarının fonksiyonu olacak şekilde aşağıdaki modeller (doğrusal, üssel, 2.derece polinomal) elde edilmiştir.

$$M_{11} = 15114944.907572 - 649.801155.R - 102.663842.A + 43.291413.L$$

$$M_{12} = 14964582.618 - 818242.380.R^{378906.325} + 344699.636.e^{-323122.213A} - 43333.890.e^{36568.325L}$$

$$M_{13} = 15196672.323 - 830.038.R + 0.084.R^2 + 31.3168.A - 0.226.A^2 - 32.150.L + 0.056.L^2$$

$$M_{21} = 12595148.348 - 418.019.R - 56.099.A - 73.341.L$$

$$M_{22} = 11650375.039 - 518306.754.R^{409019.488} + 1062682.213.e^{-936137.413A} - 35038.908.e^{-3424.046L}$$

$$M_{23} = 12622107.424 - 604.687.R + 0.138.R^2 + 165.070.A - 0.600.A^2 - 27.447.L - 0.040.L^2$$

$$M_{31} = 6926390.670 - 861.450.R - 140.078.A - 29.789.L$$

$$M_{32} = 2510231.462 - 892580.995.R^{2302241} + 1720234.485.e^{-5546931A} + 4624523.960.e^{-28098.L}$$

$$M_{33} = 7012886.529 - 1658.168.R + 0.996.R^2 + 570.072.A - 2.460.A^2 - 6.334.L - 0.031.L^2$$

- Modelsel uygulama ve analizlerden sonra, özellikle artık hataların büyüklükleri, dağılımları ve ortalama hatalar irdelendiğinde en uygun sonuçlar 3 nolu model yani 7 katsayılı polinomal regresyon çözümü sonrasında elde edilmiştir.
- 2 nolu model (7 katsayılı üssel fonksiyon çözümü) ise 3 nolu modele oldukça yakın sonuçlar sunabilmektedir. Uygulamada 2 nolu modelin doğrusal olmayan bir eşitlik olması ve hesaplama öncesinde katsayıların yaklaşık değerlerini gerektirmesi önemli bir dezavantaj gibi görünse de, çalışmada bu problem 3-4 iterasyonla çözüm yapılarak ortadan kaldırılmıştır.

- 1 nolu model (4 katsayılı doğrusal çözüm) ise diğer modellere göre daha kaba sonuçlar vermesine ve artık hatalarının normal dağılım özelliğinden bir miktar sapsmiş olmasına rağmen; oldukça kolay uygulanabilen pratik bir modeldir. Bu modelle de yaklaşık olarak kestirim yapabilmek mümkün olmaktadır.
- Bağımsız veri grubu ile yapılan karşılaştırmalarda, uyuşum değerleri ile model doğrulukları birbirine yakın sonuçlar sunmaktadır. Dolayısıyla, böyle bir veri grubu ve matematiksel model yardımıyla 10000-20000 YTL civarında bir doğruluk ile maliyet kestirimi yapmak mümkün görünmektedir.
- Oluşturulan modelin katsayılarının sadece çalışmada oluşturulan yol geçkileri ve arazi tipi için geçerli olduğu, yeni bir proje veya yol tasarımında kullanılamayacağı açıktır. Bununla birlikte, ortaya konulan yaklaşım ve kullanılan algoritmalar, özellikle yapım maliyeti göz önüne alındığında, proje elemanlarının en uygun değerlerinin seçilmesine olanak sağlayabileceklerdir.
- Karayolu projelerinde yatay ve düşey geçkiler belirlenirken sayısız seçenek vardır. Bu seçenekler içerisinde en uygun olanının belirlenmesinde projeyi yapan kişi veya kurumun bilgi ve tecrübeleri çok önemlidir. Bu sebeple burada belirlenmiş olan yapım maliyetini minimum yapan parametreler, başka kişi veya kurumlar tarafından aynı projenin farklı bir şekilde yorumlanmasıyla değişebilir. Bu sebeple yol projeleri sonu açık olan projelerdir.
- Ülkemizde yatırım imkanlarının çok kısıtlı olmasıyla, bundan olumsuz olarak etkilenen ulaşım sektörünün kalkınması için, hazırlanan karayolu projelerinde minimum maliyeti sağlayacak geçki seçeneğinin belirlenmesi çok önemlidir. Genellikle ilk yatırım maliyetine göre belirlenen yol geçkisinin, aslında bakım-onarım, işletme, idari, kaza ve seyahat süresi gibi diğer faktörler de dikkate alınarak çok yönlü araştırılması daha faydalıdır. Ayrıca, yolu kullanacakların ve yolun geçeceği bölgenin maddi-manevi kayıp ya da kazançları da dikkate alınmalıdır. Ancak bu şekilde hızlı, güvenli, konforlu, ekonomik ve doğal çevreye uygun bir ulaşım ağı oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- Açlar, A., (1997), Teknik Altyapı Planlaması, Yüksek Lisans Ders Notları, YTÜ, İstanbul.
- Arbey, A., (2003), Yol ve Projesi Ders Notları, YTÜ, İstanbul.
- Bağrgan, N., (2001), “ Karayollarında Ekonomik Kapasitenin Modellenmesi”, 5. Ulaştırma Kongresi, 30-31 Mayıs-1 Haziran . 2001, İstanbul.
- Bielli, M., Caramia, M., Carotenuto, P., (2002), “ Genetic Algorithms in Bus Network Optimization” Transportation Research Part C10:19-34.
- Bodenhofer, U., (2001/2002) “Genetic Algorithms: Theory and Applications”, Lecture notes Second Edition, Austria.
- Braysy, O., (2001), “Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows”.
- Busa, B., Handbook of Genetic Algorithms.
- Catbagan, J. ve L., Regidor, J.R.F., “Application of Interactive and Graphic Systems for Highway Location and Route Selection”.
- Chang, T.H., (2001), “Effect of Vehicles’ Suspension on Highway Horizontal Curve Design”, Journal of Transportation Engineering: 89-91.
- Chien, S. ve Schonfeld, P., (2001), “Optimal Work Zone Lengths for Four-lane Highways”, Journal of Transportation Engineering: 124-131
- Çakır, T., (1999), Türkiye’de Kamu Ekonomisinde Üretilen Karayolları Hizmetlerinde Fayda-Maliyet Analizi Tekniğinin Uygulanabilirliği, T.C.Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Daganzo, C.F., (1997), Fundamentals of Transportation and Traffic Operations, Pergamon, Netherlands, Berkeley.
- DeGarmo, E.P. ve Canada, J.R., (1973), Engineering Economy, Macmillan, New York.
- Easa, S.M. ve Hassan, Y.,(2000), “Development of Transitioned Vertical Curve II Sight Distance”, Transportation Research, Part A34.
- Easa, S.M. ve Hassan, Y.,(2000), “Development of Transitioned Vertical Curve I Properties”, Transportation Research, Part A(34),
- Erdem, A., (2006) “ Regresyon Analizi” [www. Mis.boun.edu.tr/erdem/ibs515/Regression.doc](http://www.Mis.boun.edu.tr/erdem/ibs515/Regression.doc) 2006
- Erturan, G., (1995), Yol ve Projesi Ders Notları, YTÜ, İstanbul.
- Günel A., (2003) “Regresyon Denkleminin Başarısını Ölçmede Kullanılan Belirleme Katsayısı Ve Kritiği” Dogus Üniversitesi Dergisi, 4 (2) 2003, 133-140

Gipps, P.G., Gu, K.Q., Held, A. ve Barnett, G., (2001), “New Technologies for transport route selection”, Transportation Research, PartC 9.

Haldenbilen, S., Baykan, N. Ve Murat, Y.Ş., (2001), “Sürdürülebilir Gelişme ve Ulaşım Politikaları”, 5. Ulaştırma Kongresi, 30-31 Mayıs-1 Haziran . 2001, İstanbul.

Hall, R.W. ve Çalışkan, C., (1999), “Design and Evaluation of an Automated Highway System with Optimized Lane Assignment”, Transportation Research Part C:1-15.

Harwood, D.W., Hummer, J.D. ve Schonfeld, P., “Operational and Safety Effects of Highway Geometrics at the turn of the Millennium and Beyond”, Committee on Operational Effects of Geometrics.

Hassan, Y., Gibreel, G. Ve Easa, S.M., (2000), “Evaluation of Highway Consistency and Safety: Practical Application”, Journal of Transportation Engineering:193-2001.

Heggie, I.G., (1972), Transport Engineering Economics, McGraw-Hill, England.

Hickerson, T.F., (1953), Route Location and Design, McGraw-Hill, United States of America.

Highway 2000 Project Preliminary Design Phase, Development Bank of Jamaica Limited, July 2001.

Highway Design Manuel(Includes March 2000 Revision-Errata), Connecticut Department of Transportation.

İyınam, A.F., (1997), Karayolu Güvenliği İle Yol Geometrik Standartları Arasındaki İlişkilerin Analizi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.

Jha, M.K. ve McCall, C., (2001), “Implementing Visualization and GIS Techniques in Highway Projects”, Transportation Researc Board, 80th Annual Meeting, January 7-11, Washington D.C.

Jha, M.K. ve Schonfeld, P., (2001), “Considering Maintability in Highay Alignment Optimization”, Transportation Researc Board, 80th Annual Meeting, January 7-11, Washington,D.C.

Jha, M.K., (2001), “Geographic Information Systems and artificial Intelligence Integration in Transpotation: An Overview”, Proceedings of the joint meeting of the 5th Worl Multiconference on Systemics, Cyberretics and Informatics and 7th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis.

Jha, M.K., McCall, C. ve Schonfeld, P., (2001), “Using GIS, Genetic Algorithms and Visualization in Highway Development”, Computer-Aided Civil and Infratructure Engineering:399-414.

Jong, C.J., Jha, M.K., Schonfeld, P., (2000), “Preliminary Highway Design with Genetic Algorithms and Geographic Information System”, Infrastructure Engineering, Oxford.

Jong, J.C. ve Schonfeld, P., (2001), “An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments”, Transportation Research Part B

Jong, J.C. ve Schonfeld, P., (2003), "A Genetic Algorithm for Optimizing Vertical Alignments", Journal of Transportation Engineering.

Jong, J.C., Jha, M.K. ve Schonfeld, P., (2003), "An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments", Journal of Transportation Engineering, Part B: 107-128

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:261-271

Kalamaras, G.S., Brino, L., Carrieri, G., Plino, C. ve Grasso, P., (2001), "Application of Multicriteria Analysis to Select the Best Highway alignment", Tunneling and underground space technology 15.

KGM, (1993), "Karayolu Ekonomik Analiz Çizelgeleri" KGM, Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ekonomik Analiz Şefliği Yayını Ankara.

KGM(2003), "Karayolu Projelerinin Ekonomik Analizi ve 2002 Yılı Ekonomik Etüt Tabloları" Planlama Şubesi Müdürlüğü, Ekonomik Analiz Şefliği Yayını Ankara.

KGM, (2004), Karayolları Tasarım Rehberi

Kim, E., Hewings, G.J.D., Hong, C., (2002), "An application of Integrated Transport Network-Multiregional CGE Model I: A frame Work for Economic Analysis of Highway Project, Real02-T-12, October.

Kim, E., Jha, M.K. ve Son, B., (2003), "Stepwise Highway Alignment Optimization Using Genetic Algorithms", Annual Meeting of Transportation Research Board:03-4158.

Kim, E., Jha, M.K., Lovell, D.J. ve Schonfeld, P., (2003), "Intersection Modeling for Highway Alignment Optimization", Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering.

Kiper, T., (2002), Karayolu Projesi Temel Bilgileri, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara.

Kiyota, M., Vandebona, U., Tanoue, H., (1999), "Multistage Optimization of Reconstruction Sequence of Highways", Journal of Transportation Engineering:456-462.

Koç, İ., (1995), Ölçme Bilgisinde Bazı Konular ve Sayısal Uygulamalar I, İstanbul.

Koç, İ., (1996), Ölçme Bilgisinde Bazı Konular ve Sayısal Uygulamalar II, İstanbul.

Koç, İ., (1998), Ölçme Bilgisi I, İstanbul.

Kutner, M.H., vd. "Applied Linear Regression Models" International Edition. McGraw-Hill/Irwin. Singapore. 2004.

Lee, Y. Ve Cheng, J.F., (2001), "Optimizing Highway Grades to Minimize Cost and Maintain Traffic Speed, Journal of Transportation Engineering:261-271

Levinson, D.M. ve Gillen, D., (1998), "The Full Cost of Intercity Highway Transportation", *Journal of Transportation Engineering*:207-223.

Liatsis, P. ve Tawfik, H.M.,(1999), "Two-dimensional road shape optimisation using genetic algorithms", *Mathematics and computers in simulation* 51.

Mendenhall, W., ve Sincich, T., (2003) "A Second Course in Statistics Regression Analysis" Sixth Edition Pearson Education, Inc. USA. 2003

Noland, R.B.,(2001), "Relationship between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel", *Transportation Research Part A*:47-72.

Oregon Highway Cost Allocation Study, (2001), Volume II, Issue papers.

Özen, S., Koldemir, B., Bak, O.A. ve Paksoy, A., (2001), "Ulaştırma Sektörünün Politika Belirleme, Planlama Sorunları ve Genel Yönetimi", 5. Ulaştırma Kongresi, 30-31 Mayıs-1 Haziran . 2001, İstanbul.

Şahinler, S., (2000), "En Küçük Kareler Yöntemi İle Doğrusal Regresyon Modeli Oluşturmanın Temel Prensipleri", *M.K.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (1-2): 57-73, 2000

Schaffner, U. ve Jimba, K., (2000), "Environmental Codes of Practice Highway and Roads", Thimphu.

Schonfeld, P. Ve Chien, S., (1999), "Optimal Work Zone Lengths for Two-Lane Highways", *Journal of Transportation Engineering*:21-30.

Seber, G.A.F., ve Lee, A.J., (2003) "Linear Regression Analysis" A John Wiley & Sons Publication Hoboken, New Jersey. 2003.

Simcoe Area Transportation Network Needs Assassmen, Executive Summary, June, 2002.

Sonuç, T., (1983), *Karayolu Tekniği Cilt I*.

Sonuç, T., (1983), *Karayolu Tekniği Cilt II*.

Sütaş, İ. ve Öztaş, G., (1983), *Karayolu İnşaatında Uygulama ve Projelendirme*, İTÜ, İstanbul.

Tezcan, H.O. ve Yayla, N., (2001), "Yol Güvenliğinde Mühendislik Denetimi", 5. Ulaştırma Kongresi, 30-31 Mayıs-1 Haziran 2001, İstanbul.

Topbaş, A.,(1999), "Teknik Altyapı Projelerinin Ölçme Tekniği Yönüyle İncelenmesi", YTÜ, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Umar, F. ve Yayla, N., (1994), *Yol İnşaatı*, İTÜ İnşaat Fakültesi.

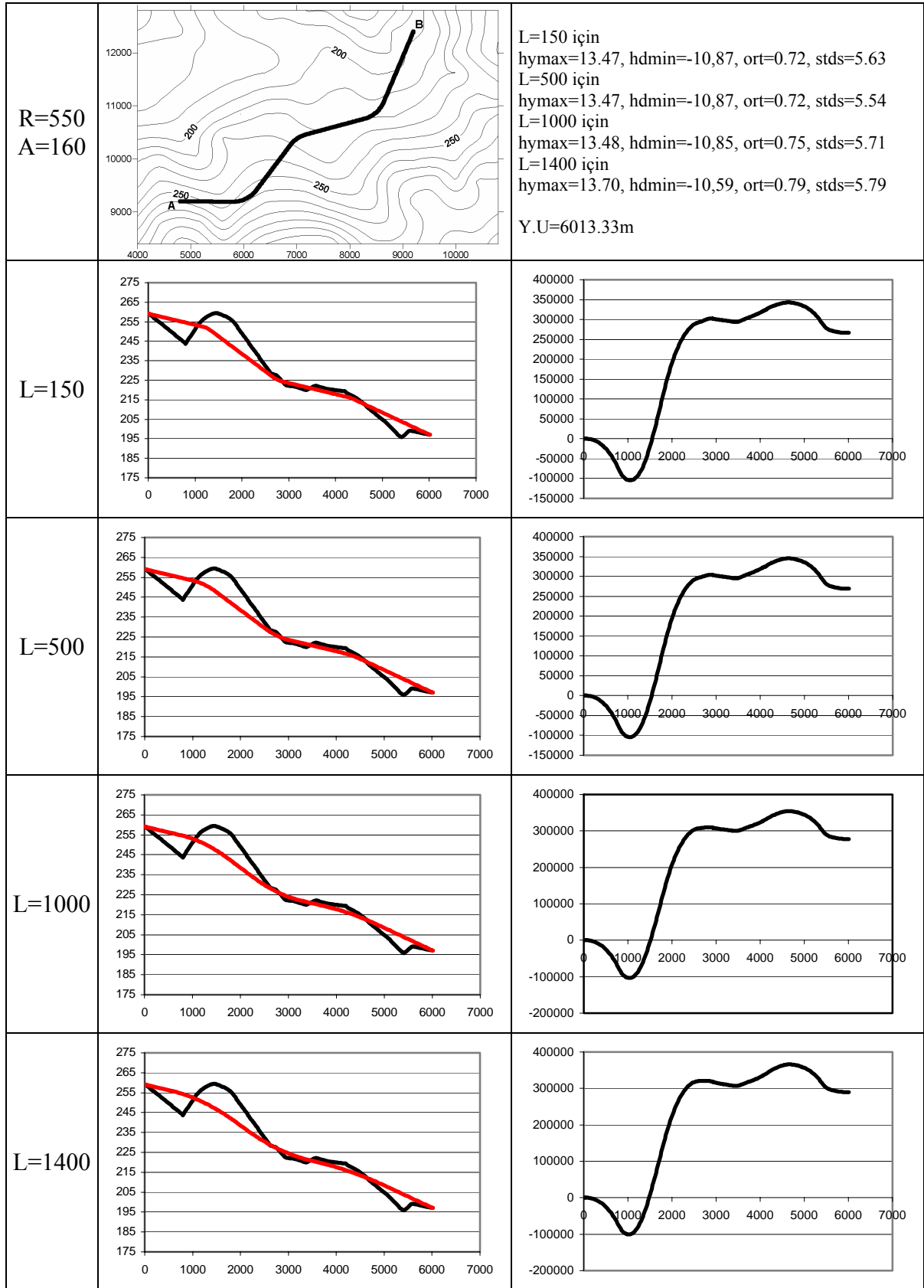
Ünver, M., (1971), *Trafik Hacimleri İle Bağıntılı Olarak Karayolu Yatırımlarının Optimum Araştırması*, İzmir.

Winfrey, R. ve Dale, C., (1974), Karayolu Mühendisliği Ekonomisi, KGM Matbaası, Ankara.

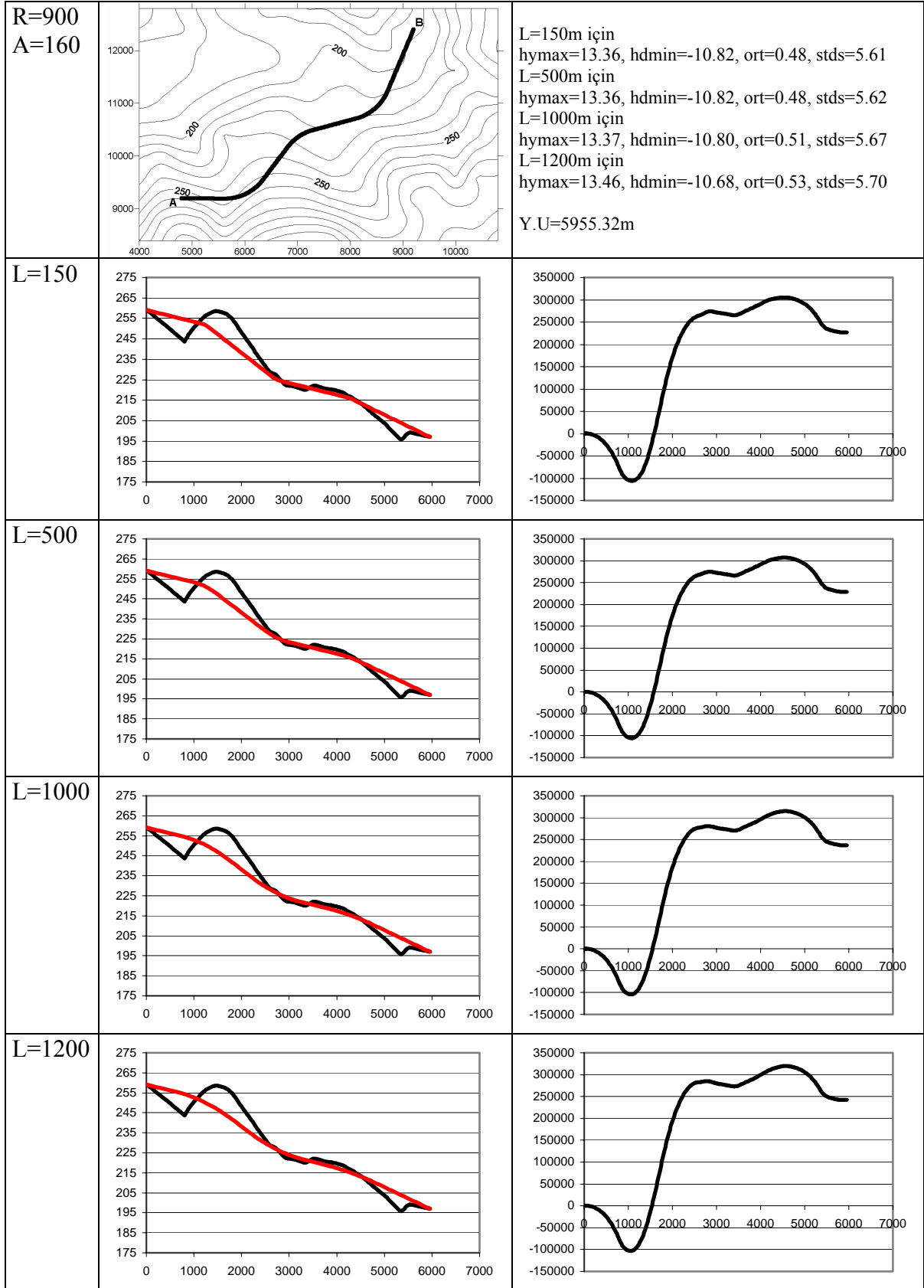
İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.supelec-rennes.fr/rennes/si/equipe/lme/
- [2] www.engr.umd.edu/~mjha/papers/wctr01_4405.pdf
- [3] www.worldbank.org/transport/roads/rpl_docs/apdgent.pdf
- [4] www.cee.hw.a.uk/~gus/bioinf/biopapers/koza95survey.pdf
- [5] gulliver.trb.org/publications/millenniu/00082.pdf
- [6] www.routesmart.com/index.asp?action=cs_technical_support
- [7] www.glue.umd.edu/~mjha/dis/jha_d_c7.pdf
- [8] www.glue.umd.edu/~mjha/dis/jha_d_c3.pdf
- [9] Koti.re.kr/project/coop.nsf/..Body/M2/trb03.pdf?openElement
- [10] www.glue.umd.edu/~mjha/dis/jha_d_c4.pdf
- [11] Geog.leeds.ac.uk/courses/postgrad/geog50U/unit6/Geog5061Munit6.pdf

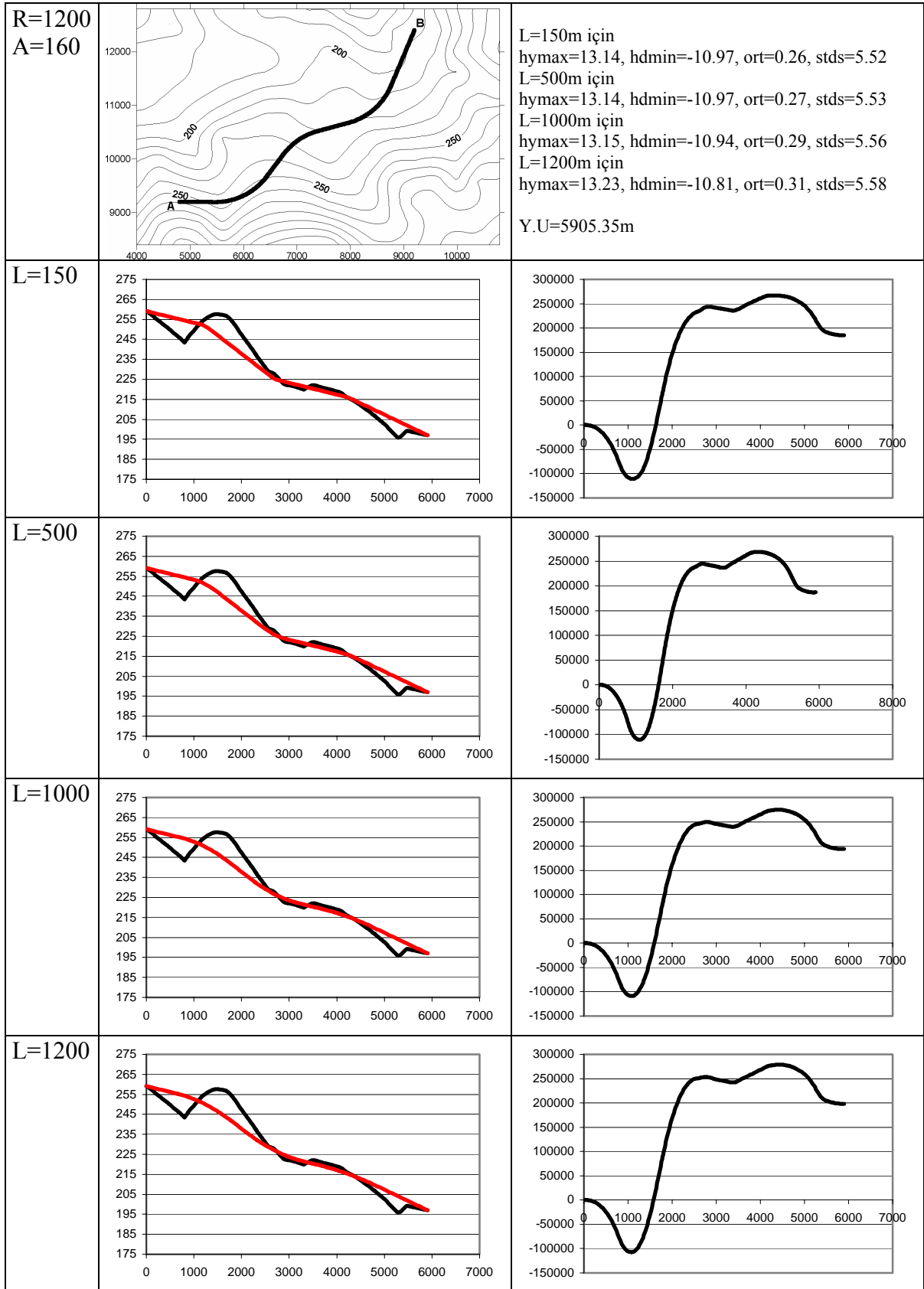
Ek 1 Birinci Sınıf Karayolu Geçkileri



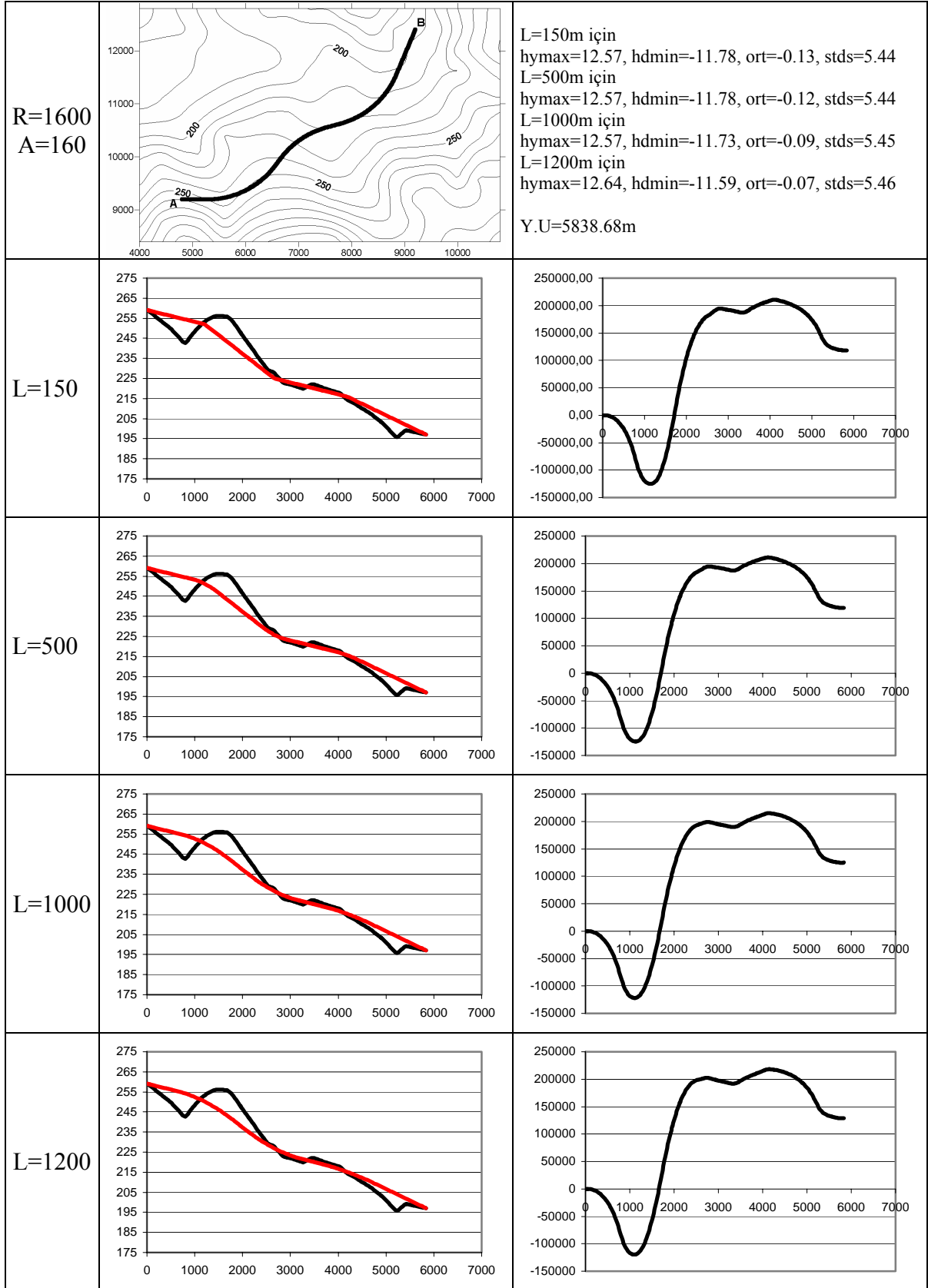
Şekil Ek 1.1 R=550 ve A=160 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



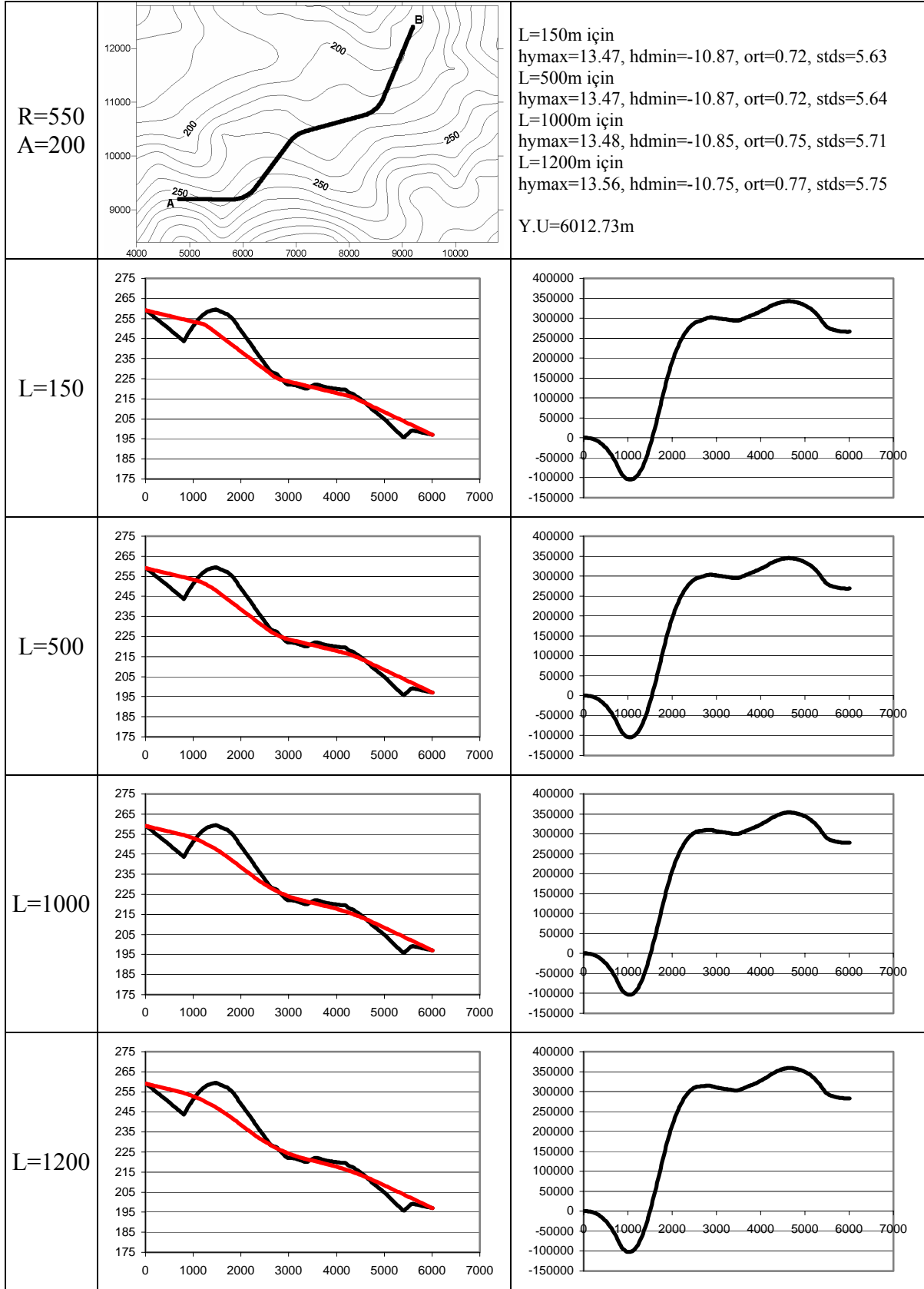
Şekil Ek 1.2 R=900 ve A=160 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



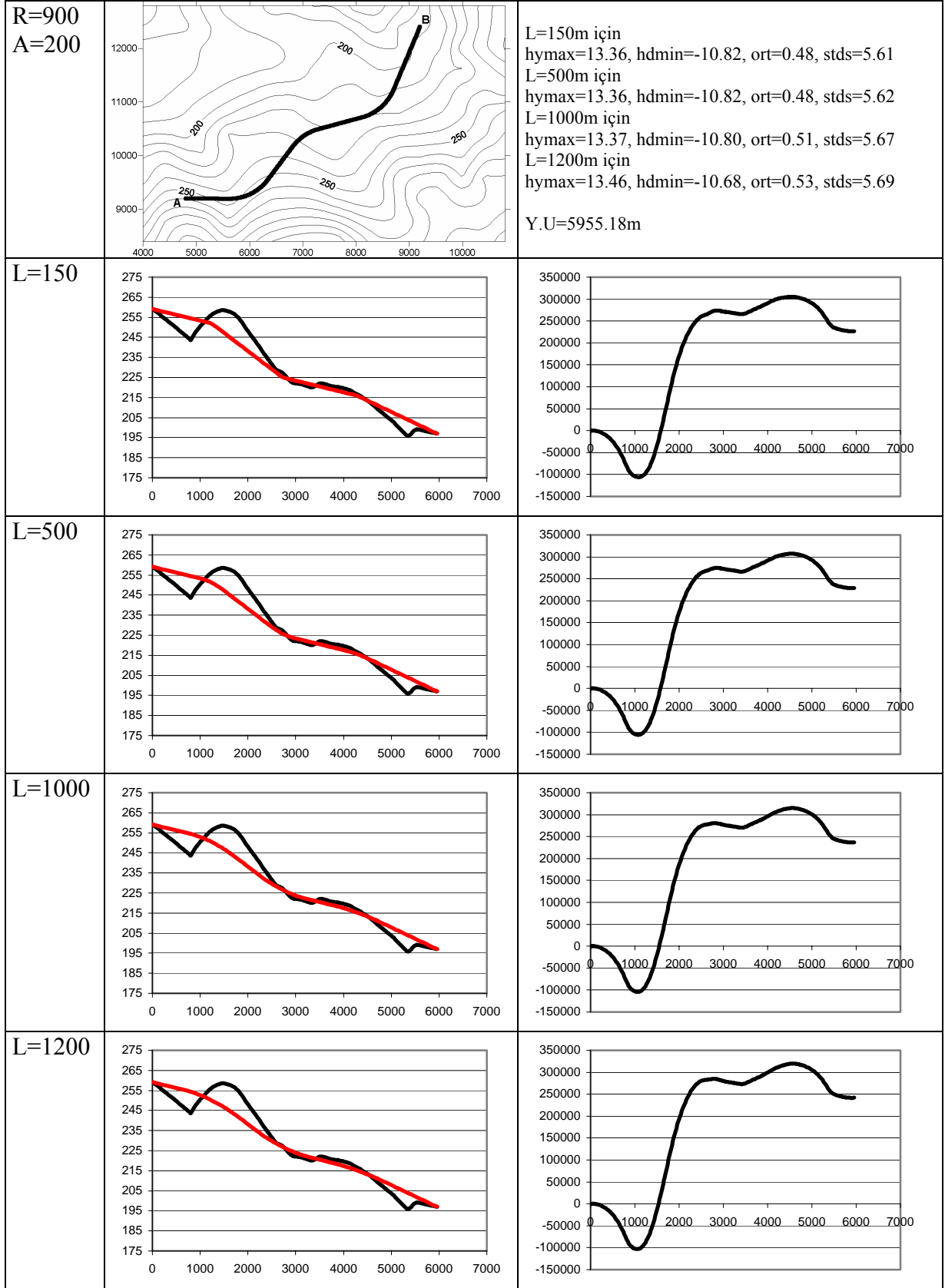
Şekil Ek 1.3 R=1200 ve A=160 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



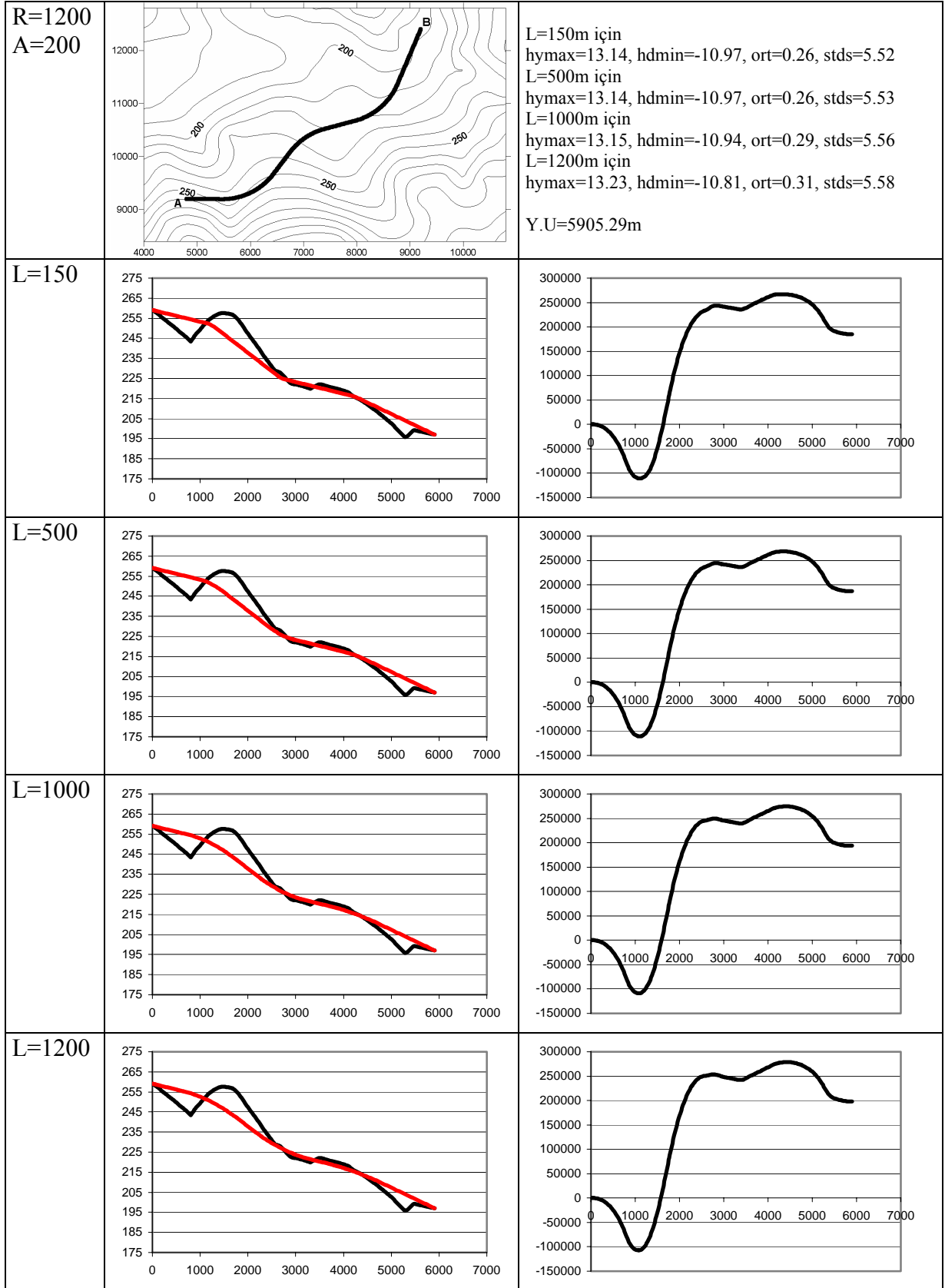
Şekil Ek 1.4 R=1600 ve A=160 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



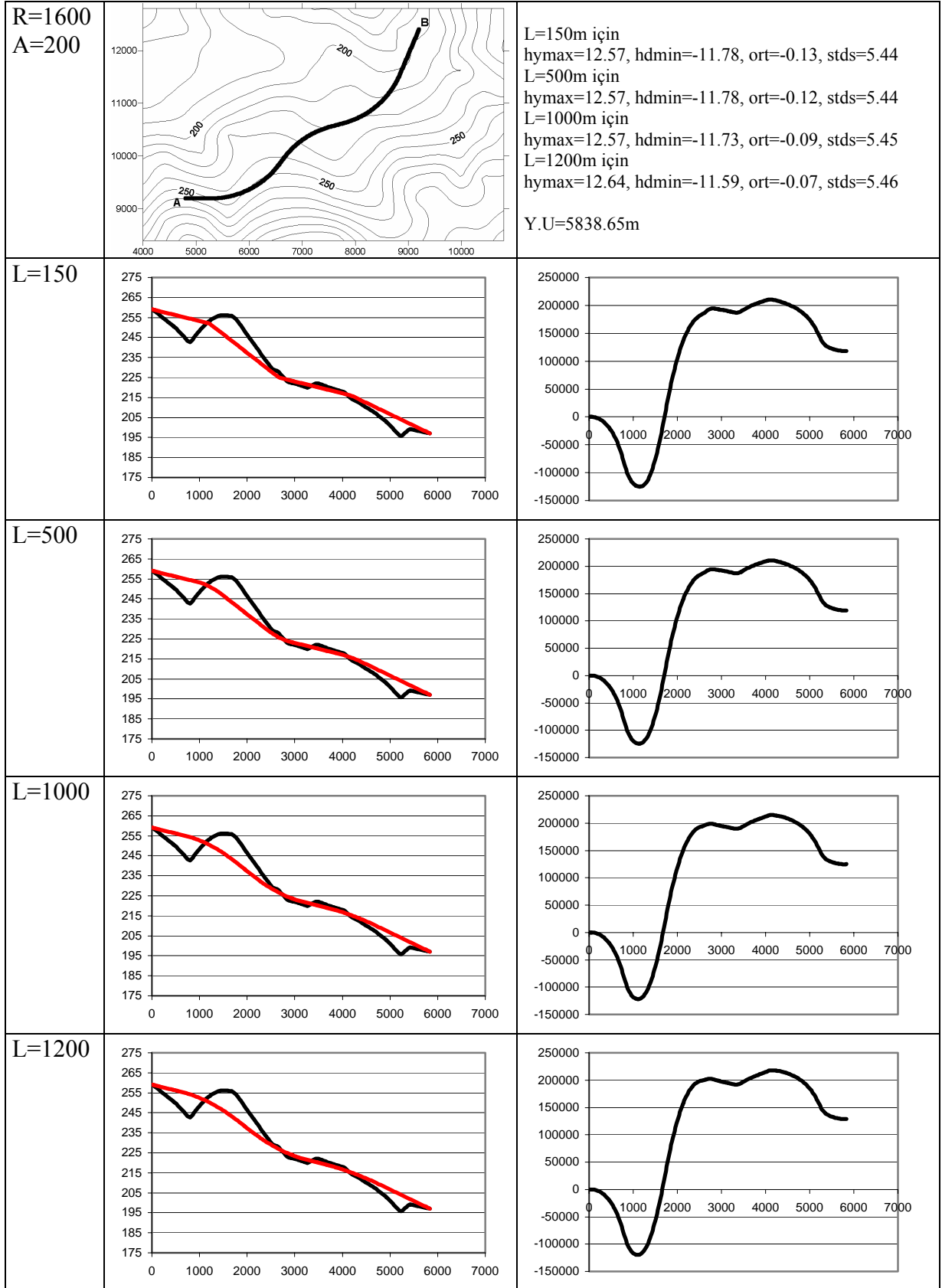
Şekil Ek 1.5 R=550 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



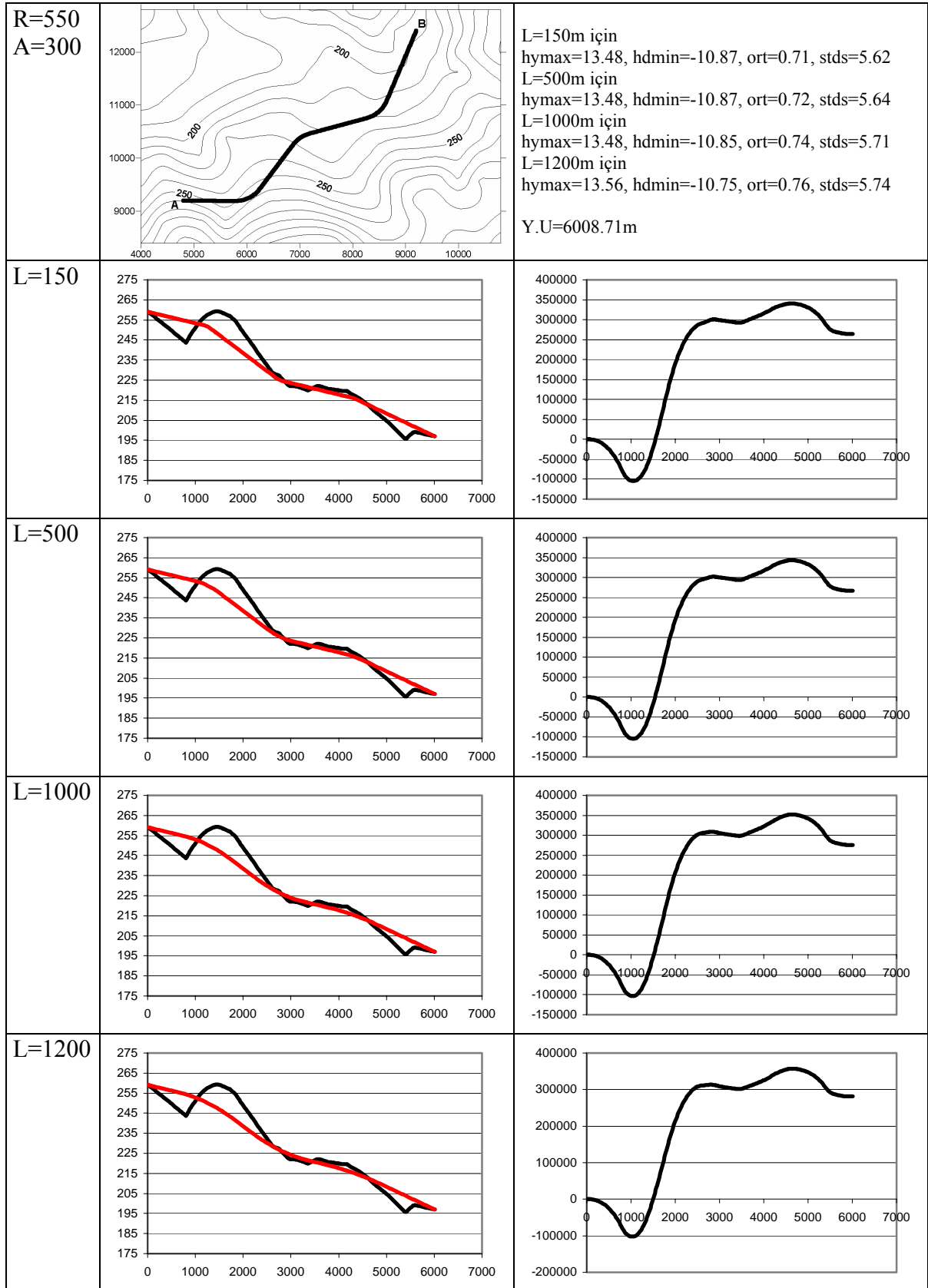
Şekil Ek 1.6 R=900 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



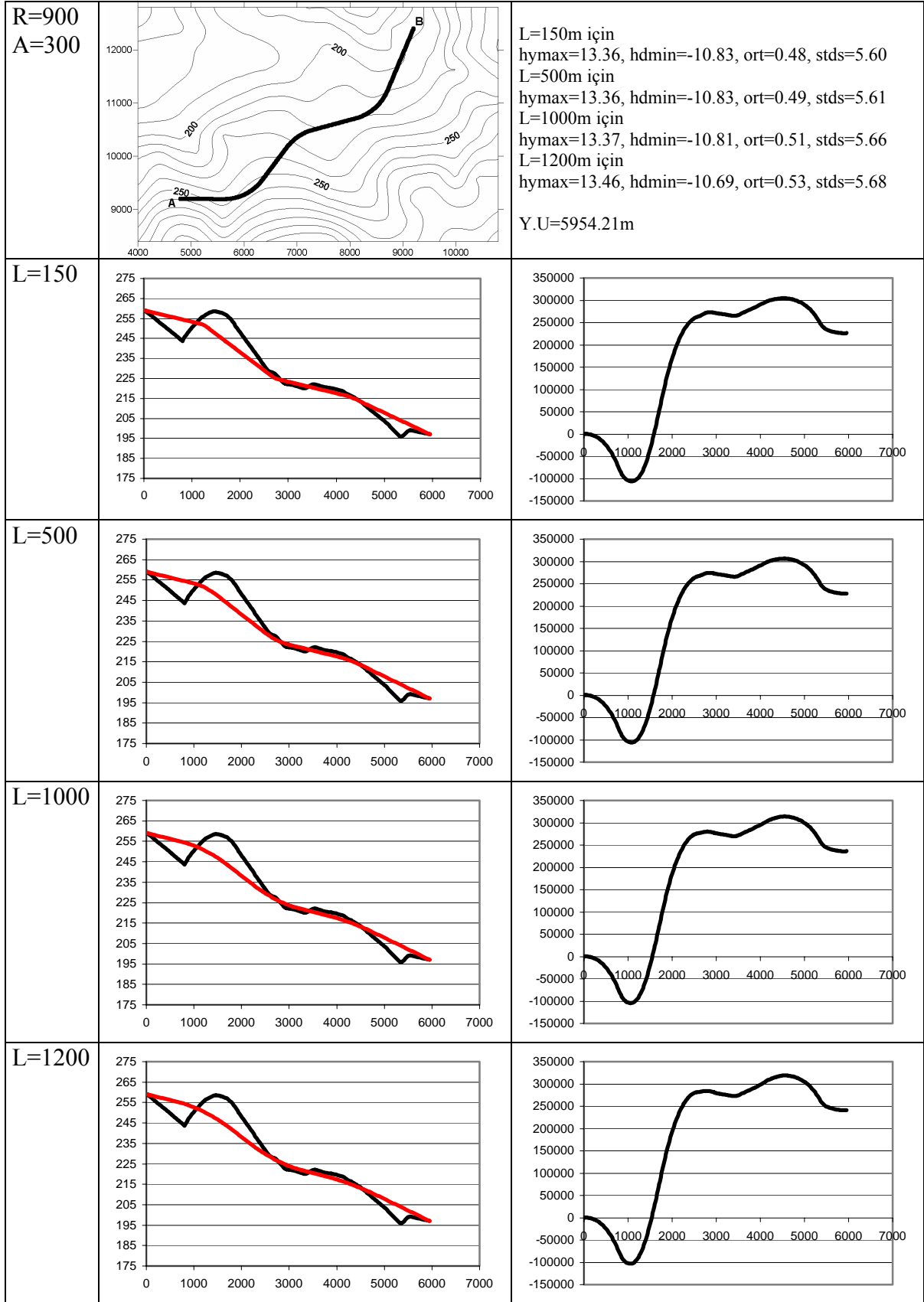
Şekil Ek 1.7 R=1200 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



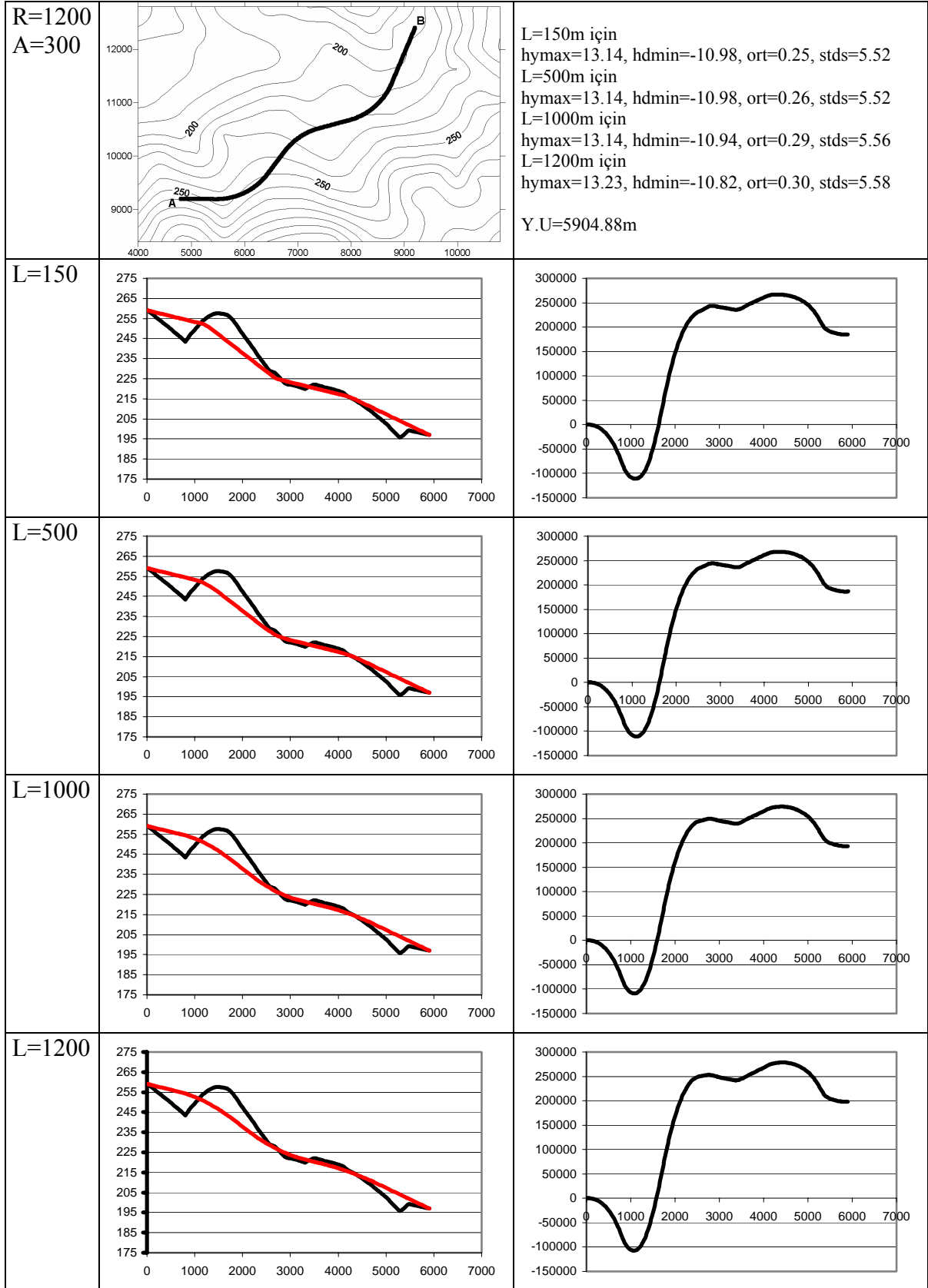
Şekil Ek 1.8 R=1600 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



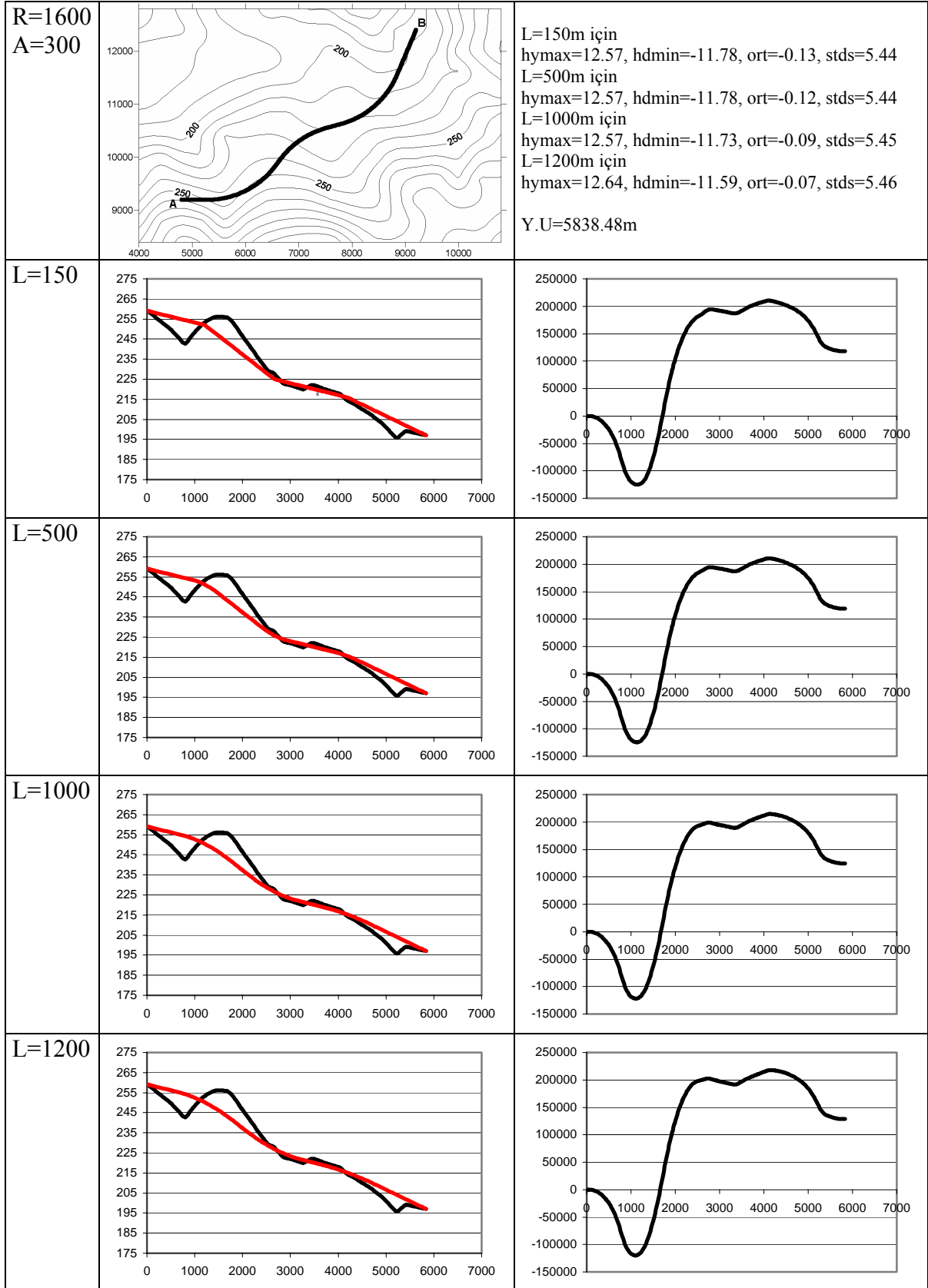
Şekil Ek 1.9 R=550 ve A=300 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



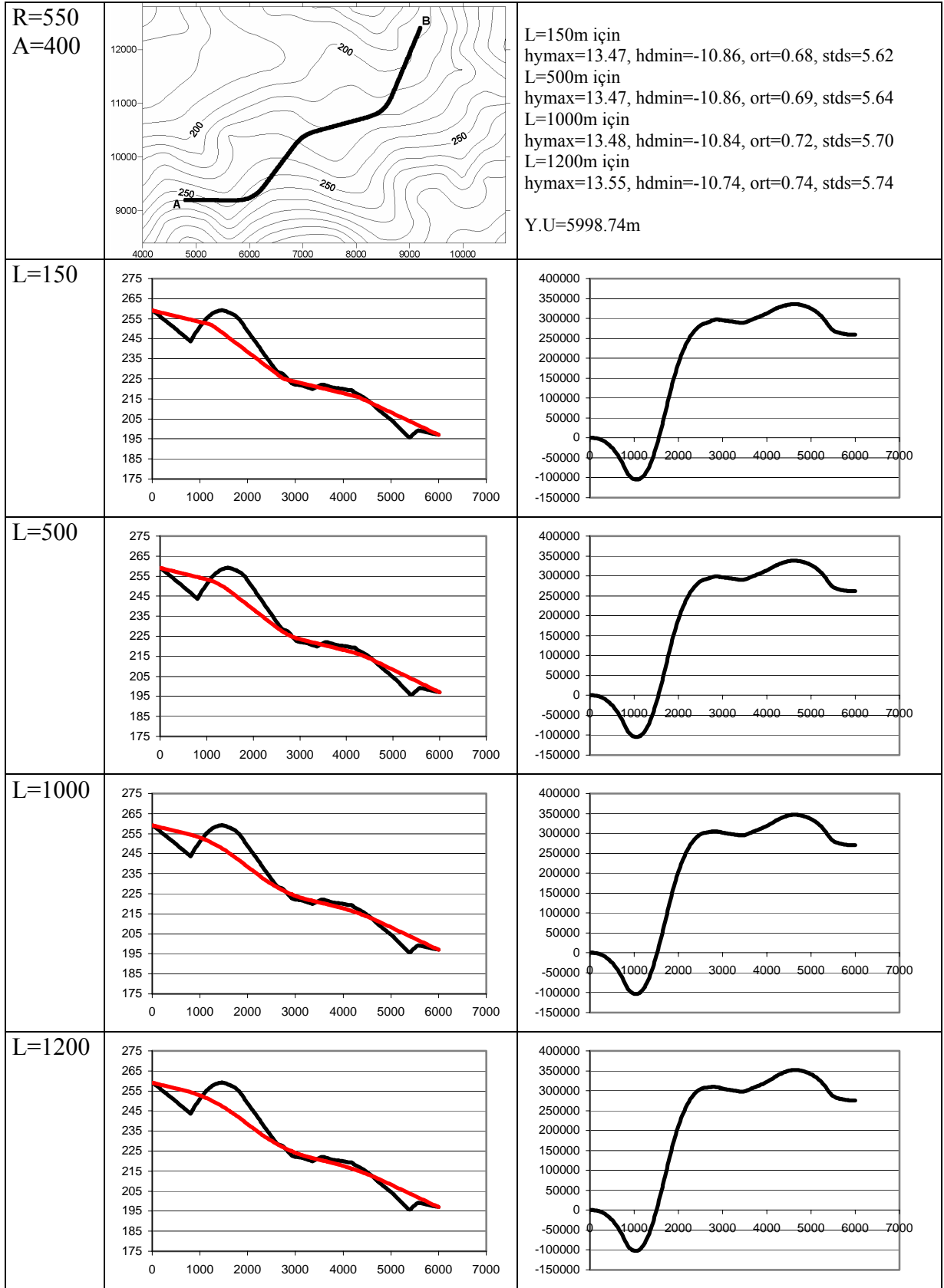
Şekil Ek 1.10 R=900 ve A=300 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



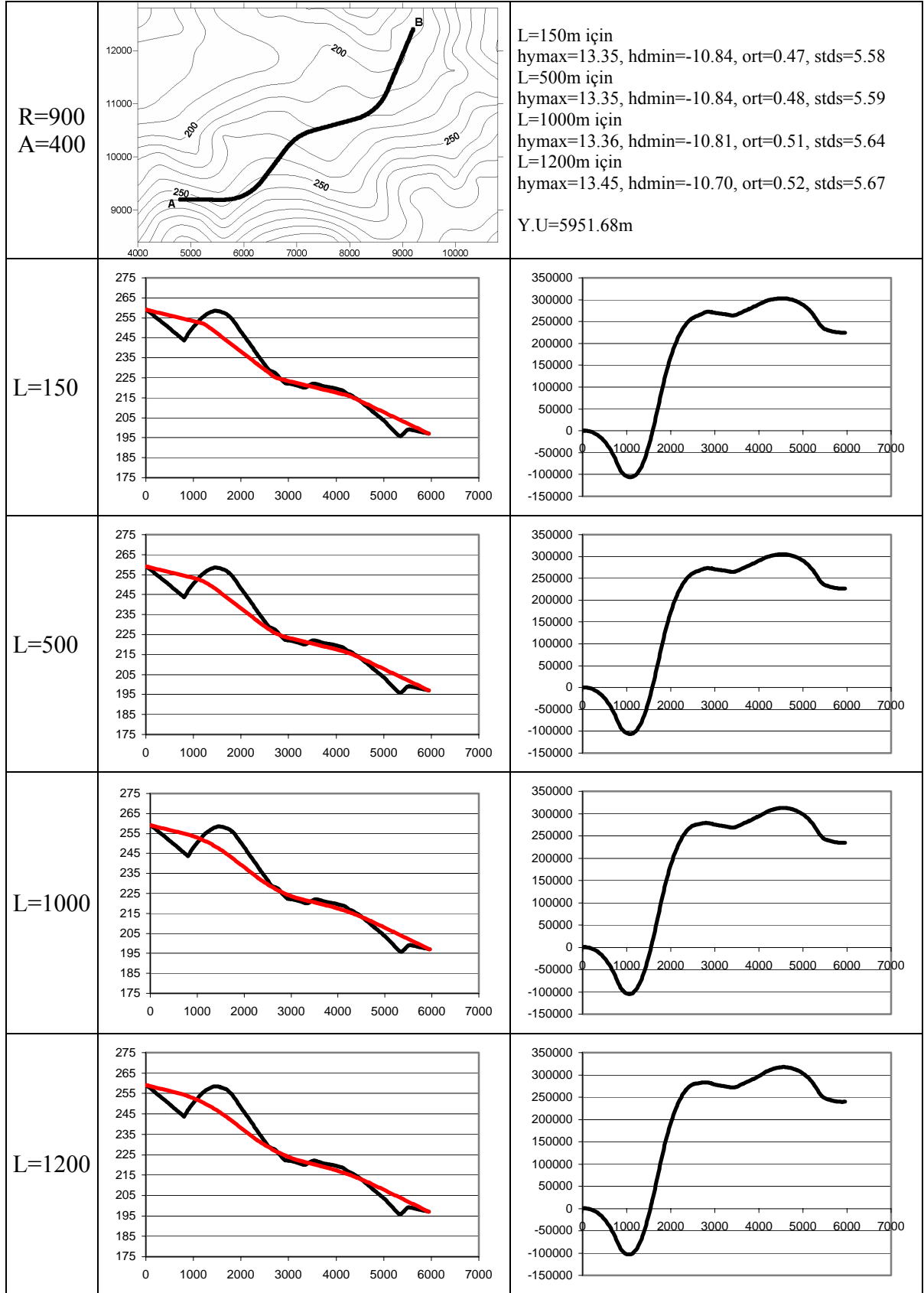
Şekil Ek 1.11 R=1200 ve A=300 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



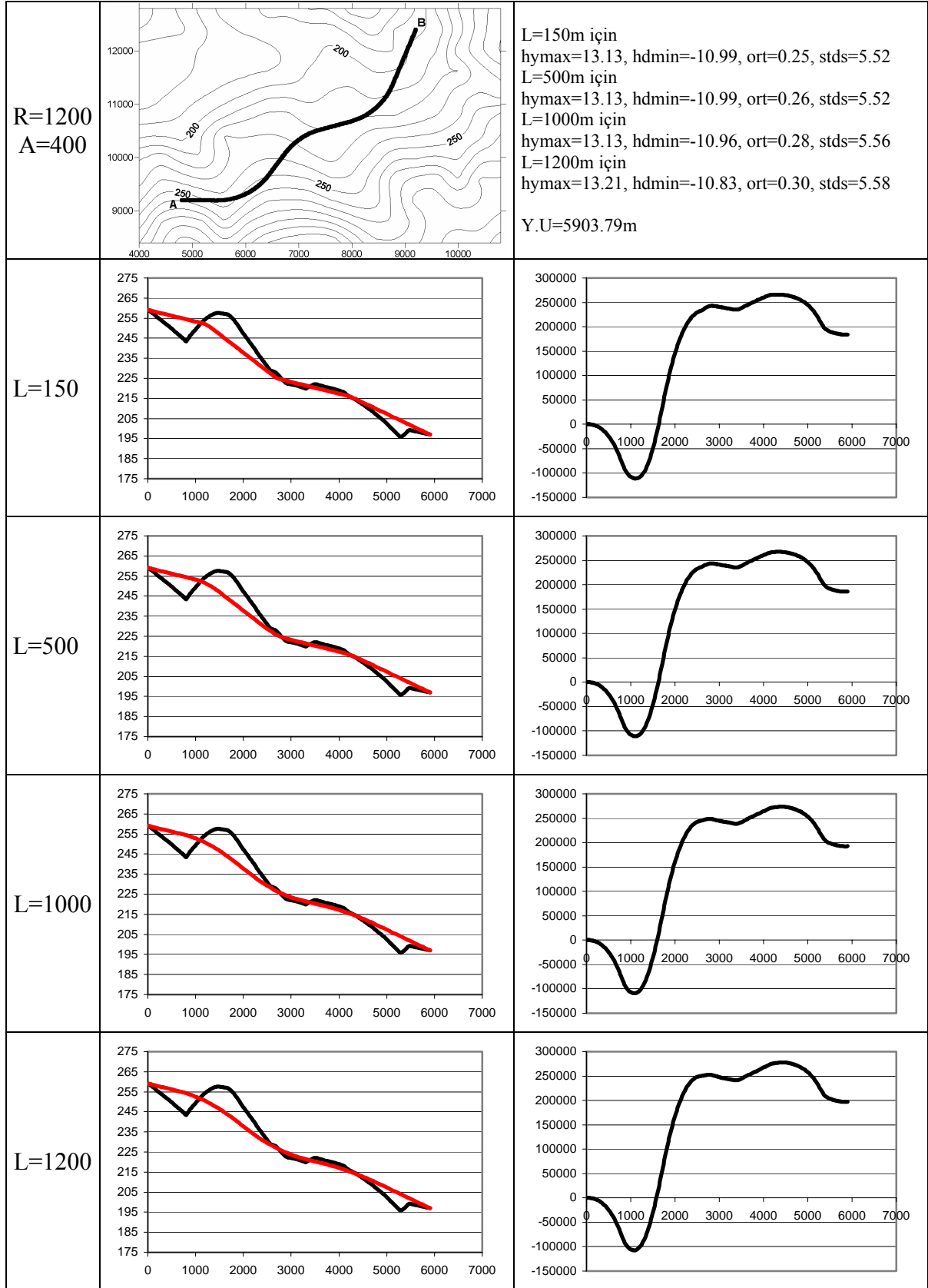
Şekil Ek 1.12 R=1600 ve A=300 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



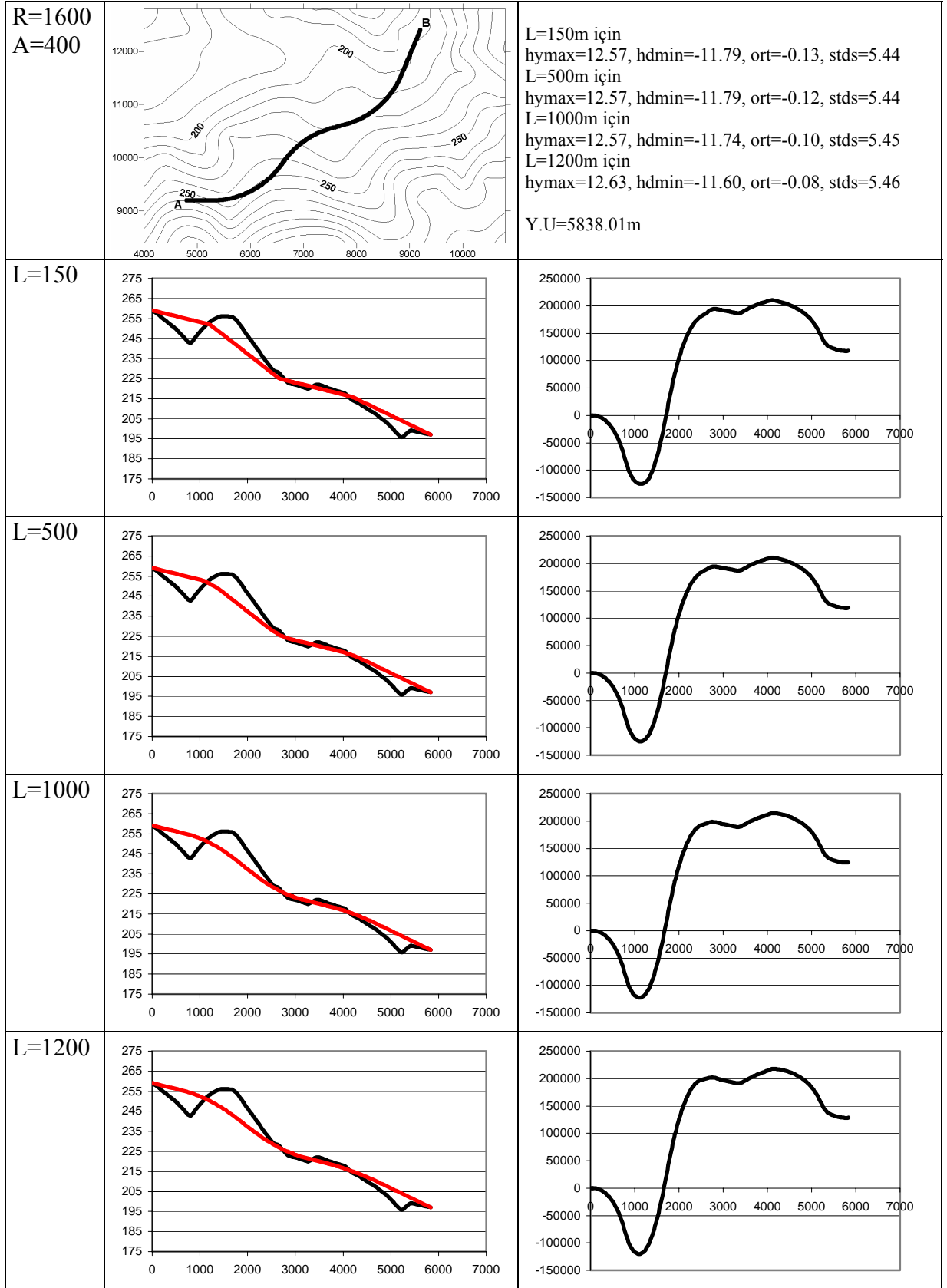
Şekil Ek 1.13 R=550 ve A=400 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil Ek 1.14 R=900 ve A=400 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı dikey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil Ek 1.15 R=1200 ve A=400 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları

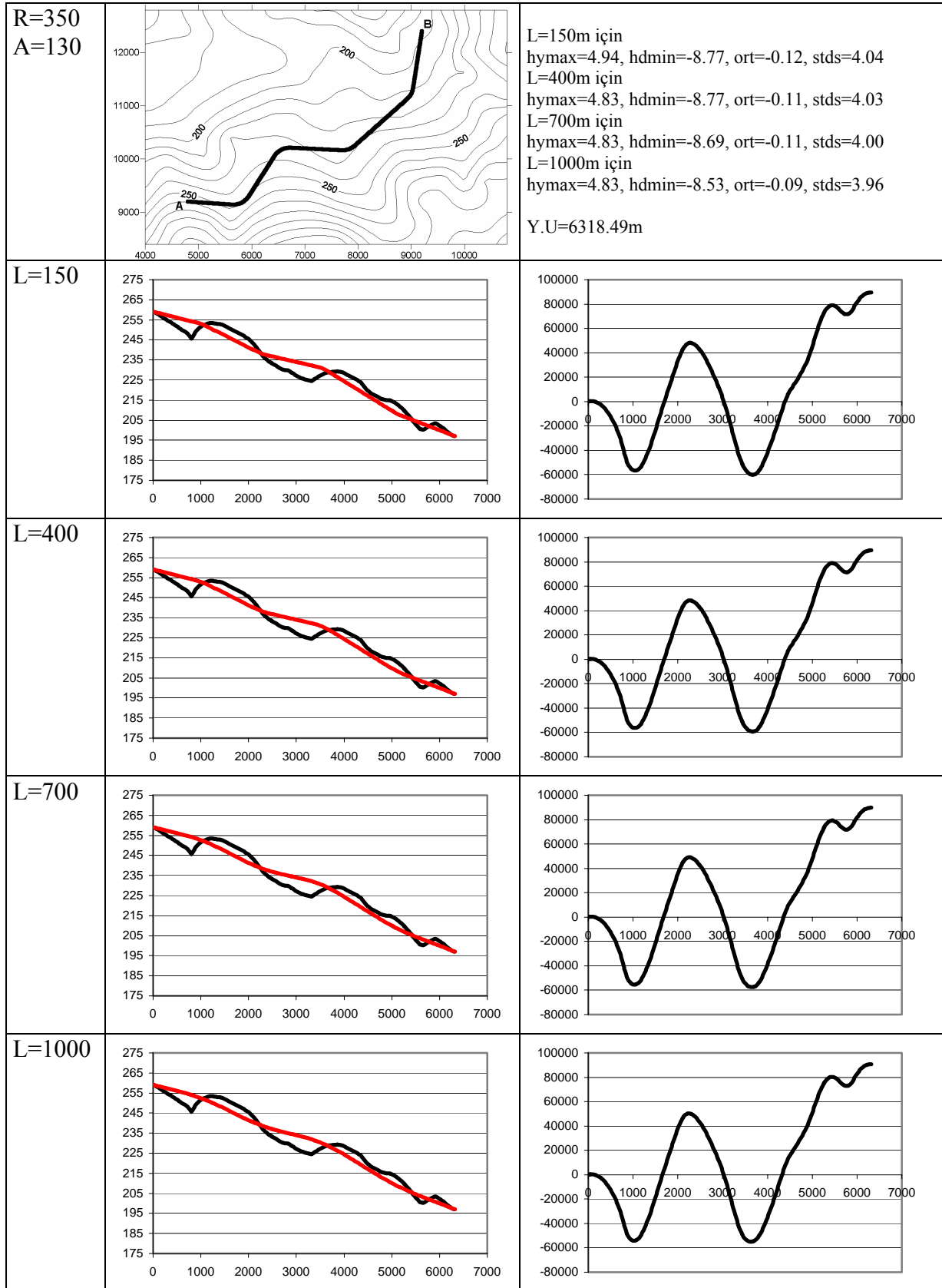


Şekil Ek 1.16 R=1600 ve A=400 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları

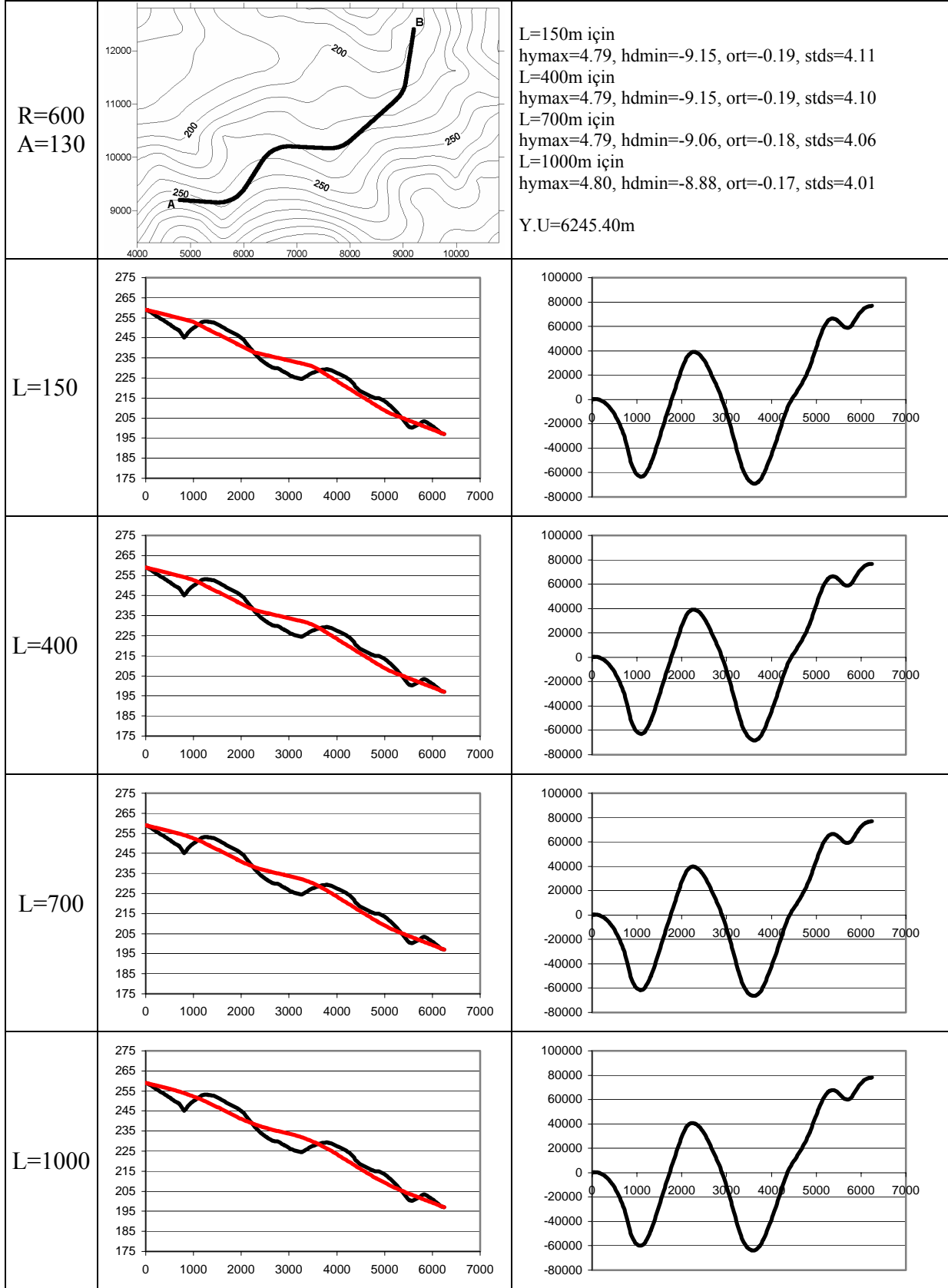
Çizelge Ek 1.1 Birinci Sınıf Karayolu geçkisine ait maliyet hesapları

R (m)	A	L (m)	YU (m)	Y (m3)	D (m3)	TAM (YTL)	TÜM (YTL)	TYM (YTL)
550	160	150	6013,33	457489	190823	13227221	1985355	14778776
550	160	500	6013,33	460081	190995	13238571	1985355	14790126
550	160	1000	6013,33	469779	191727	13281398	1985355	14832954
550	160	1400	6013,33	482386	192169	13334980	1985355	14886536
900	160	150	5955,32	421077	193933	12988553	1966203	14525141
900	160	500	5955,32	423148	194046	12997522	1966203	14534109
900	160	1000	5955,32	431124	194116	13030560	1966203	14567148
900	160	1200	5955,32	436015	193949	13049959	1966203	14586546
1200	160	150	5905,35	387904	202538	12799877	1949704	14323571
1200	160	500	5905,35	389129	202200	12803519	1949704	14327213
1200	160	1000	5905,35	395084	201200	12823866	1949704	14347560
1200	160	1200	5905,35	399068	200511	12837395	1949704	14361090
1600	160	150	5838,68	344638	226175	12602139	1927694	14108632
1600	160	500	5838,68	344670	225260	12598513	1927694	14105006
1600	160	1000	5838,68	347582	222639	12599709	1927694	14106201
1600	160	1200	5838,68	350173	221050	12603823	1927694	14110315
550	200	150	6012,73	457218	190848	13225156	1985158	14776557
550	200	500	6012,73	459806	191019	13236485	1985158	14787886
550	200	1000	6012,73	469486	191745	13279216	1985158	14830616
550	200	1200	6012,73	475213	191979	13303692	1985158	14855093
900	200	150	5955,18	421019	193945	12988119	1966157	14524670
900	200	500	5955,18	423089	194058	12997082	1966157	14533634
900	200	1000	5955,18	431061	194126	13030097	1966157	14566649
900	200	1200	5955,18	435951	193958	13049487	1966157	14586038
1200	200	150	5905,29	387873	202553	12799706	1949685	14323384
1200	200	500	5905,29	389098	202213	12803339	1949685	14327018
1200	200	1000	5905,29	395050	201214	12823678	1949685	14347357
1200	200	1200	5905,29	399033	200522	12837191	1949685	14360870
1600	200	150	5838,65	344642	226184	12602141	1927684	14108625
1600	200	500	5838,65	344673	225269	12598510	1927684	14104995
1600	200	1000	5838,65	347584	222647	12599696	1927684	14106181
1600	200	1200	5838,65	350176	221058	12603815	1927684	14110300
550	300	150	6008,71	455343	190925	13210711	1983831	14761074
550	300	500	6008,71	457900	191082	13221855	1983831	14772218
550	300	1000	6008,71	467485	191799	13264157	1983831	14814521
550	300	1200	6008,71	473175	191982	13288274	1983831	14838637
900	300	150	5954,21	420542	194099	12985088	1965837	14521389
900	300	500	5954,21	422602	194195	12993942	1965837	14530243
900	300	1000	5954,21	430547	194249	13026787	1965837	14563089
900	300	1200	5954,21	435424	194072	13046086	1965837	14582388
1200	300	150	5904,88	387661	202653	12798526	1949550	14322098
1200	300	500	5904,88	388878	202308	12802105	1949550	14325679
1200	300	1000	5904,88	394814	201306	12822366	1949550	14345939
1200	300	1200	5904,88	398788	200593	12835757	1949550	14359330
1600	300	150	5838,48	344556	226262	12601809	1927628	14108800
1600	300	500	5838,48	344585	225346	12598166	1927628	14104607
1600	300	1000	5838,48	347493	222722	12599332	1927628	14105773
1600	300	1200	5838,48	350082	221132	12603434	1927628	14109875
550	400	150	5998,74	450546	191179	13174539	1980538	14722330
550	400	500	5998,74	453025	191346	13185404	1980538	14733195
550	400	1000	5998,74	462373	191935	13226207	1980538	14773999
550	400	1200	5998,74	467909	192077	13249523	1980538	14797314
900	400	150	5951,68	419260	194304	12976221	1965001	14511869
900	400	500	5951,68	421327	194442	12985274	1965001	14520923
900	400	1000	5951,68	429194	194430	13017529	1965001	14553178
900	400	1200	5951,68	434032	194260	13036698	1965001	14572346
1200	400	150	5903,79	387121	202928	12795523	1949191	14318814
1200	400	500	5903,79	388319	202568	12798962	1949191	14322255
1200	400	1000	5903,79	394213	201534	12818919	1949191	14342211
1200	400	1200	5903,79	398172	200812	12832211	1949191	14355503
1600	400	150	5838,01	344338	226462	12600909	1927472	14107228
1600	400	500	5838,01	344357	225553	12597255	1927472	14103574
1600	400	1000	5838,01	347260	222929	12598400	1927472	14104719
1600	400	1200	5838,01	349843	221322	12602408	1927472	14108727

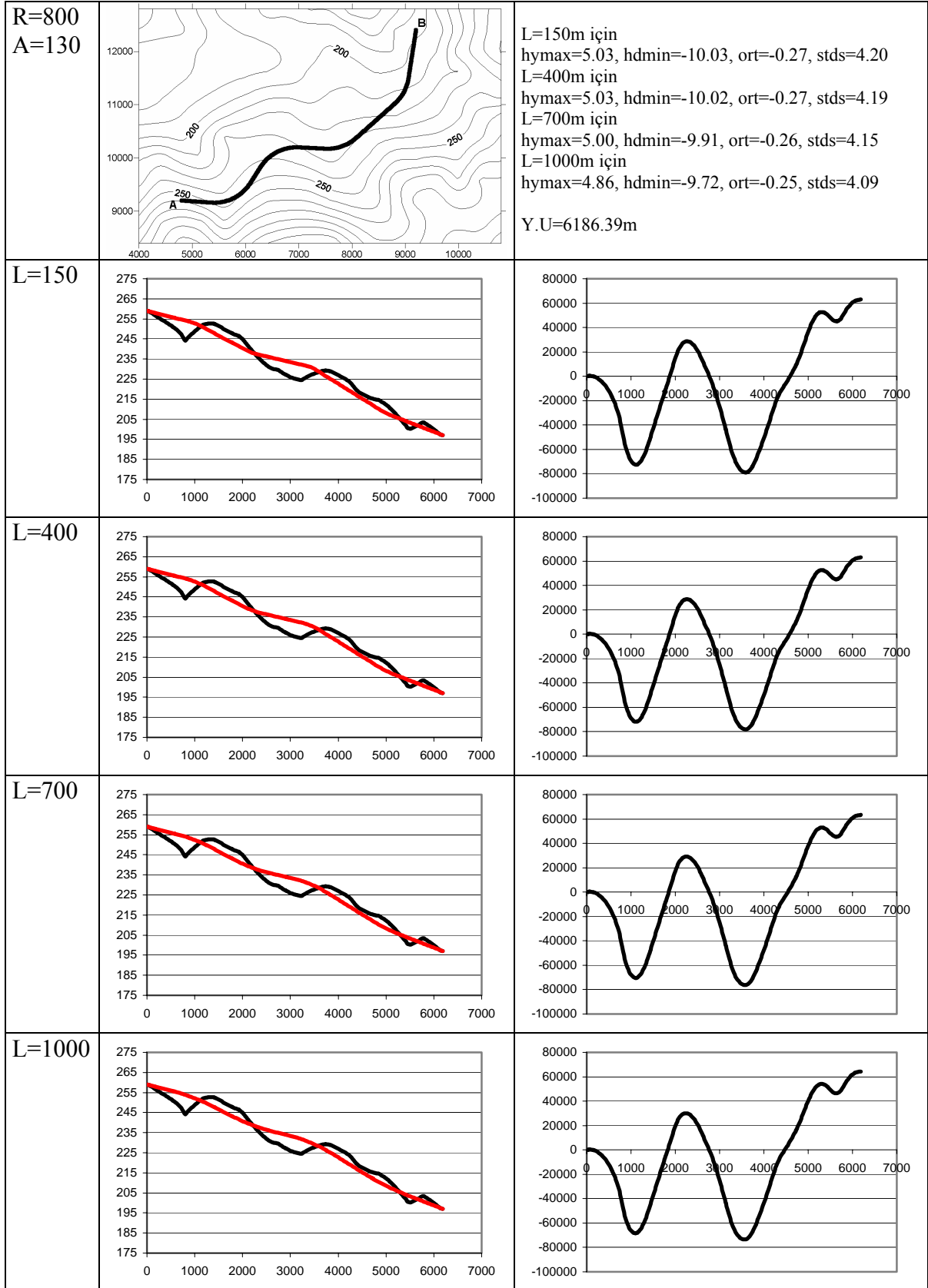
Ek 2 İkinci Sınıf Karayolu Geçkileri



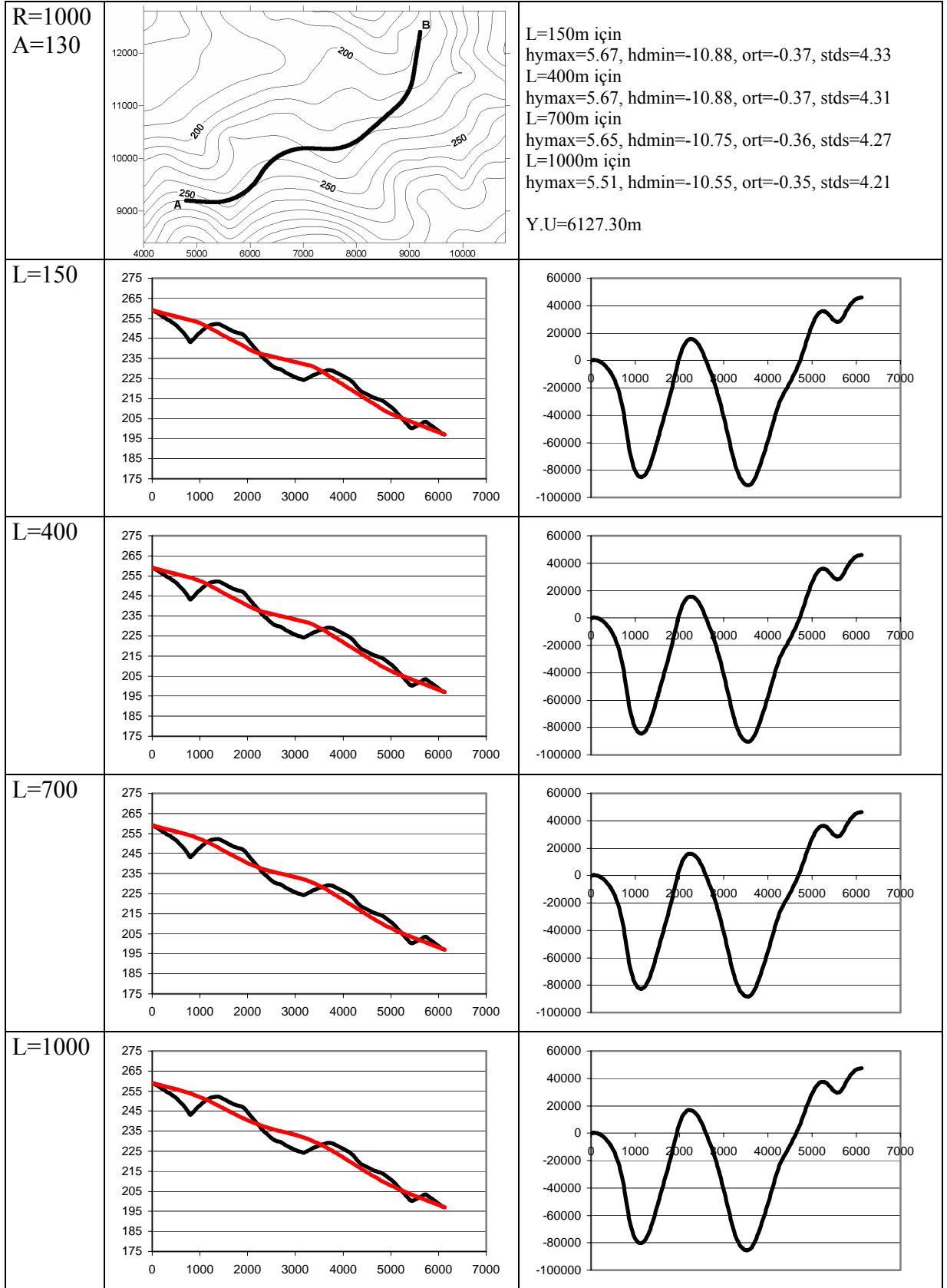
Şekil Ek 2.1: R=350 ve A=130 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düzey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



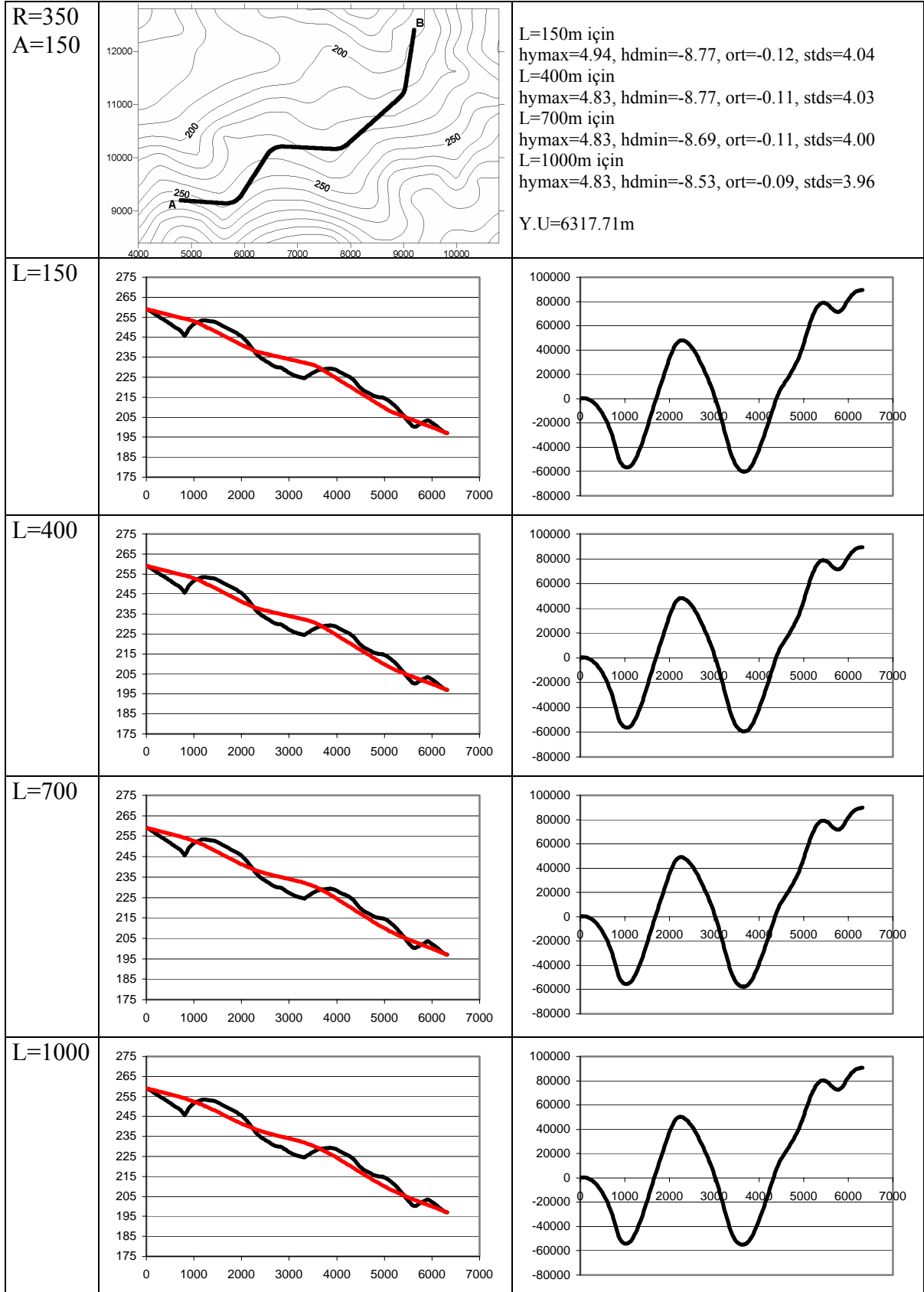
Şekil Ek 2.2 R=600 ve A=130 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



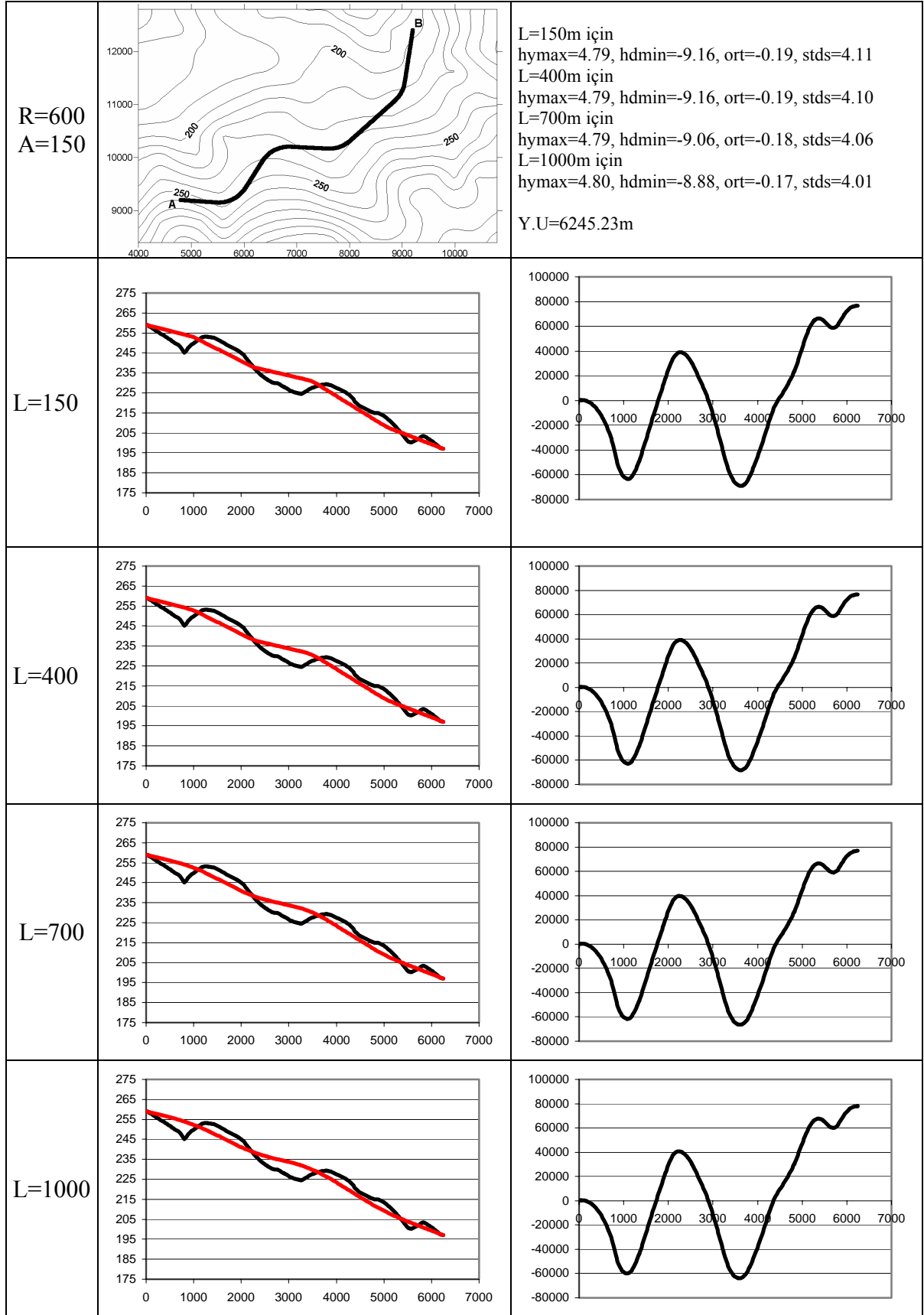
Şekil Ek 2.3 R=800 ve A=130 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



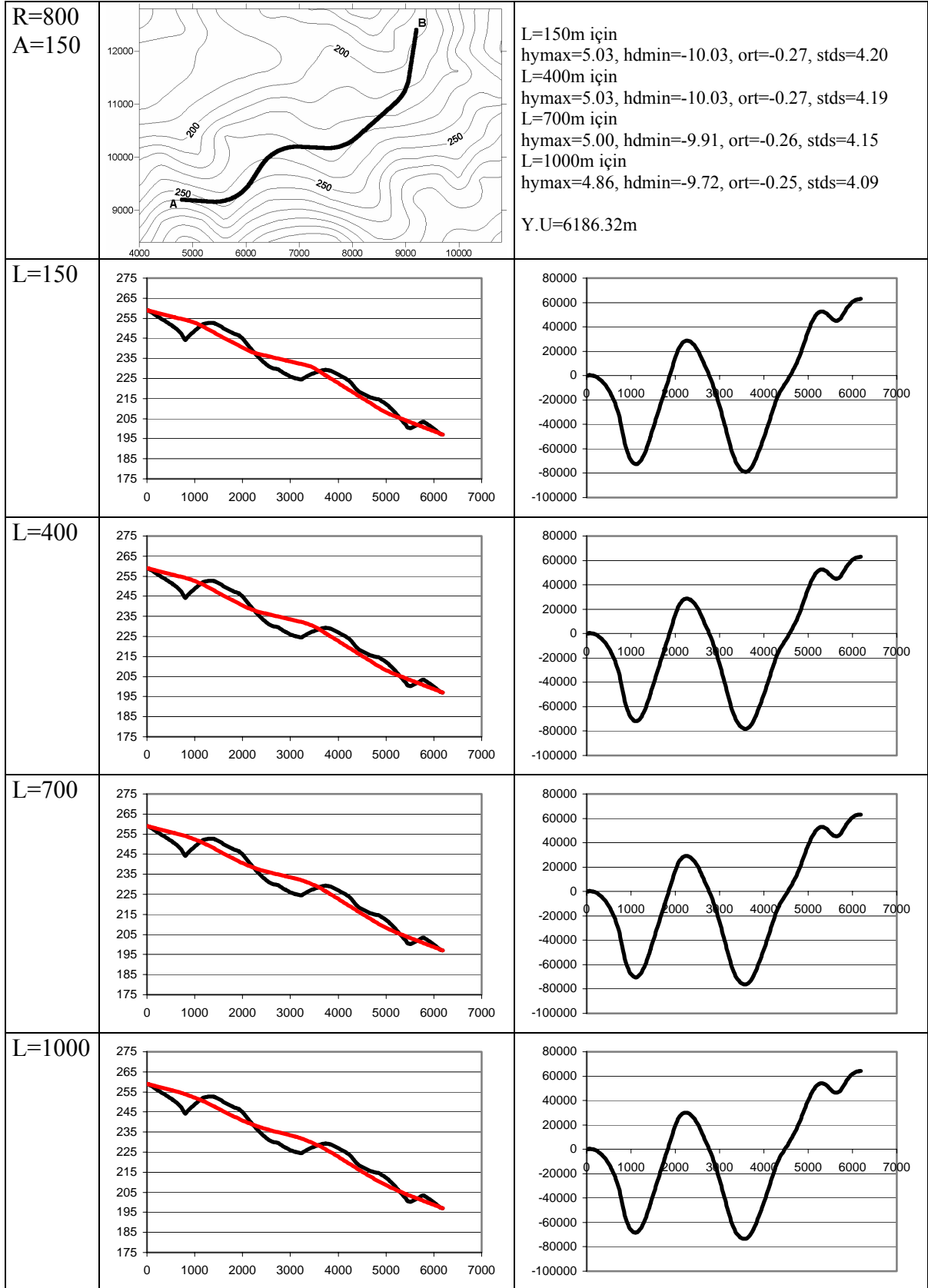
Şekil Ek 2.4 R=1000 ve A=130 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düzey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



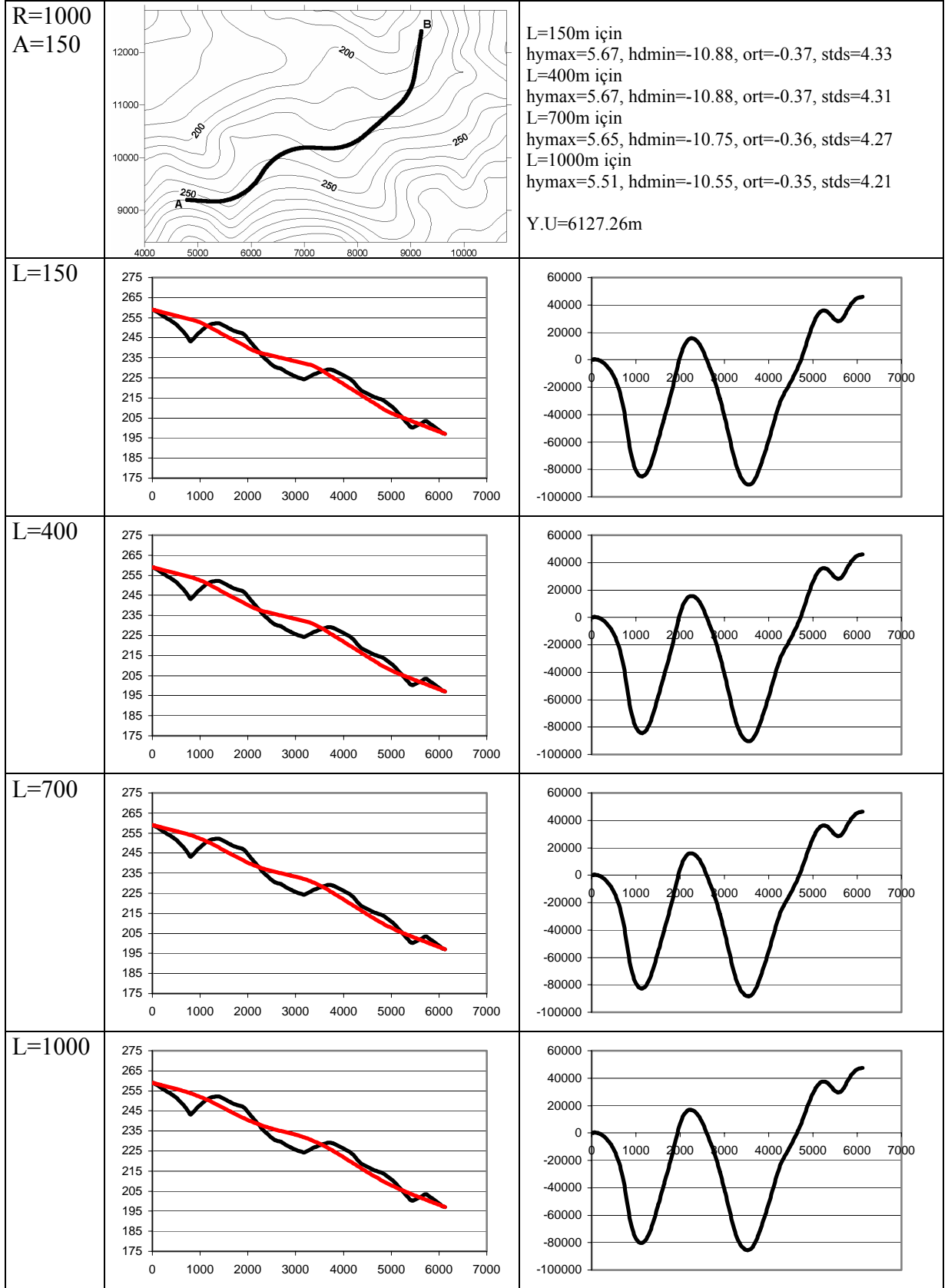
Şekil Ek 2.5 R=350 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



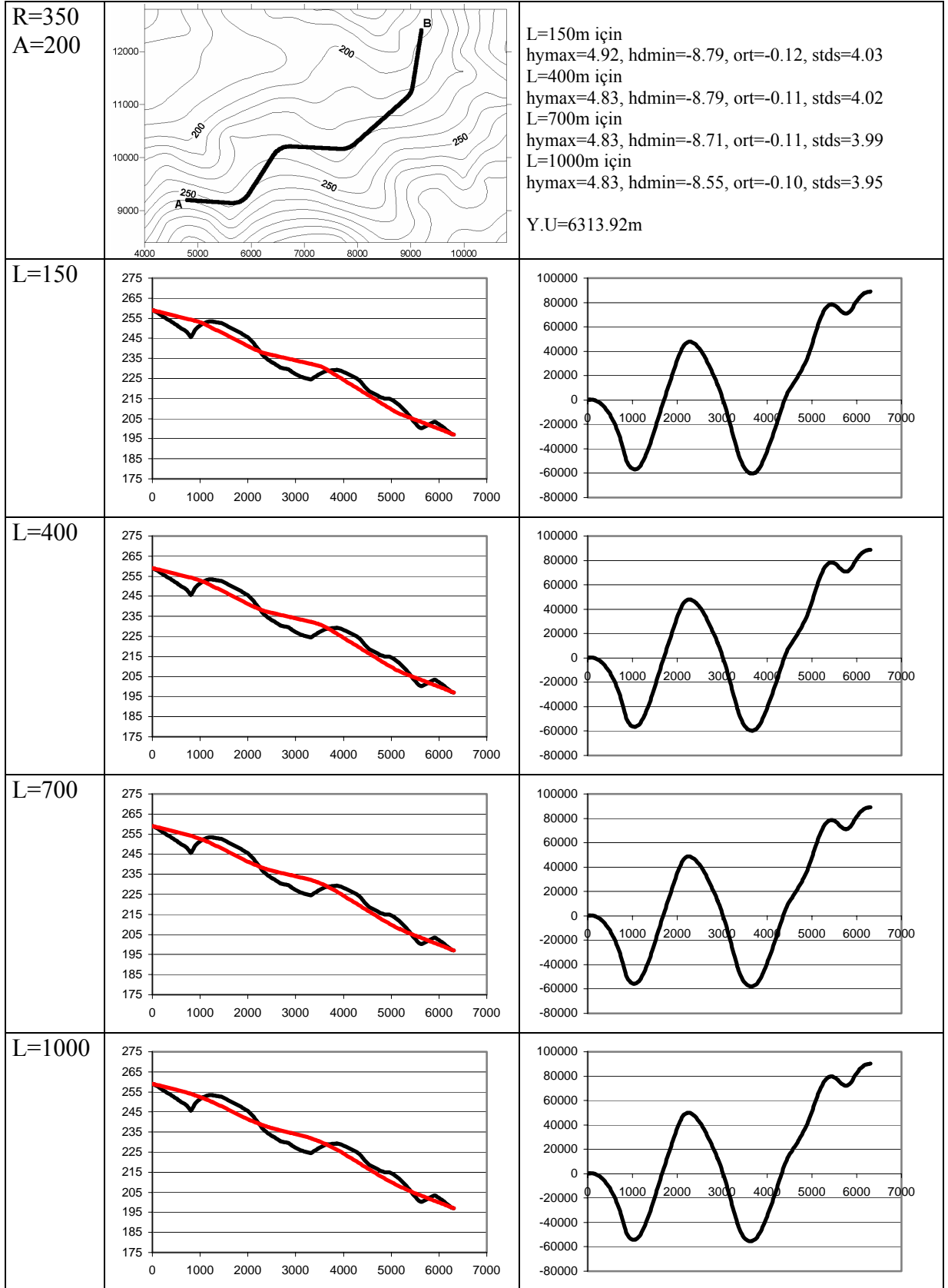
Şekil Ek 2.6 R=600 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdeşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



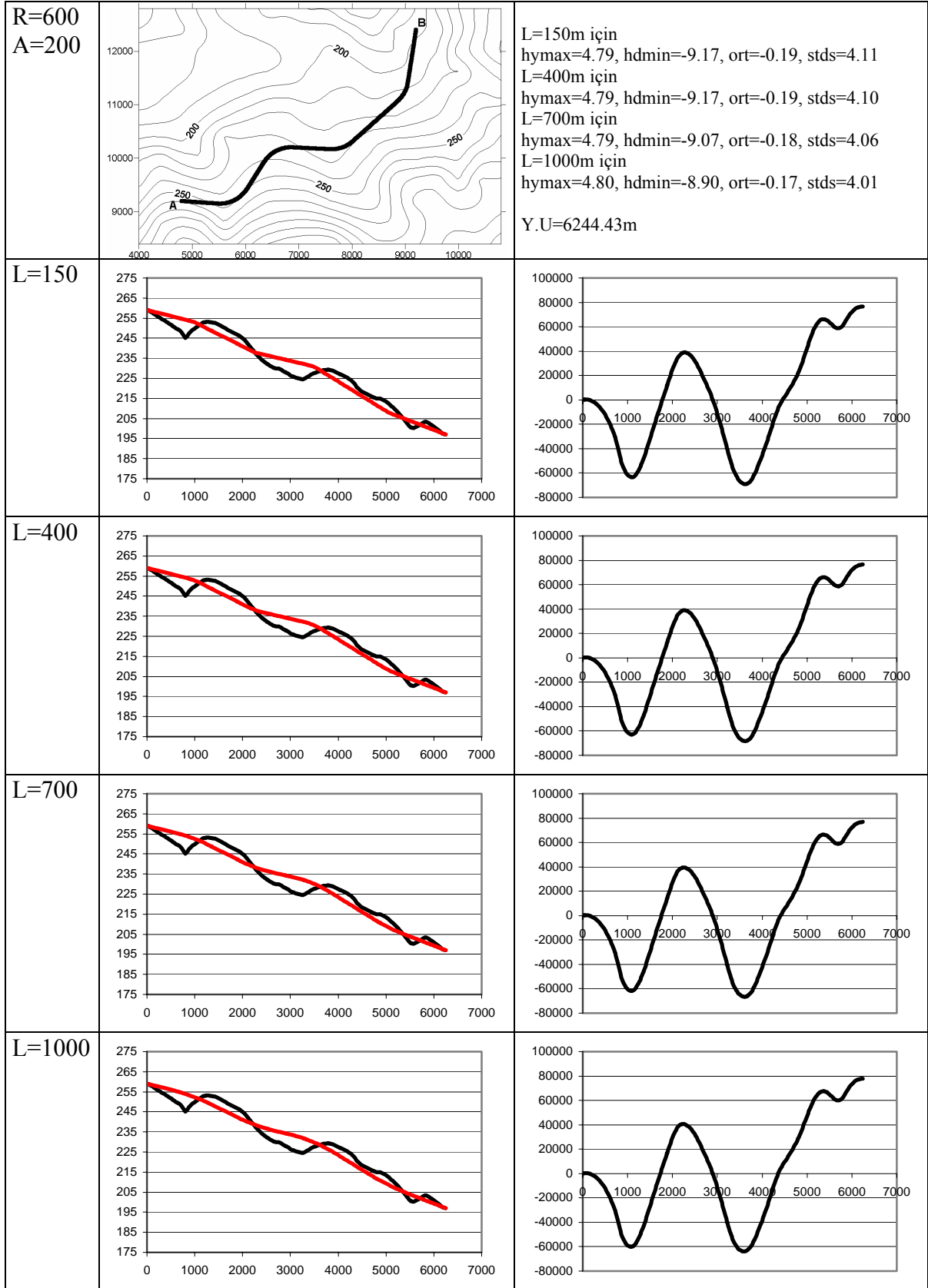
Şekil Ek 2.7 R=800 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



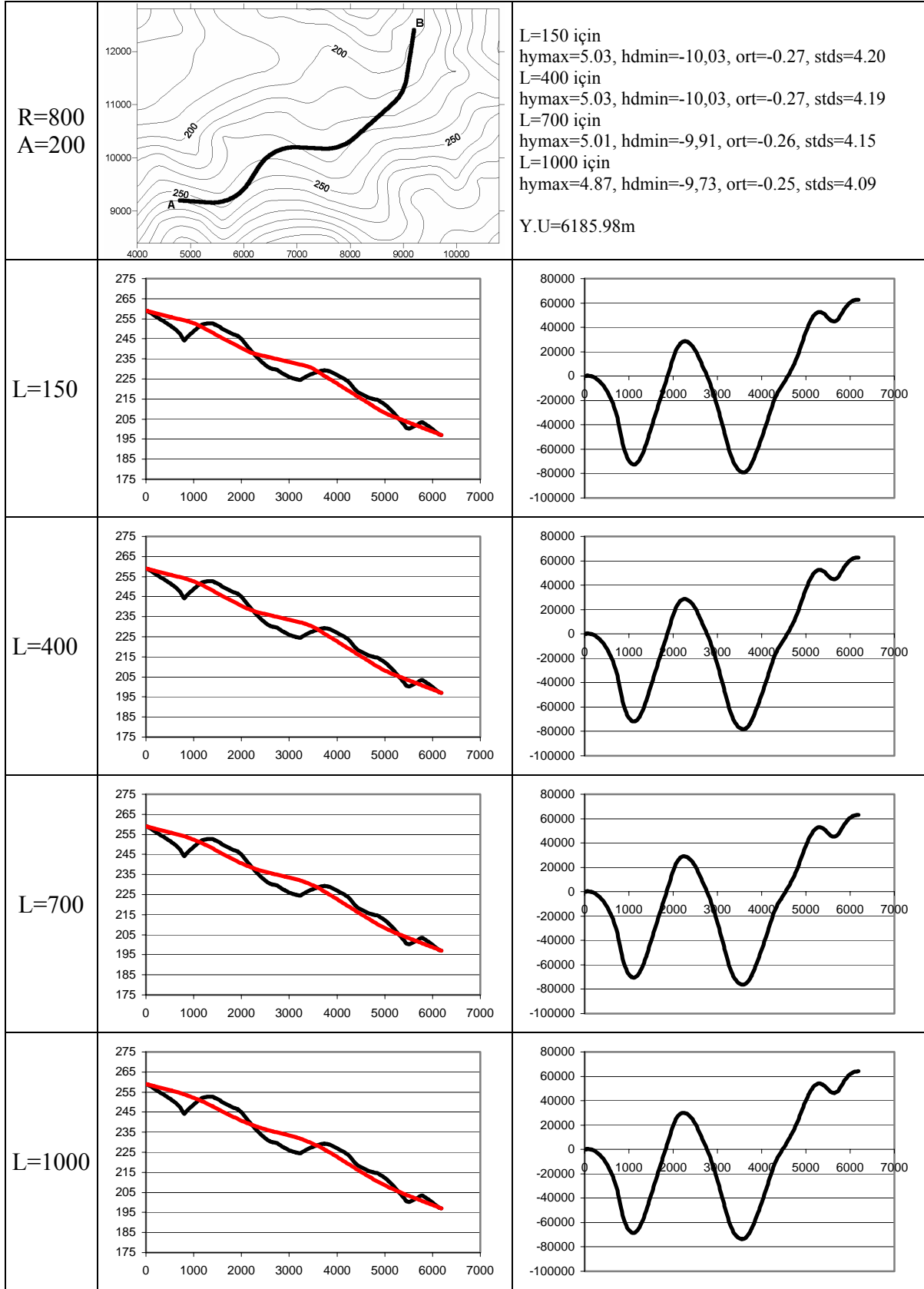
Şekil Ek 2.8 R=1000 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düzey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



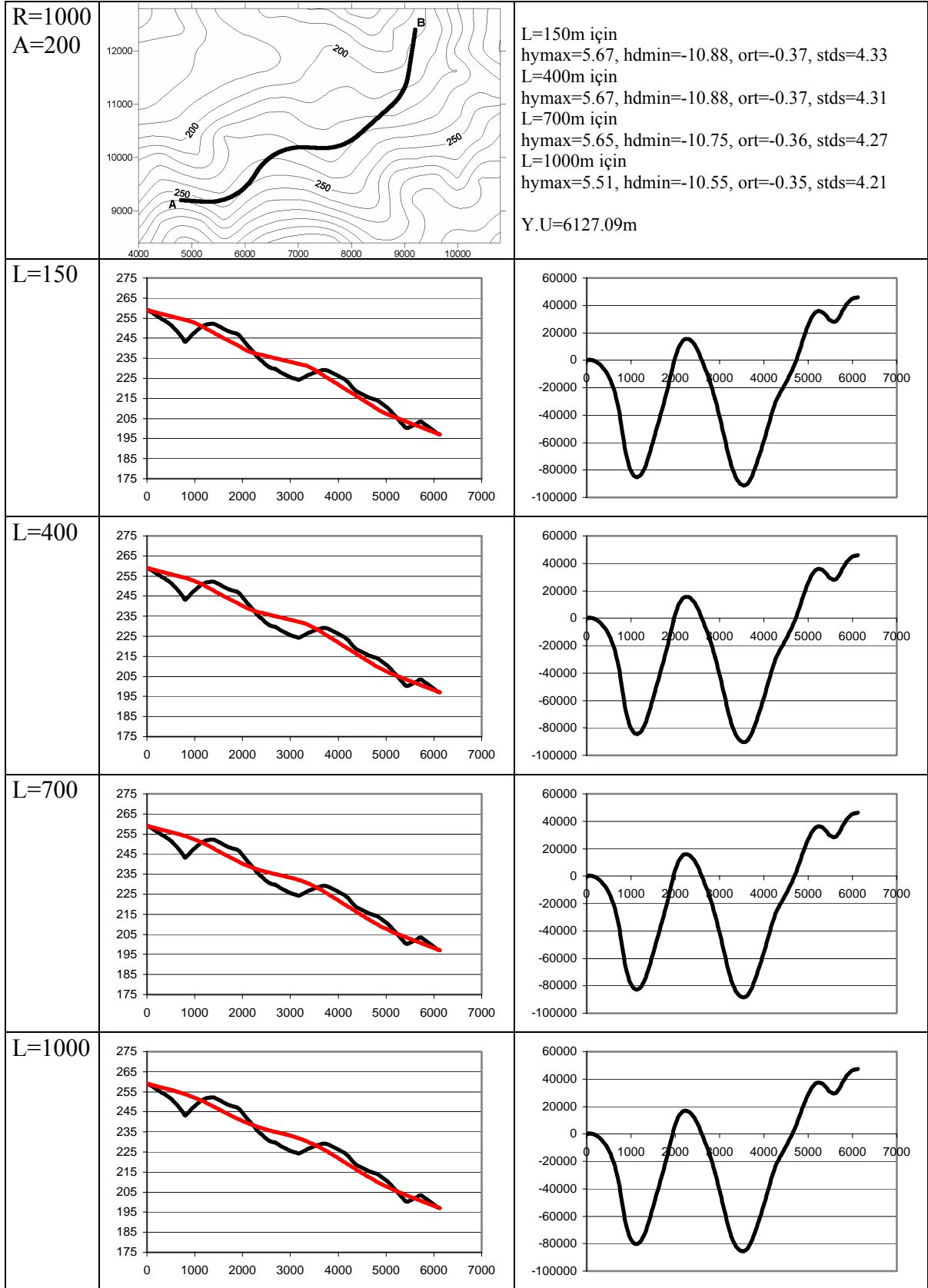
Şekil Ek 2.9 R=350 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



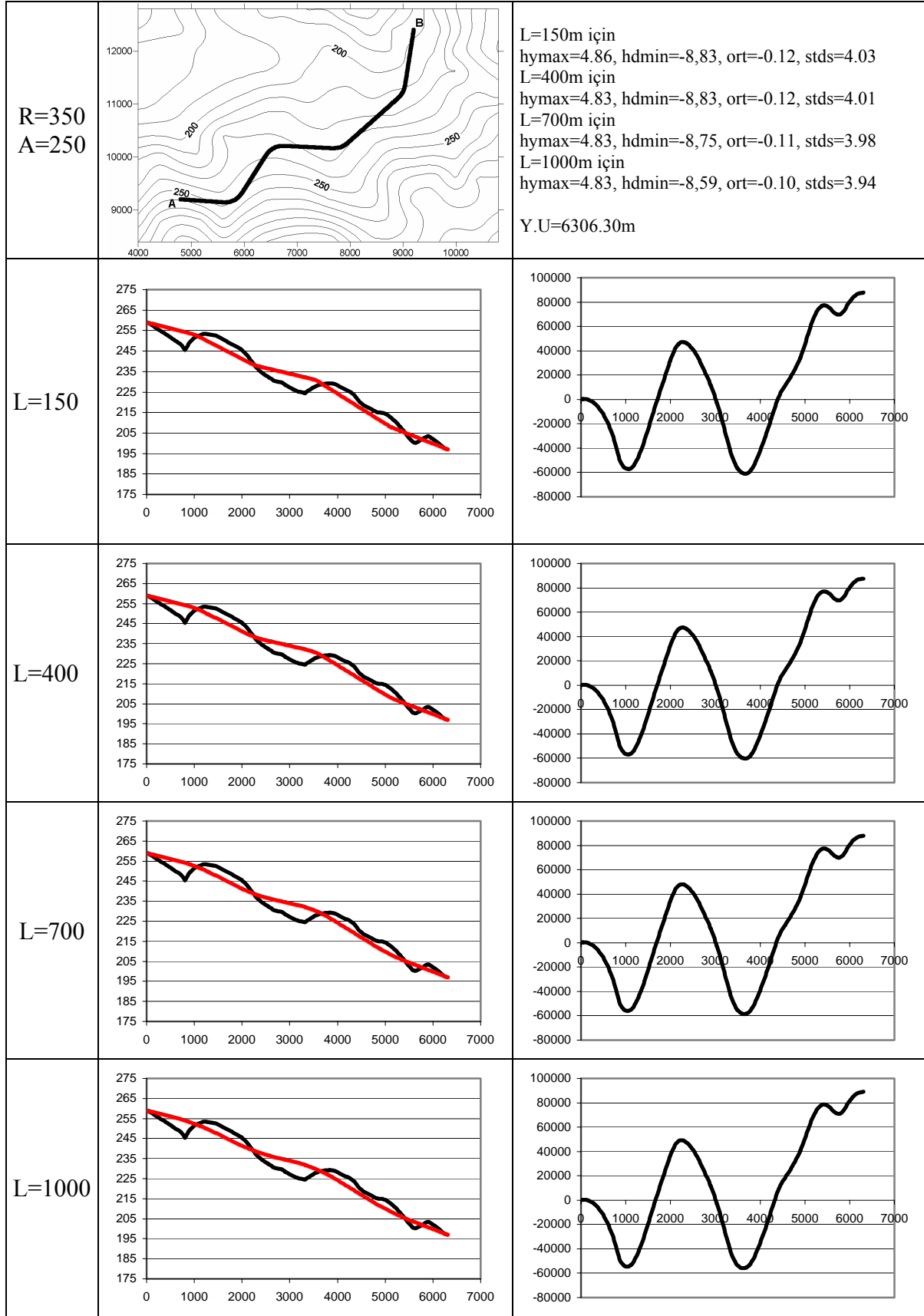
Şekil Ek 2.10 R=600 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



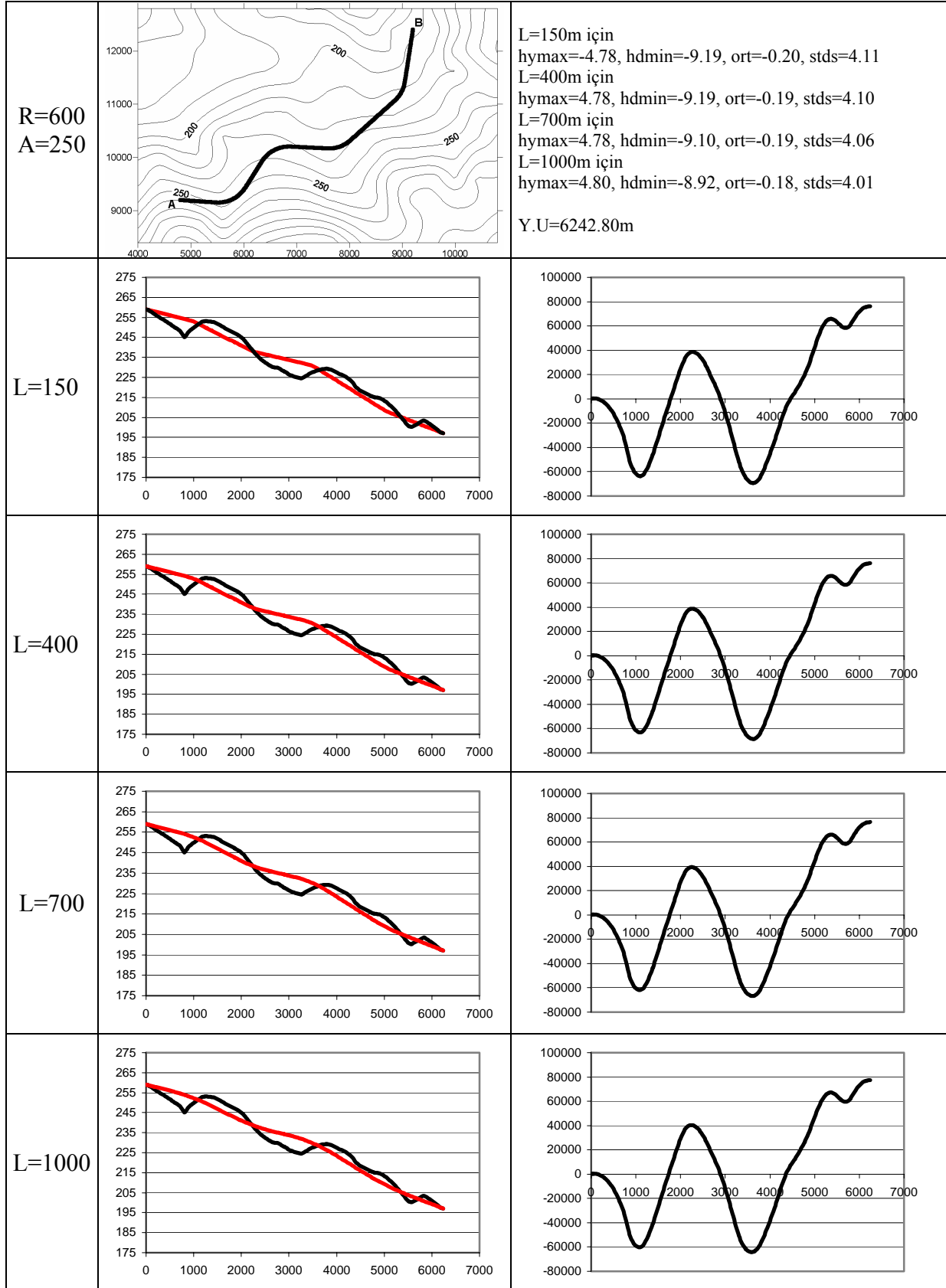
Şekil Ek 2.11 R=800 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



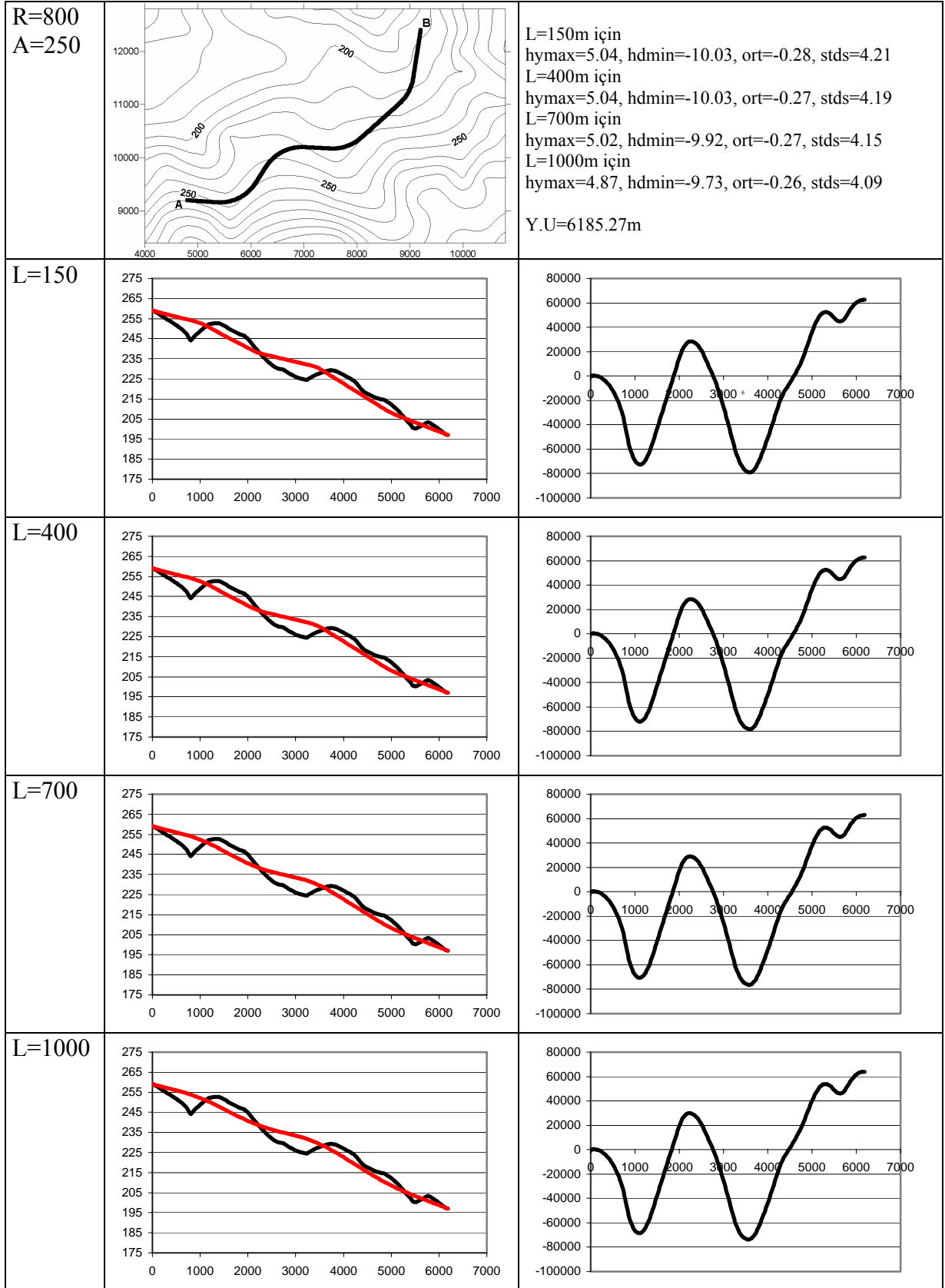
Şekil Ek 2.12 R=1000 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düzey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



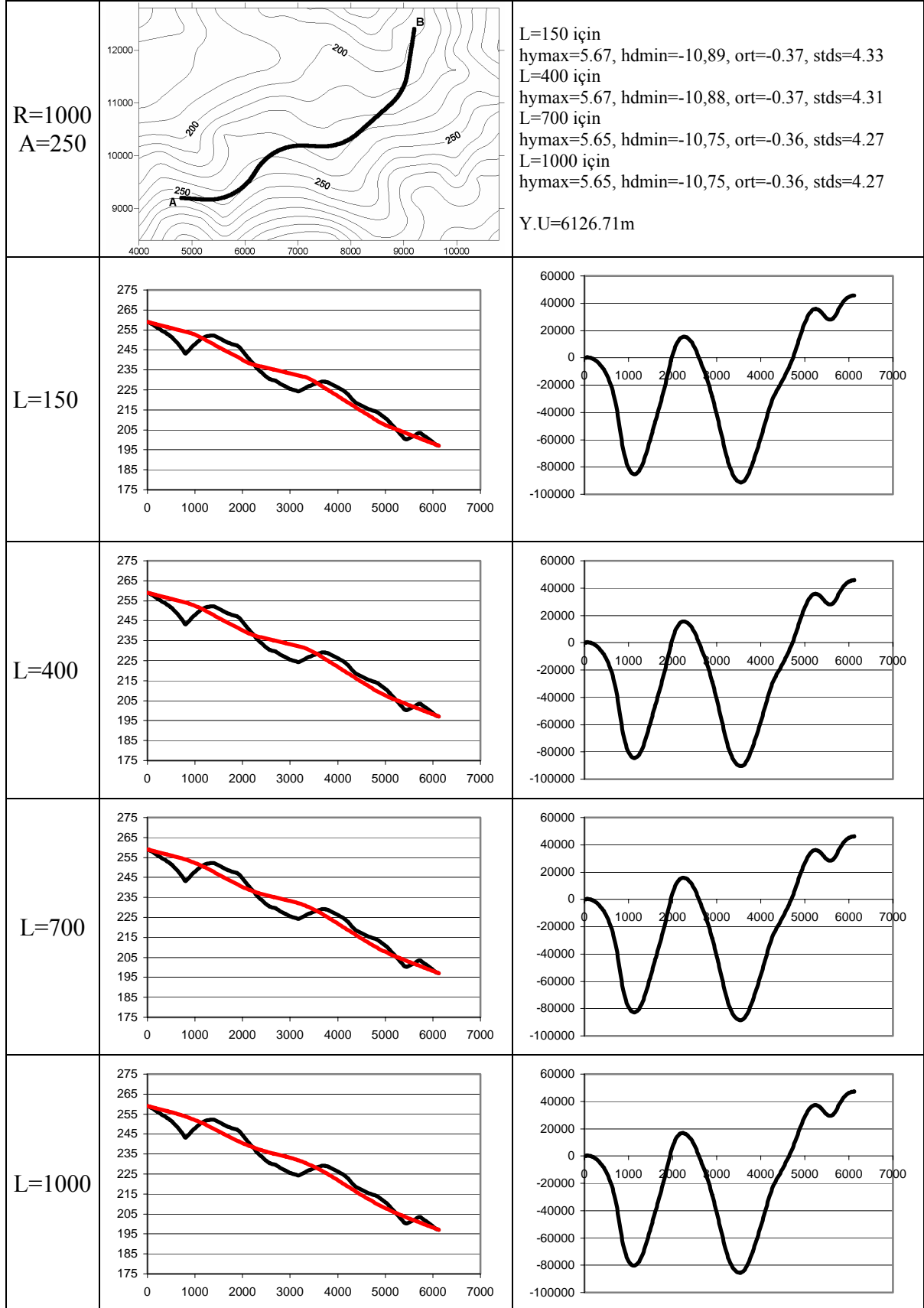
Şekil Ek 2.13 R=350 ve A=250 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil Ek 2.14 R=600 ve A=250 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil Ek 2.15 R=800 ve A=250 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları

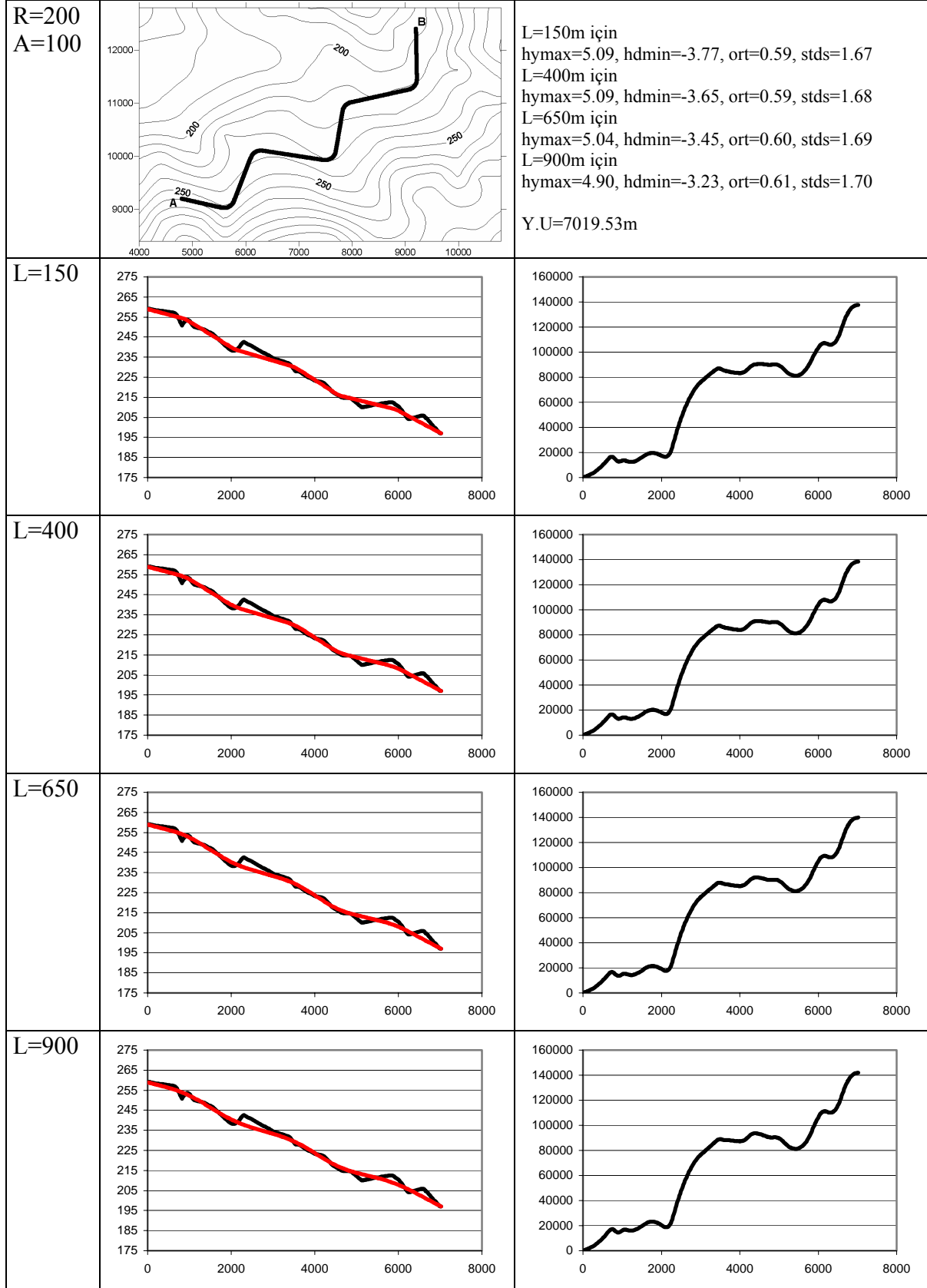


Şekil Ek 2.16 R=1000 ve A=250 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları

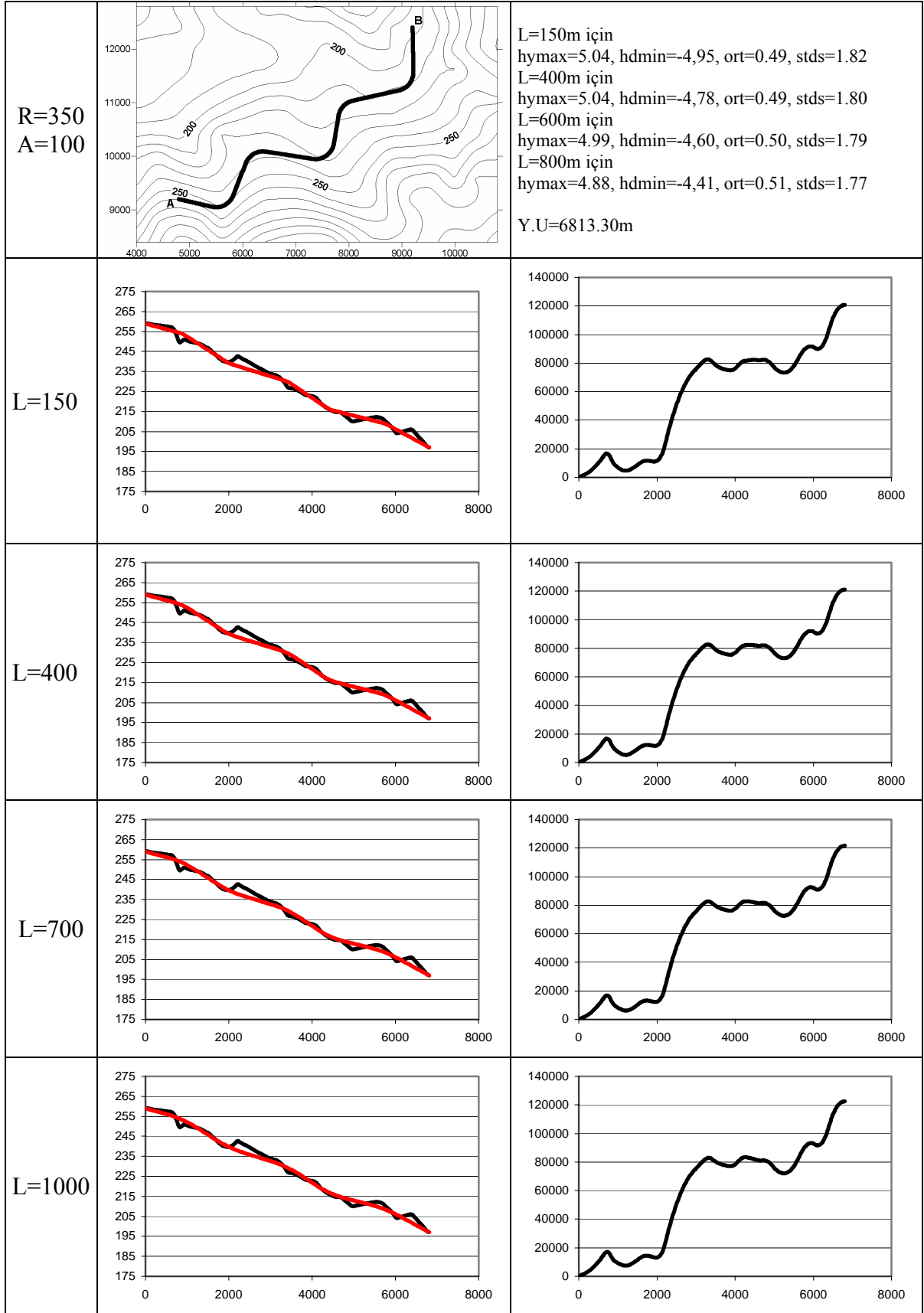
Çizelge Ek 2.1 İkinci Sınıf Karayolu geçkisine ait maliyet hesapları

R (m)	A	L (m)	YU (m)	Y (m3)	D (m3)	TAM (YTL)	TÜM (YTL)	TYM (YTL)
350	130	150	6318,49	263165	173535	11171975	1287248	12459223
350	130	400	6318,49	262217	172675	11162928	1287248	12450176
350	130	700	6318,49	260641	170799	11145654	1287248	12432902
350	130	1000	6318,49	259205	168344	11126182	1287248	12413430
600	130	150	6245,40	256961	180121	11069936	1272358	12342294
600	130	400	6245,40	255663	178899	11057325	1272358	12329683
600	130	700	6245,40	253492	176452	11034217	1272358	12306575
600	130	1000	6245,40	251396	173336	11008136	1272358	12280494
800	130	150	6186,39	251847	188873	11004209	1260336	12264545
800	130	400	6186,39	250372	187416	10989536	1260336	12249872
800	130	700	6186,39	247776	184500	10961954	1260336	12222290
800	130	1000	6186,39	245160	180826	10930478	1260336	12190814
1000	130	150	6127,30	246900	200902	10955604	1248297	12203901
1000	130	400	6127,30	245285	199257	10939291	1248297	12187588
1000	130	700	6127,30	242256	195871	10907190	1248297	12155487
1000	130	1000	6127,30	239117	191659	10870405	1248297	12118702
350	150	150	6317,71	263062	173550	11170418	1287088	12457506
350	150	400	6317,71	262111	172683	11161321	1287088	12448409
350	150	700	6317,71	260531	170802	11144002	1287088	12431090
350	150	1000	6317,71	259089	168343	11124480	1287088	12411568
600	150	150	6245,23	256937	180128	11069604	1272323	12341927
600	150	400	6245,23	255639	178905	11056989	1272323	12329312
600	150	700	6245,23	253467	176458	11033876	1272323	12306199
600	150	1000	6245,23	251369	173341	11007779	1272323	12280102
800	150	150	6186,32	251830	188884	11004080	1260321	12264401
800	150	400	6186,32	250356	187426	10989409	1260321	12249730
800	150	700	6186,32	247760	184510	10961826	1260321	12222147
800	150	1000	6186,32	245142	180853	10930425	1260321	12190746
1000	150	150	6127,26	246899	200901	10955538	1248289	12203827
1000	150	400	6127,26	245283	199256	10939220	1248289	12187509
1000	150	700	6127,26	242254	195870	10907118	1248289	12155407
1000	150	1000	6127,26	239115	191660	10870344	1248289	12118633
350	200	150	6313,92	262636	173707	11163694	1286317	12450011
350	200	400	6313,92	261681	172843	11154591	1286317	12440908
350	200	700	6313,92	260079	170933	11137018	1286317	12423335
350	200	1000	6313,92	258618	168424	11117152	1286317	12403469
600	200	150	6244,43	256836	180179	11068216	1272160	12340376
600	200	400	6244,43	255537	178954	11055586	1272160	12327746
600	200	700	6244,43	253360	176501	11032417	1272160	12304577
600	200	1000	6244,43	251256	173378	11006261	1272160	12278421
800	200	150	6185,98	251779	188936	11003599	1260252	12263851
800	200	400	6185,98	250304	187477	10988917	1260252	12249169
800	200	700	6185,98	247707	184573	10961389	1260252	12221641
800	200	1000	6185,98	245091	180885	10929844	1260252	12190096
1000	200	150	6127,09	246867	200937	10955315	1248254	12203569
1000	200	400	6127,09	245252	199292	10939002	1248254	12187256
1000	200	700	6127,09	242222	195904	10906886	1248254	12155140
1000	200	1000	6127,09	239076	191681	10870011	1248254	12118265
350	250	150	6306,30	261863	174143	11151164	1284764	12435928
350	250	400	6306,30	260874	173217	11141581	1284764	12426345
350	250	700	6306,30	259215	171266	11123517	1284764	12408281
350	250	1000	6306,30	257701	168698	11103091	1284764	12387855
600	250	150	6242,80	256632	180341	11065688	1271828	12337516
600	250	400	6242,80	255329	179111	11053012	1271828	12324840
600	250	700	6242,80	253142	176647	11029739	1271828	12301567
600	250	1000	6242,80	251027	173547	11003643	1271828	12275471
800	250	150	6185,27	251686	189027	11002584	1260108	12262692
800	250	400	6185,27	250210	187567	10987891	1260108	12247999
800	250	700	6185,27	247608	184657	10960308	1260108	12220416
800	250	1000	6185,27	244983	180961	10928678	1260108	12188786
1000	250	150	6126,71	246816	201004	10954858	1248178	12203036
1000	250	400	6126,71	245200	199358	10938534	1248178	12186712
1000	250	700	6126,71	242168	195969	10906403	1248178	12154581
1000	250	1000	6126,71	238019	191742	10864489	1248178	12112667

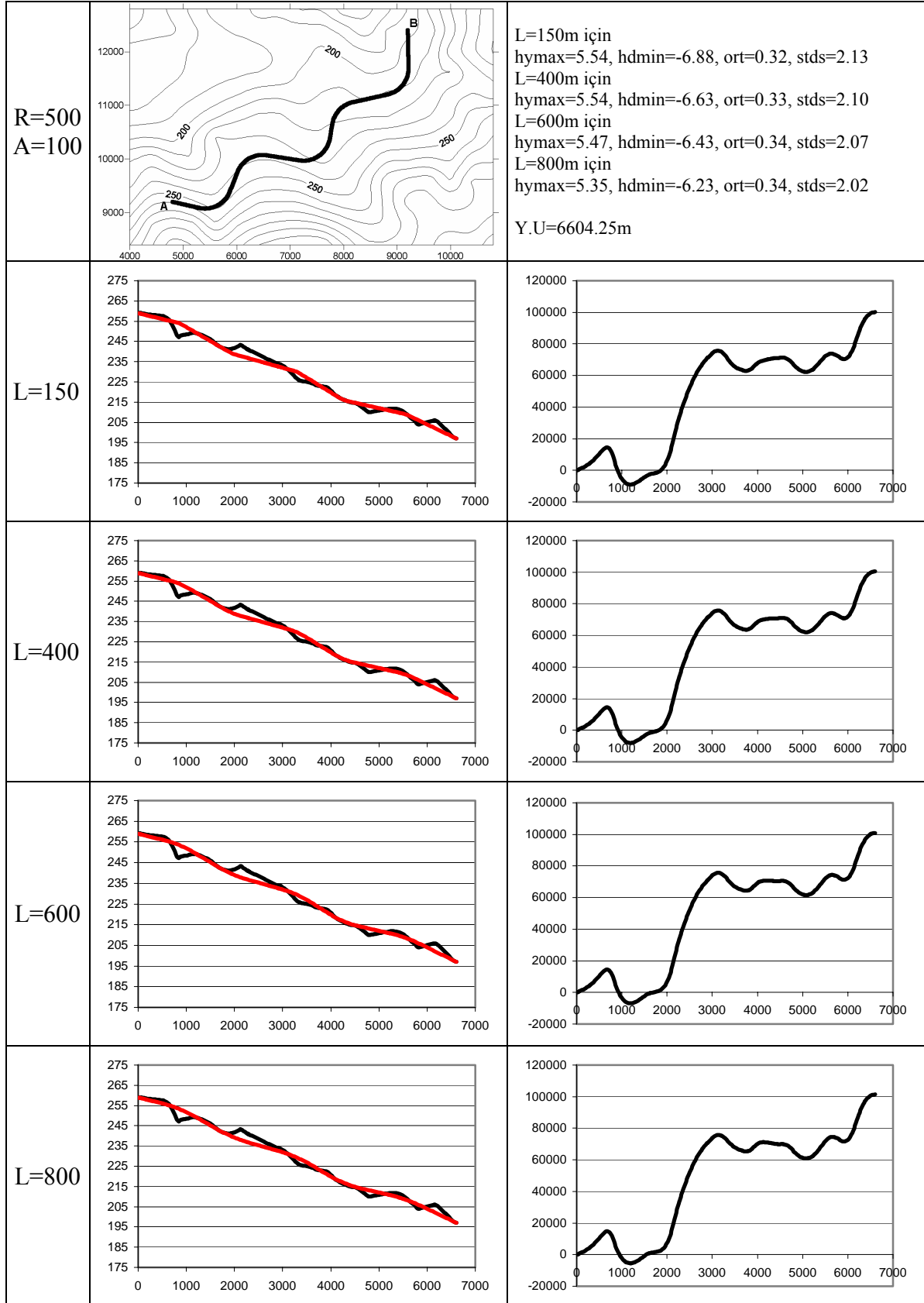
Ek 3 Üçüncü Sınıf Karayolu Geçkileri



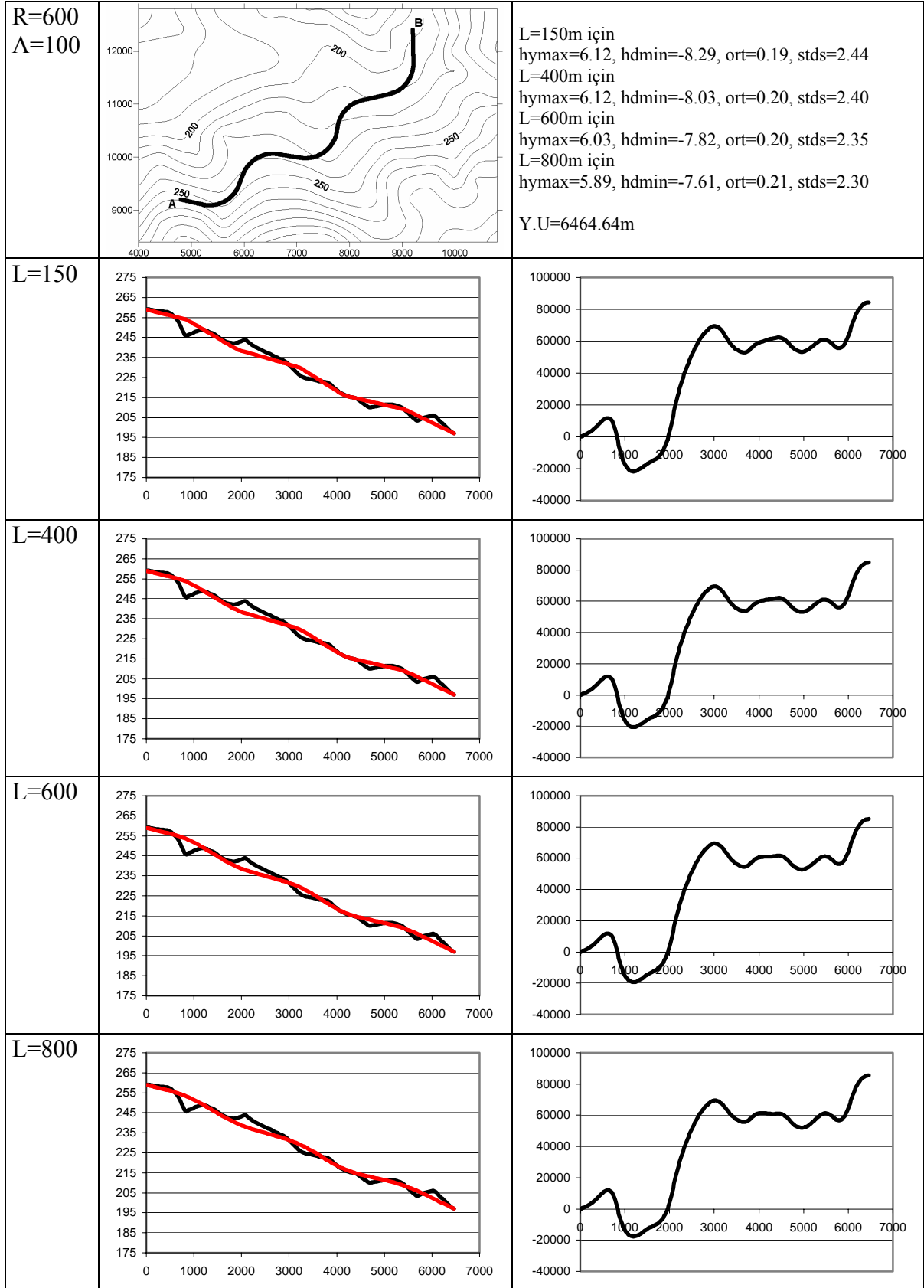
Şekil Ek 3.1 R=200 ve A=100 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



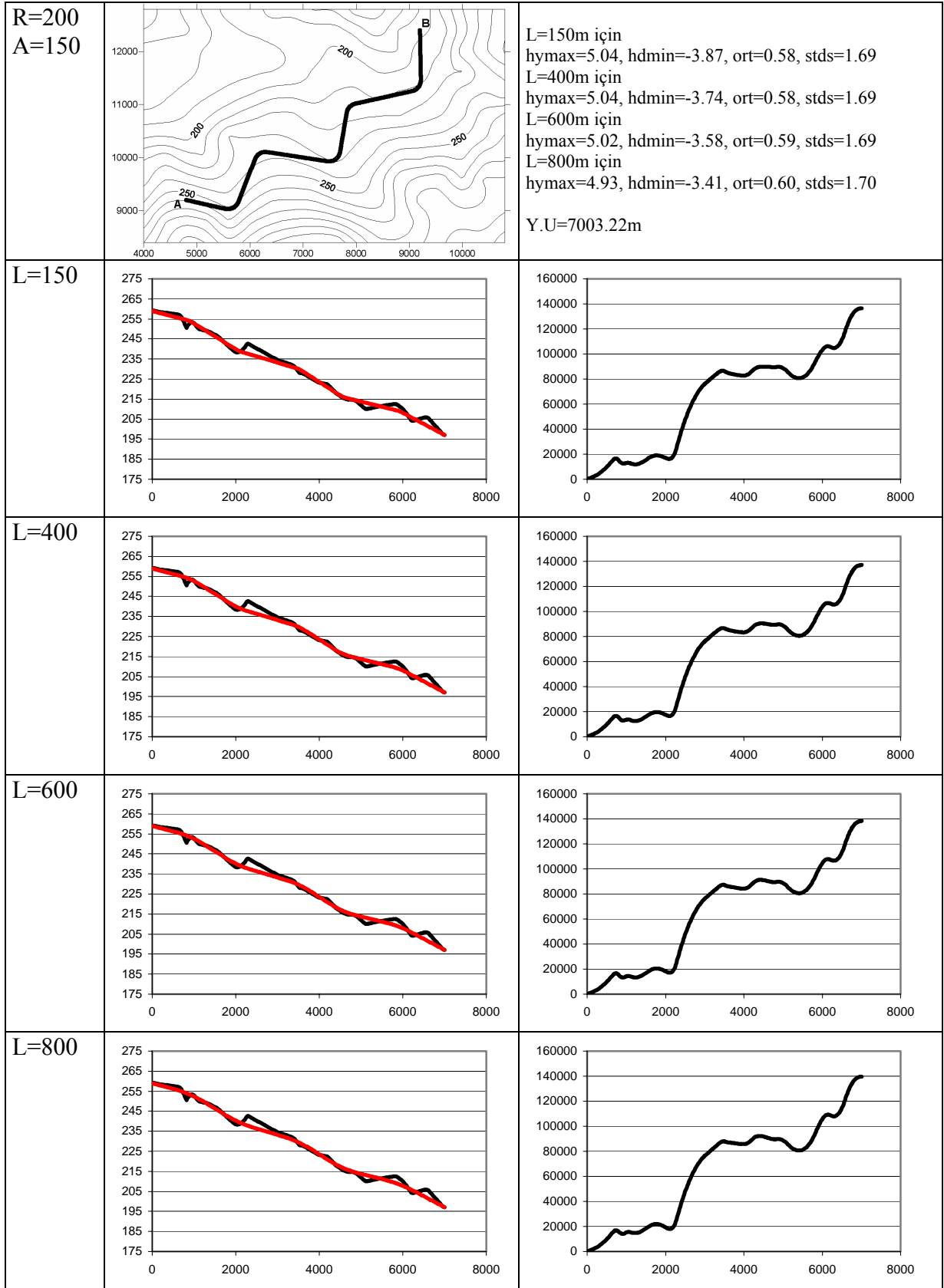
Şekil Ek 3.2 R=350 ve A=100 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



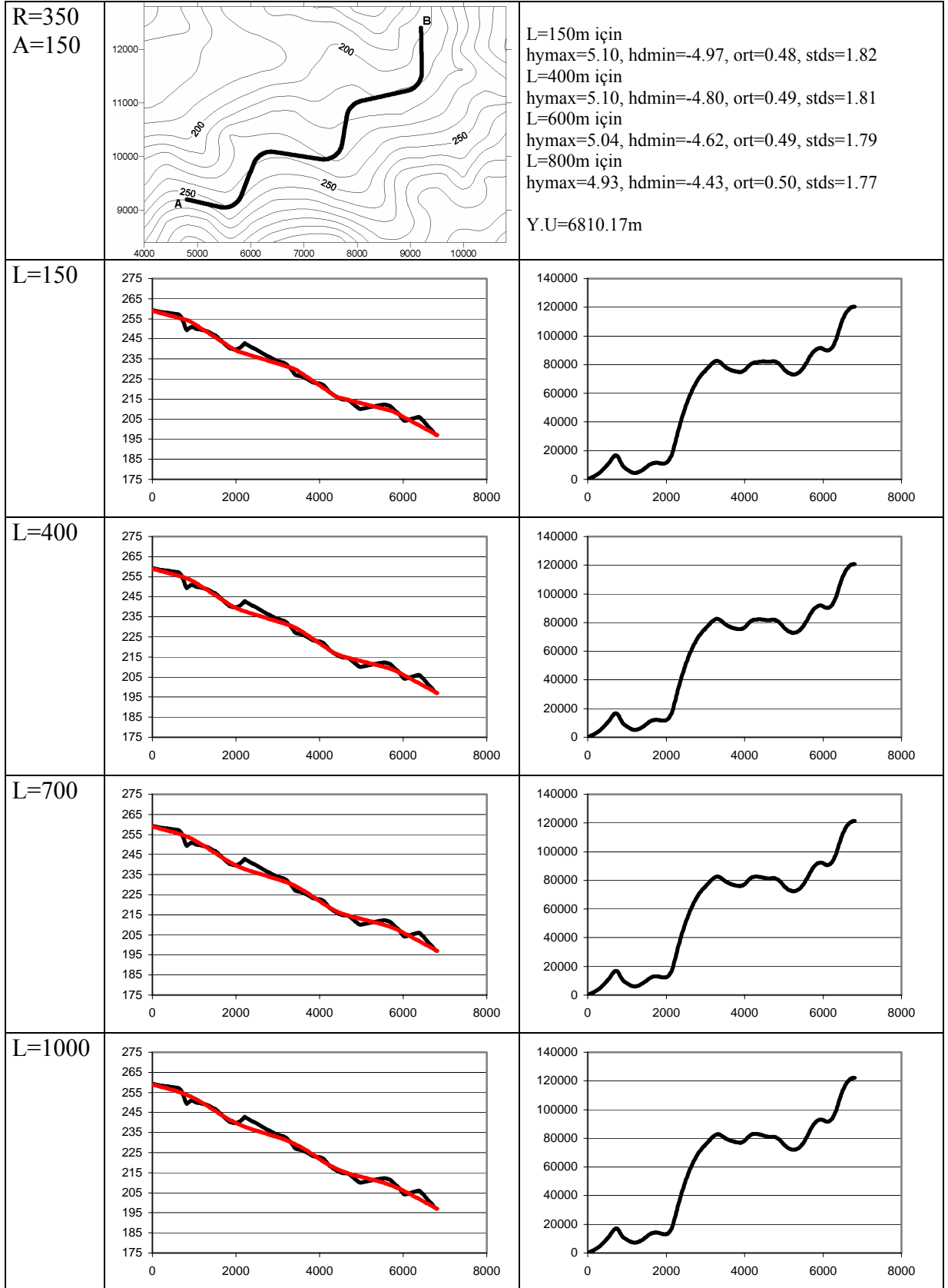
Şekil Ek 3.3 R=500 ve A=100 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



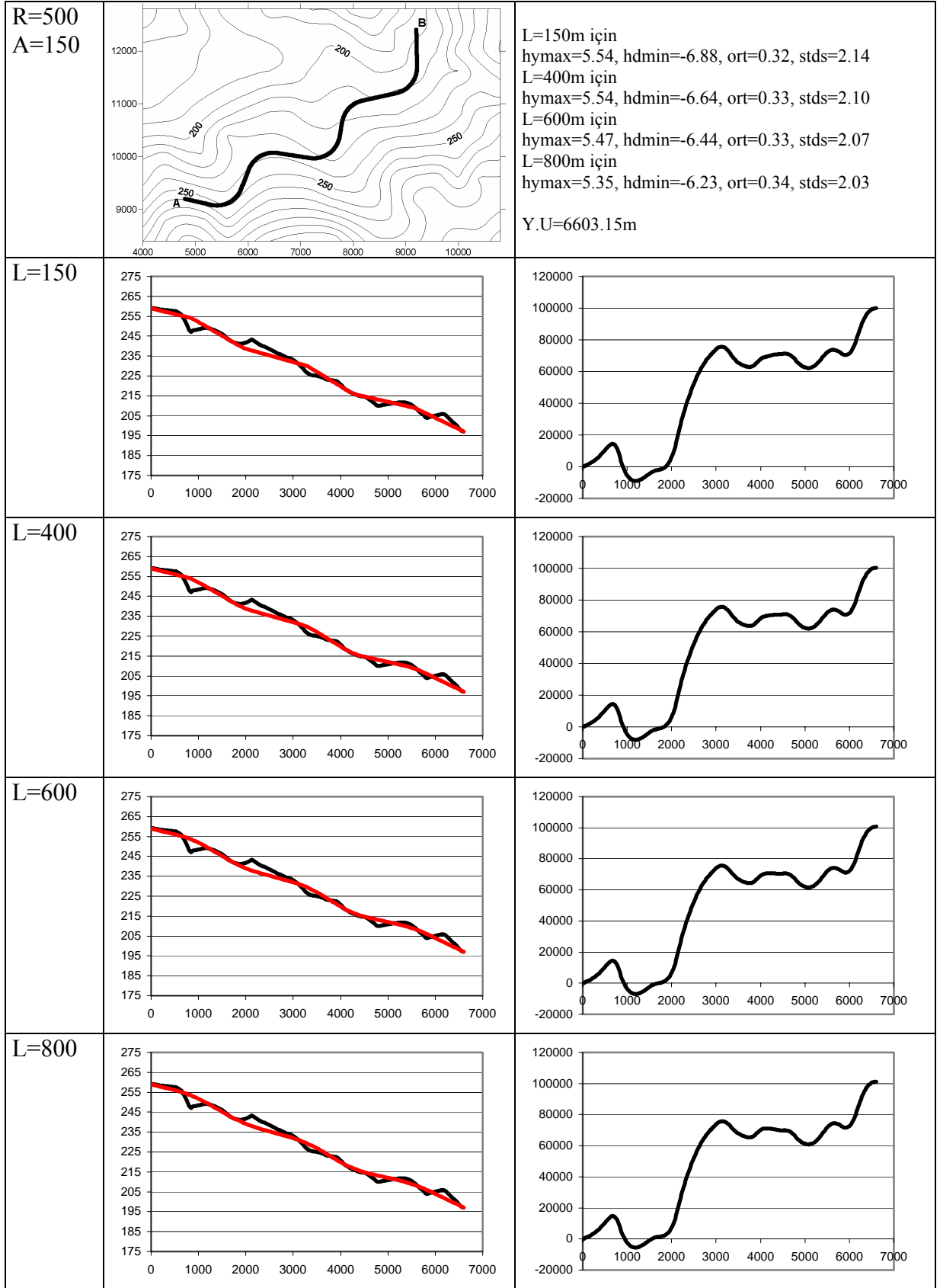
Şekil Ek 3.4 R=600 ve A=100 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



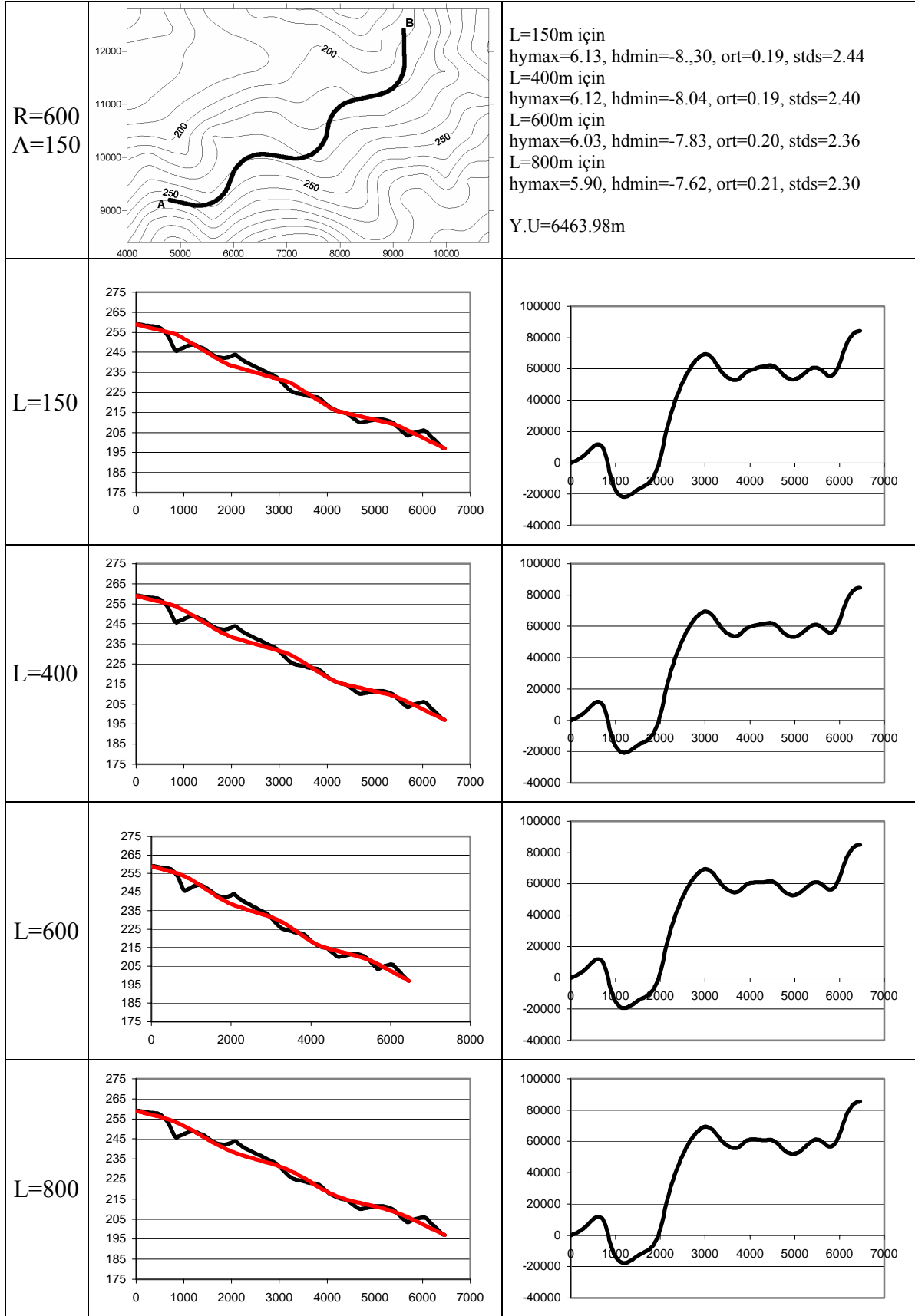
Şekil Ek 3.5 R=200 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



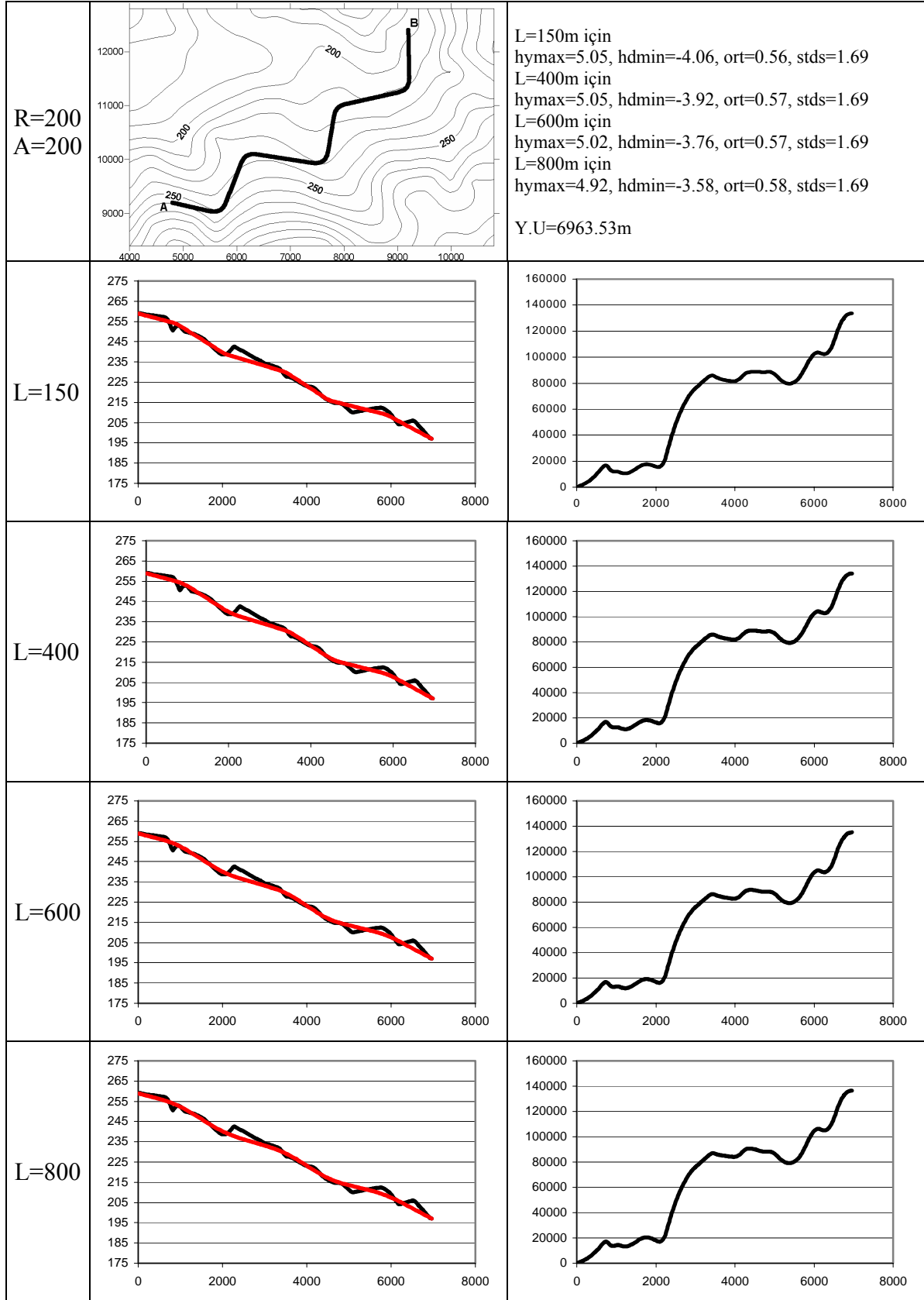
Şekil Ek 3.6 R=350 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



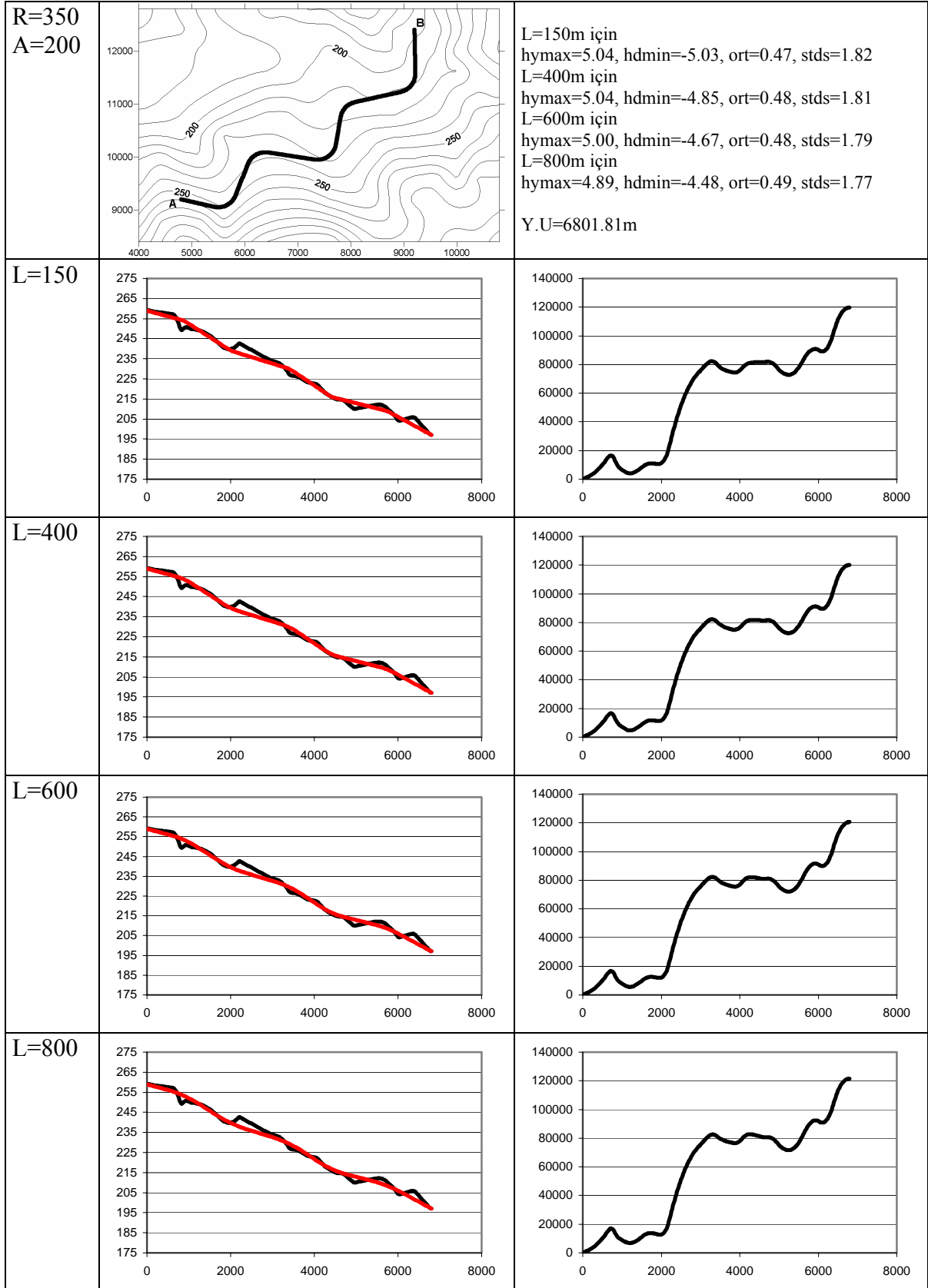
Şekil Ek 3.7 R=500 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



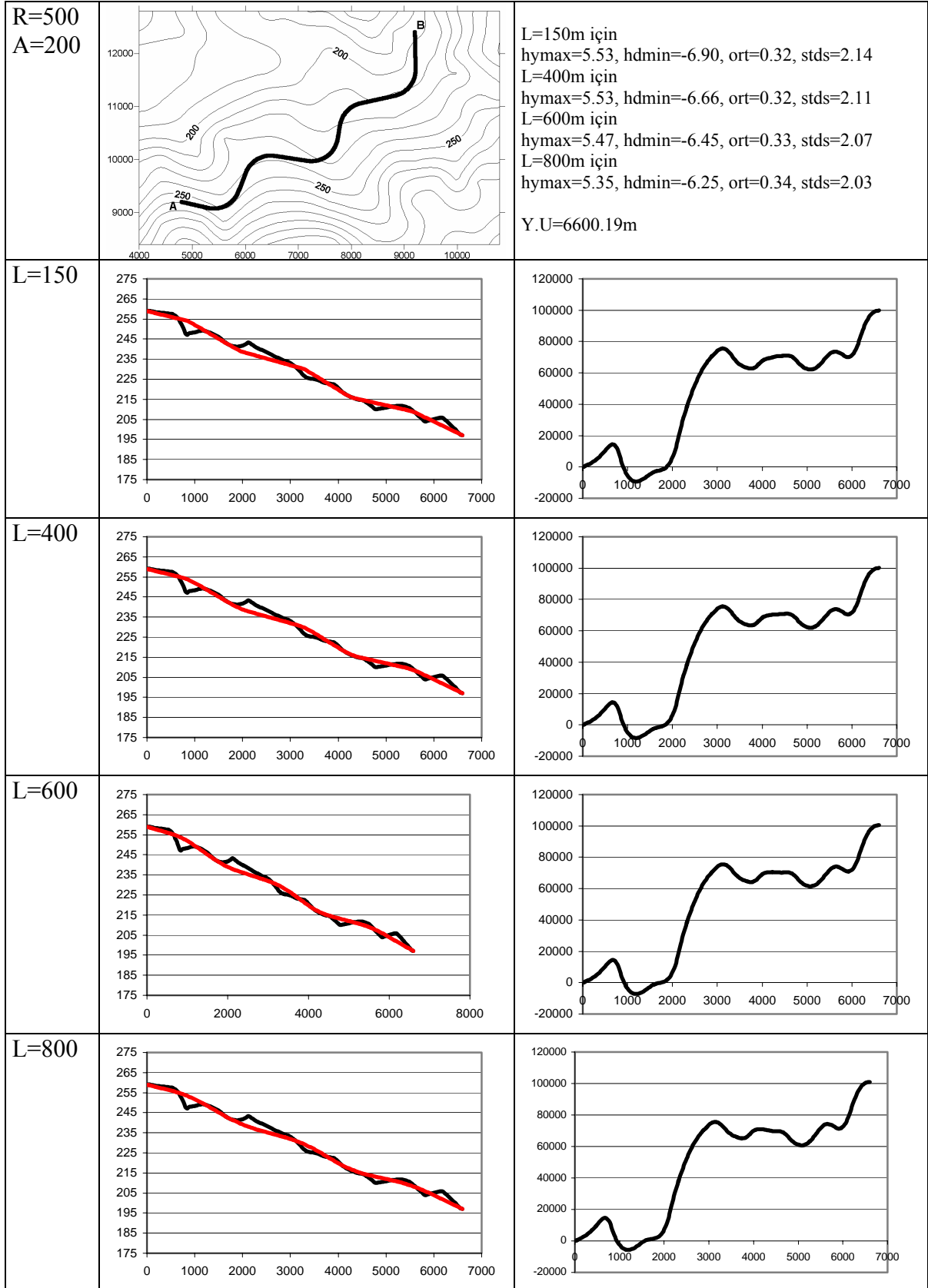
Şekil Ek 3.8 R=600 ve A=150 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



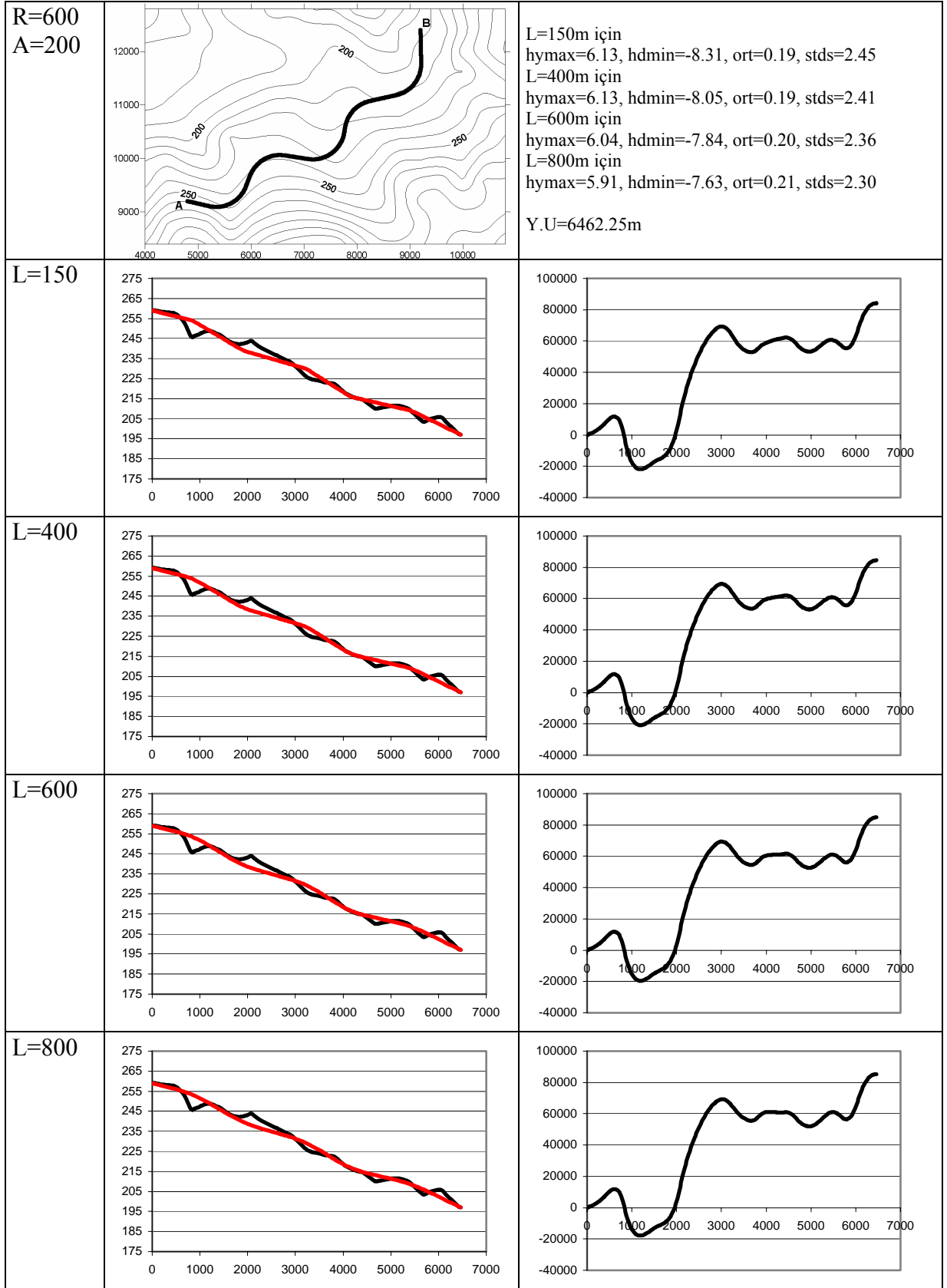
Şekil Ek 3.9 R=200 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklı düşey karp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil Ek 3.10 R=350 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları



Şekil Ek 3.11 R=500 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları

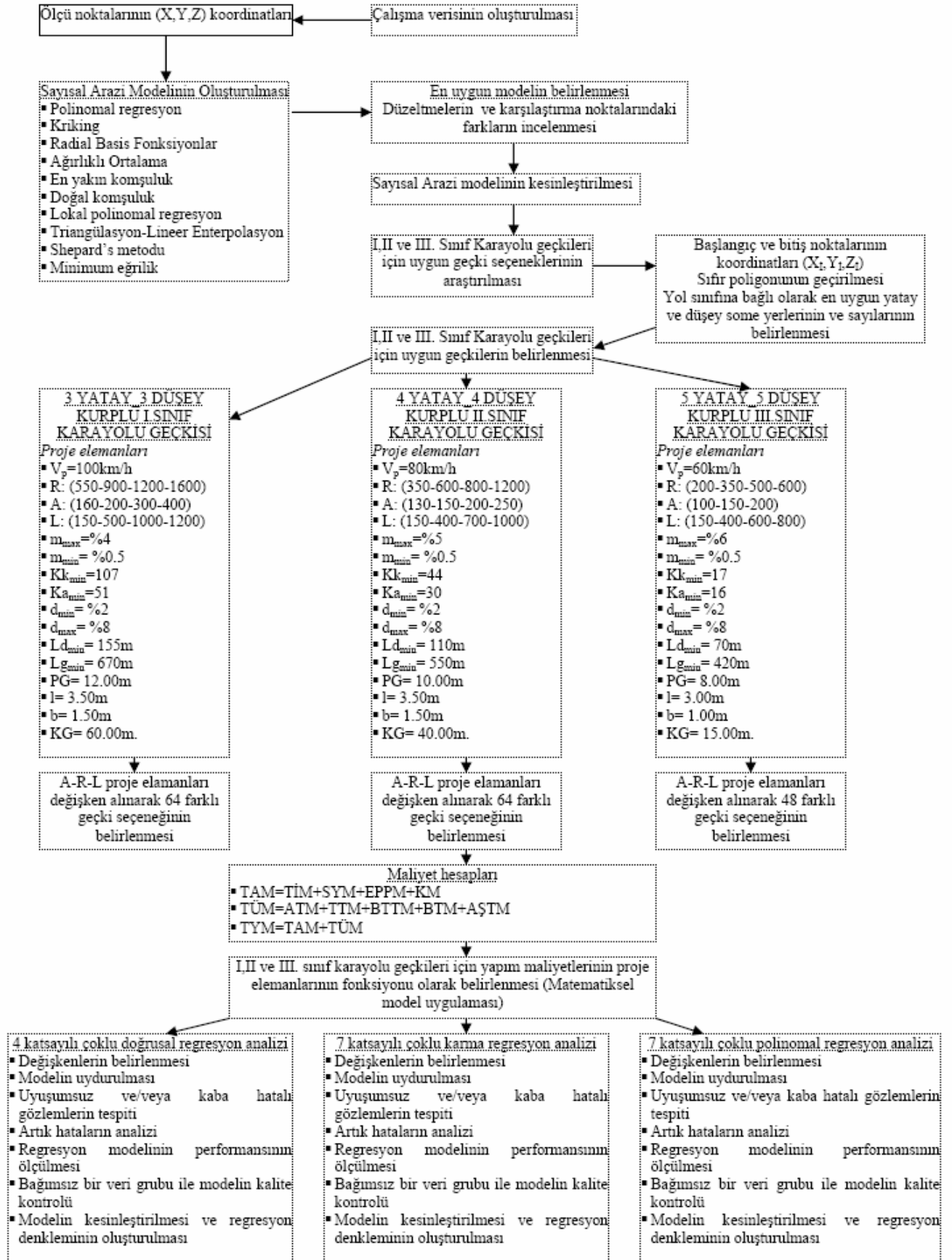


Şekil Ek 3.12 R=600 ve A=200 parametrelerine sahip geçki ekseninin farklıdüşey kurp uzunluklarına ait boykesitler ve kütleler diyagramları

Çizelge Ek 3.1 Üçüncü Sınıf Karayolu geçkisine ait maliyet hesapları

R (m)	A	L (m)	YU (m)	Y (m3)	D (m3)	TAM (YTL)	TÜM (YTL)	TYM (YTL)
200	100	150	7019,53	163588	25862	6078488	678054	6756542
200	100	400	7019,53	164312	25801	6082804	678054	6760858
200	100	650	7019,53	165859	25967	6093956	678054	6772010
200	100	900	7019,53	168115	26215	6110260	678054	6788314
350	100	150	6813,30	154568	33788	5929020	658134	6587154
350	100	400	6813,30	154333	33192	5923610	658134	6581744
350	100	600	6813,30	154329	32636	5919965	658134	6578099
350	100	800	6813,30	154599	32089	5918161	658134	6576295
500	100	150	6604,25	150082	49955	5860778	637940	6498718
500	100	400	6604,25	149150	48631	5846091	637940	6484031
500	100	600	6604,25	148092	47173	5829712	637940	6467652
500	100	800	6604,25	147045	45694	5813265	637940	6451205
600	100	150	6464,64	149846	65435	5863656	624454	6488110
600	100	400	6464,64	148397	63590	5842210	624454	6466664
600	100	600	6464,64	146708	61554	5817959	624454	6442413
600	100	800	6464,64	144828	59255	5790752	624454	6415206
200	150	150	7003,22	162627	26086	6062434	676479	6738913
200	150	400	7003,22	163262	26089	6066588	676479	6743067
200	150	600	7003,22	164326	26047	6073241	676479	6749720
200	150	800	7003,22	165879	26204	6084375	676479	6760854
350	150	150	6810,17	154491	33936	5927321	657831	6585152
350	150	400	6810,17	154237	33315	5921626	657831	6579457
350	150	600	6810,17	154214	32728	5917655	657831	6575486
350	150	800	6810,17	154461	32142	5915446	657831	6573277
500	150	150	6603,15	150046	50020	5860204	637834	6498038
500	150	400	6603,15	149115	48708	5845600	637834	6483434
500	150	600	6603,15	148051	47245	5829149	637834	6466983
500	150	800	6603,15	146995	45720	5812345	637834	6450179
600	150	150	6463,98	149833	65497	5863524	121031	5984555
600	150	400	6463,98	148382	63650	5842052	624391	6466443
600	150	600	6463,98	146689	61611	5817755	624391	6442146
600	150	800	6463,98	144807	59323	5790607	624391	6414998
200	200	150	6963,53	160581	26822	6026504	672645	6699149
200	200	400	6963,53	160963	26697	6028178	672645	6700823
200	200	600	6963,53	161737	26587	6032501	672645	6705146
200	200	800	6963,53	162994	26497	6040098	672645	6712743
350	200	150	6801,81	154132	34347	5921890	657024	6578914
350	200	400	6801,81	153853	33703	5915881	657024	6572905
350	200	600	6801,81	153784	33154	5911858	657024	6568882
350	200	800	6801,81	153991	32467	5908734	657024	6565758
500	200	150	6600,19	150013	50235	5859350	637548	6496898
500	200	400	6600,19	149068	48898	5844494	637548	6482042
500	200	600	6600,19	147988	47448	5828022	637548	6465570
500	200	800	6600,19	146914	45892	5810900	637548	6448448
600	200	150	6462,25	149811	65660	5863249	624224	6487473
600	200	400	6462,25	148355	63806	5841700	624224	6465924
600	200	600	6462,25	146651	61748	5817207	624224	6441431
600	200	800	6462,25	144760	59460	5790000	624224	6414224

Ek 4 Uygulama Akış Diyagramı



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	28.01.1974	
Doğum Yeri	Ereğli-Konya	
Lise	1988-1991	Ereğli Lisesi
Lisans	1991-1995	Yıldız Teknik Ünivesitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995-1996	İngilizce Hazırlık
	1996-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora	1999-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı
Çalıştığı kurumlar		
	1995-1996	Harkap Mühndislik Ltd.Şti.
	1998	München Bayerishes Landesvermessungsamt'ta 8 hafta staj
	1997-Devam ediyor	Yıldız Teknik Ünivesitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi