

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ - FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL YAĞMUR SUYU VE KANALİZASYON SİSTEMLERİNİN
OPTİMİZASYONU**

DOKTORA TEZİ

İnşaat Yüksek Mühendisi Tülin ÇETİN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Hidrolik

MANİSA 2014

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ - FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL YAĞMUR SUYU VE KANALİZASYON SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

DOKTORA TEZİ

İnşaat Yüksek Mühendisi Tülin ÇETİN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09 Ocak 2014

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Şubat 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bekir SOLMAZ (CBÜ)

Prof. Dr. Ümit GÖKKUŞ (CBÜ)

Doç. Dr. Hakan ŞİRİN (AÜ)

Yrd. Doç. Dr. Ceyhun ARAZ (CBÜ)

MANİSA 2014

I. İÇİNDEKİLER

I.	İÇİNDEKİLER	I
II.	ŞEKİLLER LİSTESİ	V
III.	ÇİZELGELER LİSTESİ	XIII
1.	GİRİŞ.....	4
2.	LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	8
3.	YAĞMUR SUYU VE KANALİZASYON SİSTEMLERİ TASARIM ESASLARI.....	13
3.1	Hız.....	15
3.2	Boru Çapı ve Bacalar Arası Mesafe.....	15
3.3	Debi	17
3.4	Doluluk Oranı	17
3.5	Boruların Üstündeki Dolgu Kalınlığı ve Hendek Derinlikleri	17
3.6	Bacalar ve Yerleri.....	18
3.7	Kademe	19
3.8	İklim.....	19
3.9	Hesap Yöntemleri.....	20
3.10	Kısmen Dolu Kanallarda Akım	21
3.11	Şebeke Maliyetinin Belirlenmesi	23
4.	GENETİK ALGORİTMA	25
4.1	Genetik Algoritma Parametrelerinin Seçimi ve Gösterimi	28
4.1.1	Kodlama.....	28
4.1.2	Nesil Sayısı	29
4.1.3	Genetik Algoritmanın Sonlandırılması	30
4.1.4	Birey Sayısı	30
4.1.5	Bit Sayısı Uzunluğu	30
4.1.6	Ebeveyn Seçimi.....	31
4.1.7	Çaprazlama.....	34
4.1.8	Mutasyon	37

4.1.9	Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme.....	38
4.1.10	Elitizm	39
4.1.11	Koruma Oranı.....	39
4.1.12	Nesil Yenileme	39
5.	YAĞMUR SUYU / KANALİZASYON SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU	41
5.1	Yön Optimizasyonu	41
5.1.1	Girdi Olarak Alınan Veriler	41
5.1.2	Değişmeyen Yönler	43
5.1.3	Yön Değerlerinin Rastlantısal Olarak Belirlenmesi	44
5.1.4	Yön Değerlerinin Kontrolü.....	45
5.1.5	Maliyet Hesabı	48
5.1.6	Genetik Algoritmaların Kullanımı.....	52
5.2	Hidrolik Optimizasyonu.....	58
5.2.1	Girdi Olarak Alınan Veriler	58
5.2.2	Çap ve Eğim Değerlerinin Rastlantısal Olarak Belirlenmesi.....	61
5.2.3	Hidrolik Hesaplara Göre Çap ve Eğim Değerlerinin Kontrolü.....	62
5.2.4	Maliyet Hesabı	63
5.2.5	Genetik Algoritmaların Kullanımı.....	63
5.2.6	İşlem Tekrarı	73
5.2.7	Şebekeyi Bölümlere Ayırıp Çalıştırma Denemesi	73
6.	OPTİMİZASYON DENEMELERİ	75
6.1	Yön Optimizasyonu Denemeleri	75
6.1.1	Örnek Şebeke 1	76
6.1.2	Örnek Şebeke 2	77
6.1.3	Örnek Şebeke 3	78
6.1.4	Örnek Şebeke 4	79
6.1.5	Örnek Şebeke 5	80
6.1.5.1	Birey Sayısı Denemesi	82
6.1.5.2	Elitizm Oranı Denemesi.....	85

6.1.5.3	Turnuva Oranı Denemesi	87
6.1.5.4	İlave Seçim Algoritmaları Denemesi	89
6.1.5.5	Koruma Yöntemi Denemesi	91
6.1.5.6	Çaprazlama Oranları Denemeleri	93
6.1.5.7	Mutasyon Oranı Denemesi	95
6.1.5.8	Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme Denemesi	98
6.1.5.9	Yön Optimizasyonu Sonucu.....	101
6.2	Hidrolik Optimizasyon Denemeleri	101
6.2.1	Örnek Şebeke 5	103
6.2.2	Örnek Şebeke 6	107
6.2.2.1	Birey Sayısı Denemesi - 1	108
6.2.2.2	Elitizm Oranı Denemesi - 1	111
6.2.2.3	Turnuva Oranı Denemesi - 1	115
6.2.2.4	İlave Seçim Algoritmaları Denemesi - 1	117
6.2.2.5	Koruma Yöntemi Denemesi - 1	121
6.2.2.6	Çaprazlama Algoritmaları Denemeleri – 1.....	124
6.2.2.7	Çaprazlama Oranları Denemeleri - 1	127
6.2.2.8	Mutasyon Oranı Denemesi - 1	130
6.2.2.9	Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme Denemesi – 1	133
6.2.2.10	2. Grup Deneme.....	136
6.2.2.11	Birey Sayısı Denemesi – 2	137
6.2.2.12	Elitizm Oranı Denemesi - 2.....	139
6.2.2.13	Turnuva Oranı Denemesi - 2	142
6.2.2.14	İlave Seçim Algoritmaları Denemesi - 2	145
6.2.2.15	Koruma Yöntemi Denemesi – 2	148
6.2.2.16	Çaprazlama Algoritmaları Denemeleri - 2	151
6.2.2.17	Çaprazlama Oranları Denemeleri - 2	154
6.2.2.18	Mutasyon Oranı Denemesi - 2.....	156
6.2.2.19	Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme Denemesi - 2.....	157

6.2.2.20	Nesil Yenileme Denemesi.....	162
6.2.2.21	Şebekeyi Bölümlere Ayırıp Çalıştırma Denemesi	165
6.2.2.22	Hidrolik Optimizasyonu Sonucu	168
7.	SONUÇLAR.....	172
8.	KAYNAKLAR	178
9.	EKLER.....	185
9.1	Tablolar.....	185
9.2	Grafikler	203
9.2.1	Örnek Şebeke – 5 Yön Optimizasyonu Denemesi Grafikleri.....	203
9.2.2	Örnek Şebeke – 6 Hidrolik Optimizasyon Denemesi Grafikleri.....	218

II. ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Kısmen dolu kanalın hidrolik elemanlarının tarifi (Muslu, 2002).....	22
Şekil 3.2 Kısmen dolu kanallarda debi, su yüksekliği ve hız arasındaki bağıntı grafiği (Muslu, 2002)	22
Şekil 4.1 Genotip ve fenotip gösterimi.....	26
Şekil 4.2 Bir bireyin gösterimi	26
Şekil 4.3 Genlerin gösterimi.....	26
Şekil 4.4 Nesil gösterimi.....	26
Şekil 4.5 Genetik algoritma genel işleyişi.....	27
Şekil 4.6 Rulet tekeri gösterimi	31
Şekil 4.7. Rulet tekerinin farklı bir gösterimi	32
Şekil 4.8 Sıralama öncesi uygunluk değeri grafiği.....	33
Şekil 4.9 Sıralama sonrası uygunluk değeri grafiği.....	33
Şekil 4.10 Uniform çaprazlama gösterimi.....	34
Şekil 4.11 Tek noktalı çaprazlama gösterimi.....	35
Şekil 4.12 İki noktalı çaprazlama gösterimi	35
Şekil 4.13 Aritmetik çaprazlama gösterimi	36
Şekil 4.14 Mutasyon gösterimi.....	37
Şekil 5.1 Yön optimizasyonu programı akış şeması	42
Şekil 5.2 Ağ formunda olan bir şebeke örneği.....	43
Şekil 5.3 Ağaç yapısı formunda olan bir şebeke örneği.....	44
Şekil 5.4 Yön verileri ile ilgili bir tasarım alternatifinin ikili bireyi	44
Şekil 5.5 Mecburi yön belirleme.....	45
Şekil 5.6 Hatalı deşarj olma durumu	46
Şekil 5.7 Hatalı deşarjın düzeltilmesi	46
Şekil 5.8 Birden fazla çıkış olma durumu	47
Şekil 5.9 Birden fazla çıkışın düzeltilmesi	47
Şekil 5.10 Şebekede döngü olma durumu	48
Şekil 5.11 Yön optimizasyonu için genetik algoritma akış şeması	53
Şekil 5.12 Hidrolik optimizasyon programı akış şeması.....	59
Şekil 5.13 Hidrolik optimizasyon programı çap kontrolü bölümü akış şeması	60
Şekil 5.14 Hidrolik optimizasyon programı doluluk oranı kontrolü bölümü akış şeması	60
Şekil 5.15 Hidrolik optimizasyon programı hız kontrolü bölümü akış şeması	60
Şekil 5.16 Hidrolik optimizasyon için genetik algoritma akış şeması - 1	65
Şekil 5.17 Hidrolik optimizasyon için genetik algoritma akış şeması – 2	66
Şekil 5.18 Hidrolik optimizasyon için genetik aloritmada dinamik nesil yenileme akış şeması	66

Şekil 5.19 Hidrolik optimizasyon için genetik algorithmada dinamik mutasyon akış şeması	67
Şekil 5.20 Bölümlere ayrılabilir şebeke örneği	74
Şekil 6.1 Kontrol amacı ile dikkate alınan yapay şebeke	76
Şekil 6.2 Çok düz arazi örneğinde hat yönleri	77
Şekil 6.3 Tersine eğimli arazi örneğinde hat yönleri	78
Şekil 6.4 Çok dik arazi örneği için hat yönleri	79
Şekil 6.5 Kademe örneği için şebeke	79
Şekil 6.6 Kademe örneği için hat yönleri	80
Şekil 6.7 Örnek şebeke – 5 çizimi	81
Şekil 6.8 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği	83
Şekil 6.9 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği	86
Şekil 6.10 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği	88
Şekil 6.11 İlave seçim algoritmaları için minimum değerlerin grafiği	90
Şekil 6.12 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği	92
Şekil 6.13 Her çaprazlama oranı için minimum değerlerin grafiği	94
Şekil 6.14 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği	96
Şekil 6.15 Dinamik mutasyon oranı grafiği	99
Şekil 6.16 Yön optimizasyonu ile elde edilen şebeke tasarımı	100
Şekil 6.17 Örnek şebeke 5 en uygun maliyetler grafiği	105
Şekil 6.18 Örnek şebeke 5 en uygun maliyetler grafiği detay-1	105
Şekil 6.19 Örnek şebeke 5 en uygun maliyetler grafiği detay-2	105
Şekil 6.20 Örnek şebeke 5 en uygun değer grafiği	106
Şekil 6.21 Örnek şebeke 5 en uygun değer grafiği detay-1	106
Şekil 6.22 Örnek şebeke 5 en uygun değer grafiği detay-2	106
Şekil 6.23 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği	110
Şekil 6.24 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-1	110
Şekil 6.25 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-2	110
Şekil 6.26 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği	113
Şekil 6.27 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	113
Şekil 6.28 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2	113
Şekil 6.29 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği	116
Şekil 6.30 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	116
Şekil 6.31 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2	116
Şekil 6.32 İlave seçim algoritmaları için minimum değerlerin grafiği	120
Şekil 6.33 İlave seçim algoritmaları için minimum değerlerin grafiği detay-1	120
Şekil 6.34 İlave seçim algoritmaları için minimum değerlerin grafiği detay-2	120
Şekil 6.35 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği	123

Şekil 6.36 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği detay-1	123
Şekil 6.37 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği detay-2	123
Şekil 6.38 Her çaprazlama algoritması için minimum değerlerin grafiği	126
Şekil 6.39 Her çaprazlama algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-1	126
Şekil 6.40 Her çaprazlama algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	126
Şekil 6.41 Çaprazlama oranları için minimum değerlerin grafiği	129
Şekil 6.42 Çaprazlama oranları için minimum değerlerin grafiği detay-1	129
Şekil 6.43 Çaprazlama oranları için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	129
Şekil 6.44 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği	131
Şekil 6.45 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	131
Şekil 6.46 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	131
Şekil 6.47 Dinamik mutasyon için minimum değerlerin grafiği	135
Şekil 6.48 Dinamik mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-1	135
Şekil 6.49 Dinamik mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	135
Şekil 6.50 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği.....	138
Şekil 6.51 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-1	138
Şekil 6.52 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-2	138
Şekil 6.53 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği.....	141
Şekil 6.54 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	141
Şekil 6.55 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2	141
Şekil 6.56 Her turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği.....	144
Şekil 6.57 Her turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	144
Şekil 6.58 Her turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2	144
Şekil 6.59 Her ilave seçim algoritması için minimum değerlerin grafiği	146
Şekil 6.60 Her ilave seçim algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-1	146
Şekil 6.61 Her ilave seçim algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	146
Şekil 6.62 Her koruma oranı algoritması için minimum değerlerin grafiği.....	149
Şekil 6.63 Her koruma oranı algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-1	149
Şekil 6.64 Her koruma oranı algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-2	149
Şekil 6.65 Her çaprazlama yöntemi için minimum değerlerin grafiği	152
Şekil 6.66 Her çaprazlama yöntemi için minimum değerlerin grafiği detay-1.....	152
Şekil 6.67 Her çaprazlama yöntemi için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	152
Şekil 6.68 Her çaprazlama oranı için minimum değerlerin grafiği	155
Şekil 6.69 Her çaprazlama oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	155
Şekil 6.70 Her çaprazlama oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	155
Şekil 6.71 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği	158
Şekil 6.72 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1	158

Şekil 6.73 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2.....	158
Şekil 6.74 Mutasyon için minimum değerlerin grafiği.....	161
Şekil 6.75 Mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-1	161
Şekil 6.76 Mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-2	161
Şekil 6.77 Nesil yenileme karşılaştırması grafiği	164
Şekil 6.78 Nesil yenileme karşılaştırması grafiği detay-1	164
Şekil 6.79 Nesil yenileme karşılaştırması grafiği detay-2.....	164
Şekil 6.80 Şebekeyi bölerek hesaplama için grafik.....	167
Şekil 6.81 Şebekeyi bölerek hesaplama grafiği detay-1	167
Şekil 6.82 Şebekeyi bölerek hesaplama grafiği detay-2	167
Şekil 6.83 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu maliyet karşılaştırması grafiği	171
Şekil 6.84 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu maliyet karşılaştırması grafiği detay-1	171
Şekil 6.85 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu maliyet karşılaştırması grafiği detay-2	171
Şekil 9.1 Birey sayısı 20 için grafik	203
Şekil 9.2 Birey sayısı 40 için grafik	203
Şekil 9.3 Birey sayısı 60 için grafik	204
Şekil 9.4 Birey sayısı 80 için grafik	204
Şekil 9.5 Birey sayısı 100 için grafik	205
Şekil 9.6 Denenen tüm birey sayısı sonuçları	205
Şekil 9.7 Elitizm oranı %1 grafiği	206
Şekil 9.8 Elitizm oranı %5 grafiği	206
Şekil 9.9 Elitizm oranı %10 grafiği	207
Şekil 9.10 Denenen tüm tüm elitizm oranları grafiği	207
Şekil 9.11 Turnuva oranı = 0,50 grafiği	208
Şekil 9.12 Turnuva oranı = 0,75 grafiği	208
Şekil 9.13 Denenen tüm turnuva oranları grafiği	209
Şekil 9.14 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu grafiği	209
Şekil 9.15 En iyilerle (%10) seçim algoritması grafiği	210
Şekil 9.16 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği	210
Şekil 9.17 Rastlantısal koruma yöntemi grafiği.....	211
Şekil 9.18 İyiden (%50) koruma yöntemi grafiği	211
Şekil 9.19 İyiden (%90) koruma yöntemi grafiği	212
Şekil 9.20 İyiden (%100) koruma yöntemi grafiği	212
Şekil 9.21 Denenen tüm koruma yöntemleri grafiği	213
Şekil 9.22 Çaprazlama oranı %30 grafiği.....	213
Şekil 9.23 Çaprazlama oranı %50 grafiği.....	214
Şekil 9.24 Çaprazlama oranı %70 grafiği.....	214

Şekil 9.25 Denenen tüm çaprazlama oranları grafiği	215
Şekil 9.26 Mutasyon oranı %1 grafiği	215
Şekil 9.27 Mutasyon oranı %3 grafiği	216
Şekil 9.28 Mutasyon oranı %5 grafiği	216
Şekil 9.29 Mutasyon oranı %10 grafiği.....	217
Şekil 9.30 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği.....	217
Şekil 9.31 Dinamik mutasyon oranı grafiği.....	218
Şekil 9.32 Birey sayısı = 60 için grafik	219
Şekil 9.33 Birey sayısı = 60 grafiği detay-1	219
Şekil 9.34 Birey sayısı = 60 grafiği detay-2	219
Şekil 9.35 Birey sayısı = 80 için grafik	220
Şekil 9.36 Birey sayısı = 80 grafiği detay-1	220
Şekil 9.37 Birey sayısı = 80 grafiği detay-2	220
Şekil 9.38 Birey sayısı = 100 için grafik.....	221
Şekil 9.39 Birey sayısı = 100 grafiği detay-1	221
Şekil 9.40 Birey sayısı = 100 grafiği detay-2	221
Şekil 9.41 Birey sayısı = 120 için grafik.....	222
Şekil 9.42 Birey sayısı = 120 grafiği detay-1	222
Şekil 9.43 Birey sayısı = 120 grafiği detay-2	222
Şekil 9.44 Birey sayısı = 140 için grafik.....	223
Şekil 9.45 Birey sayısı = 140 grafiği detay-1	223
Şekil 9.46 Birey sayısı = 140 grafiği detay-2	223
Şekil 9.47 Denenen tüm birey sayısı sonuçları için grafik.....	224
Şekil 9.48 Denenen tüm birey sayısı sonuçları grafiği detay-1	224
Şekil 9.49 Denenen tüm birey sayısı sonuçları grafiği detay-2	224
Şekil 9.50 Elitizm oranı %0 grafiği	225
Şekil 9.51 Elitizm oranı %0 grafiği detay-1	225
Şekil 9.52 Elitizm oranı %0 grafiği detay-2.....	225
Şekil 9.53 Elitizm oranı %1 grafiği	226
Şekil 9.54 Elitizm oranı %1 grafiği detay-1	226
Şekil 9.55 Elitizm oranı %1 grafiği detay-2.....	226
Şekil 9.56 Elitizm oranı %3 grafiği	227
Şekil 9.57 Elitizm oranı %3 grafiği detay-1	227
Şekil 9.58 Elitizm oranı %3 grafiği detay-2.....	227
Şekil 9.59 Elitizm oranı %5 grafiği	228
Şekil 9.60 Elitizm oranı %5 grafiği detay-1	228
Şekil 9.61 Elitizm oranı %5 grafiği detay-2.....	228

Şekil 9.62 Elitizm oranı %10 grafiği	229
Şekil 9.63 Elitizm oranı %10 grafiği detay-1	229
Şekil 9.64 Elitizm oranı %10 grafiği detay-2	229
Şekil 9.65 Denenen tüm elitizm oranları grafiği	230
Şekil 9.66 Denenen tüm elitizm oranları grafiği detay-1	230
Şekil 9.67 Denenen tüm elitizm oranları grafiği detay-2	230
Şekil 9.68 Turnuva oranı = 0,50 için grafik	231
Şekil 9.69 Turnuva oranı = 0,50 grafiği detay-1	231
Şekil 9.70 Turnuva oranı = 0,50 grafiği detay-2	231
Şekil 9.71 Turnuva oranı = 0,75 için grafik	232
Şekil 9.72 Turnuva oranı = 0,75 grafiği detay-1	232
Şekil 9.73 Turnuva oranı = 0,75 grafiği detay-2	232
Şekil 9.74 Denenen tüm turnuva oranları için grafik	233
Şekil 9.75 Denenen tüm turnuva oranları grafiği detay-1	233
Şekil 9.76 Denenen tüm turnuva oranları grafiği detay-2	233
Şekil 9.77 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu için grafik	234
Şekil 9.78 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu grafiği detay-1	234
Şekil 9.79 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu grafiği detay-2	234
Şekil 9.80 En düşük değerle (1 adet) seçim algoritması için grafik	235
Şekil 9.81 En düşük değerle (1 adet) seçim algoritması grafiği detay-1	235
Şekil 9.82 En düşük değerle (1 adet) seçim algoritması grafiği detay-2	235
Şekil 9.83 En iyilerle (%10) seçim algoritması için grafik	236
Şekil 9.84 En iyilerle (%10) seçim algoritması grafiği detay-1	236
Şekil 9.85 En iyilerle (%10) seçim algoritması grafiği detay-2	236
Şekil 9.86 En düşük değer ve en iyilerle seçim algoritmaları kullanılması grafiği	237
Şekil 9.87 En düşük değer ve en iyilerle seçim algoritmaları kullanılması grafiği detay-1	237
Şekil 9.88 En düşük değer ve en iyilerle seçim algoritmaları kullanılması grafiği detay-2	237
Şekil 9.89 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği	238
Şekil 9.90 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği detay-1	238
Şekil 9.91 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği detay-2	238
Şekil 9.92 Rastlantısal koruma yöntemi için grafik	239
Şekil 9.93 Rastlantısal koruma yöntemi grafiği detay-1	239
Şekil 9.94 Rastlantısal koruma yöntemi grafiği detay-2	239
Şekil 9.95 %50 iyiden koruma yöntemi için grafik	240
Şekil 9.96 %50 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-1	240
Şekil 9.97 %50 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-2	240
Şekil 9.98 %90 iyiden koruma yöntemi için grafik	241

Şekil 9.99 %90 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-1	241
Şekil 9.100 %90 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-2	241
Şekil 9.101 %100 iyiden koruma yöntemi için grafik.....	242
Şekil 9.102 %100 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-1	242
Şekil 9.103 %100 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-2	242
Şekil 9.104 Denenen tüm koruma yöntemleri için grafik.....	243
Şekil 9.105 Denenen tüm koruma yöntemleri grafiği detay-1.....	243
Şekil 9.106 Denenen tüm koruma yöntemleri grafiği detay-2.....	243
Şekil 9.107 Uniform çaprazlama yöntemi için grafik	244
Şekil 9.108 Uniform çaprazlama yöntemi grafiği detay-1	244
Şekil 9.109 Uniform çaprazlama yöntemi grafiği detay-2.....	244
Şekil 9.110 Tek noktalı çaprazlama yöntemi için grafik	245
Şekil 9.111 Tek noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-1	245
Şekil 9.112 Tek noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-2.....	245
Şekil 9.113 İki noktalı çaprazlama yöntemi için grafik.....	246
Şekil 9.114 İki noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-1	246
Şekil 9.115 İki noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-2	246
Şekil 9.116 Denenen tüm çaprazlama algoritmaları için grafik	247
Şekil 9.117 Denenen tüm çaprazlama algoritmaları grafiği detay-1	247
Şekil 9.118 Denenen tüm çaprazlama algoritmaları grafiği detay-2	247
Şekil 9.119 Çaprazlama oranı %30 için grafik.....	248
Şekil 9.120 Çaprazlama oranı %30 grafiği detay-1	248
Şekil 9.121 Çaprazlama oranı %30 grafiği detay-2	248
Şekil 9.122 Çaprazlama oranı %50 için grafik.....	249
Şekil 9.123 Çaprazlama oranı %50 grafiği detay-1	249
Şekil 9.124 Çaprazlama oranı %50 grafiği detay-2	249
Şekil 9.125 Çaprazlama oranı %70 için grafik.....	250
Şekil 9.126 Çaprazlama oranı %70 grafiği detay-1	250
Şekil 9.127 Çaprazlama oranı %70 grafiği detay-2	250
Şekil 9.128 Çaprazlama oranı %90 için grafik.....	251
Şekil 9.129 Çaprazlama oranı %90 grafiği detay-1	251
Şekil 9.130 Çaprazlama oranı %90 grafiği detay-2	251
Şekil 9.131 Denenen tüm çaprazlama oranları için grafik.....	252
Şekil 9.132 Denenen tüm çaprazlama oranları grafiği detay-1	252
Şekil 9.133 Denenen tüm çaprazlama oranları grafiği detay-2	252
Şekil 9.134 Mutasyon oranı %0 için grafik	253
Şekil 9.135 Mutasyon oranı %0 grafiği detay-1	253

Şekil 9.136 Mutasyon oranı %0 grafiği detay-2	253
Şekil 9.137 Mutasyon oranı %1 için grafik	254
Şekil 9.138 Mutasyon oranı %1 grafiği detay-1	254
Şekil 9.139 Mutasyon oranı %1 grafiği detay-2	254
Şekil 9.140 Mutasyon oranı %2 için grafik	255
Şekil 9.141 Mutasyon oranı %2 grafiği detay-1	255
Şekil 9.142 Mutasyon oranı %2 grafiği detay-2	255
Şekil 9.143 Mutasyon oranı %3 için grafik	256
Şekil 9.144 Mutasyon oranı %3 grafiği detay-1	256
Şekil 9.145 Mutasyon oranı %3 grafiği detay-2	256
Şekil 9.146 Mutasyon oranı %5 için grafik	257
Şekil 9.147 Mutasyon oranı %5 grafiği detay-1	257
Şekil 9.148 Mutasyon oranı %5 grafiği detay-2	257
Şekil 9.149 Mutasyon oranı %7 için grafik	258
Şekil 9.150 Mutasyon oranı %7 grafiği detay-1	258
Şekil 9.151 Mutasyon oranı %7 grafiği detay-2	258
Şekil 9.152 Mutasyon oranı %10 için grafik	259
Şekil 9.153 Mutasyon oranı %10 grafiği detay-1	259
Şekil 9.154 Mutasyon oranı %10 grafiği detay-2	259
Şekil 9.155 Denenen tüm mutasyon oranları için grafik.....	260
Şekil 9.156 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-1	260
Şekil 9.157 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-2	260
Şekil 9.158 Denenen tüm mutasyon oranları için grafik.....	261
Şekil 9.159 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-1	261
Şekil 9.160 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-2	261
Şekil 9.161 %10 Nesil yenileme için grafik.....	262
Şekil 9.162 %10 Nesil yenileme grafiği detay-1	262
Şekil 9.163 %10 Nesil yenileme grafiği detay-2	262
Şekil 9.164 %30 Nesil yenileme için grafik.....	263
Şekil 9.165 %30 Nesil yenileme grafiği detay-1	263
Şekil 9.166 %30 Nesil yenileme grafiği detay-2	263
Şekil 9.167 %50 Nesil yenileme için grafik.....	264
Şekil 9.168 %50 Nesil yenileme grafiği detay-1	264
Şekil 9.169 %50 Nesil yenileme grafiği detay-2	264

III. ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1 Kullanılabilecek boru çapları ve izin verilen eğim değerleri (İller Bankası, 2011)	16
Çizelge 3.2 Kısmen dolu kanallarda debi, su yüksekliği ve hız değerleri.....	23
Çizelge 4.1 Gerçek değer kodlama.....	28
Çizelge 4.2 İkili kodlama.....	29
Çizelge 4.3 Gri kodlama.....	29
Çizelge 5.1 Ceza bedeli belirleme kriterleri.....	51
Çizelge 5.2 Kullanılan genetik algoritma parametreleri.....	52
Çizelge 5.3 Kullanılan genetik algoritma parametreleri.....	64
Çizelge 5.4 Şebeke bölümlerine göre hesap sıralaması.....	74
Çizelge 6.1 Çok düz arazi örneğinde zemin kotları	76
Çizelge 6.2 Çok düz arazi örneğinde arazi eğimleri	76
Çizelge 6.3 Tersine eğimli arazi örneğinde zemin kotları.....	77
Çizelge 6.4 Tersine eğimli arazi örneğinde arazi eğimleri ve kazı derinliğindeki artış miktarları	77
Çizelge 6.5 Çok dik arazi örneğinde zemin kotları.....	78
Çizelge 6.6 Çok dik arazi örneğinde arazi eğimleri.....	79
Çizelge 6.7 Kademe örneğinde zemin kotları.....	80
Çizelge 6.8 Yön optimizasyonu için denenen genetik algoritma parametreleri	82
Çizelge 6.9 Birey sayısı için denenen genetik algoritma parametreleri	83
Çizelge 6.10 Her birey sayısı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	84
Çizelge 6.11 Elitizm oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	85
Çizelge 6.12 Her elitizm oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	86
Çizelge 6.13 Turnuva oranı için denenen genetik algoritma parametreleri.....	87
Çizelge 6.14 Her turnuva oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	88
Çizelge 6.15 İlave seçim algoritmaları için denenen genetik algoritma parametreleri.....	89
Çizelge 6.16 Her ilave seçim algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri	90
Çizelge 6.17 Koruma oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	91
Çizelge 6.18 Her koruma yöntemi için denemeler arası değişim yüzdeleri	93
Çizelge 6.19 Çaprazlama oranları için denenen genetik algoritma parametreleri.....	94
Çizelge 6.20 Her çaprazlama oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	95
Çizelge 6.21 Mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	96
Çizelge 6.22 Her mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	97
Çizelge 6.23 Dinamik mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri.....	98
Çizelge 6.24 Dinamik mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri ve karşılaştırma.....	99
Çizelge 6.25 Hidrolik optimizasyon için denenen genetik algoritma parametreleri	102
Çizelge 6.26 Hidrolik optimizasyon için kullanılan genetik algoritma parametreleri	103

Çizelge 6.27 Örnek şebeke - 5 'e ait kullanılabilecek çap bilgileri ve eğimleri	104
Çizelge 6.28 Elde edilen maliyetlerle optimizasyonsuz maliyetlerin karşılaştırması	104
Çizelge 6.29 Örnek şebeke 6 'ya ait kullanılabilecek çap bilgileri ve eğimleri.....	108
Çizelge 6.30 Birey sayısı için denenen genetik algoritma parametreleri	109
Çizelge 6.31 Her birey sayısı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	111
Çizelge 6.32 Elitizm oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	112
Çizelge 6.33 Her elitizm oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	114
Çizelge 6.34 Turnuva oranı için denenen genetik algoritma parametreleri.....	115
Çizelge 6.35 Her turnuva oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	117
Çizelge 6.36 İlave seçim algoritmaları için denenen genetik algoritma parametreleri.....	118
Çizelge 6.37 Her ilave seçim algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri	119
Çizelge 6.38 Koruma oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	121
Çizelge 6.39 Her koruma yöntemi için denemeler arası değişim yüzdeleri	122
Çizelge 6.40 Çaprazlama yöntemleri için denenen genetik algoritma parametreleri.....	125
Çizelge 6.41 Her çaprazlama algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri	125
Çizelge 6.42 Çaprazlama oranları için denenen genetik algoritma parametreleri.....	127
Çizelge 6.43 Her çaprazlama oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	128
Çizelge 6.44 Mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	130
Çizelge 6.45 Her mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	132
Çizelge 6.46 Dinamik mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri.....	133
Çizelge 6.47 Mutasyon oranı belirleme yöntemleri için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	136
Çizelge 6.48 Birey sayısı için denenen genetik algoritma parametreleri	137
Çizelge 6.49 Her birey sayısı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	139
Çizelge 6.50 Elitizm oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	140
Çizelge 6.51 Her elitizm oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	142
Çizelge 6.52 Turnuva oranı için denenen genetik algoritma parametreleri.....	143
Çizelge 6.53 Her turnuva oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	143
Çizelge 6.54 İlave seçim algoritmaları için denenen genetik algoritma parametreleri.....	145
Çizelge 6.55 Her ilave seçim algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri	147
Çizelge 6.56 Koruma oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	148
Çizelge 6.57 Her koruma yöntemi için denemeler arası değişim yüzdeleri	150
Çizelge 6.58 Çaprazlama yöntemleri için denenen genetik algoritma parametreleri.....	151
Çizelge 6.59 Her çaprazlama algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri	153
Çizelge 6.60 Çaprazlama oranları için denenen genetik algoritma parametreleri.....	154
Çizelge 6.61 Her çaprazlama oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	156
Çizelge 6.62 Mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri	157
Çizelge 6.63 Her mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	159

Çizelge 6.64 Dinamik mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri.....	160
Çizelge 6.65 Mutasyon oranı belirleme yöntemleri için denemeler arası değişim yüzdeleri.....	162
Çizelge 6.66 Nesil yenileme için denenen genetik algoritma parametreleri.....	163
Çizelge 6.67 Her nesil yenileme oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri	165
Çizelge 6.68 Nesil yenileme için denenen genetik algoritma parametreleri.....	166
Çizelge 6.69 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu projelerin çap karşılaştırılması.....	169
Çizelge 6.70 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu projelerin maliyet karşılaştırılması	170
Çizelge 9.1 Örnek şebeke - 5 hat bilgileri.....	185
Çizelge 9.2 Örnek şebeke - 6 hat bilgileri.....	196
Çizelge 9.3 Örnek şebeke - 6 şebeke bölümleri.....	202

TEŞEKKÜR

Yaklaşık 3 yıllık yoğun bir çalışma sonucu ortaya çıkan bu doktora tezinin yapım süreci çok sayıda kişinin destek ve katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Burada hepsine tek tek değinmek mümkün olmadığından hepsini sonsuz teşekkürlerimle anmak istiyorum. Fakat aşağıdaki kişileri anmadan geçmem onlara büyük haksızlık olurdu.

Doktora tez çalışmam süresince her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen, engin bilgilerini benimle paylaşan danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Ali YURDUSEV 'e; tez çalışmam esnasında çalışmalarımı takip eden ve değerli fikirlerini benimle paylaşan Prof. Dr. Bekir SOLMAZ 'a, Yrd.Doç.Dr. Ceyhun ARAZ 'a ve Yrd.Doç.Dr. Mustafa Erkan TURAN 'a; çalışmada kullanılan gerçek yağmur suyu ve kanalizasyon proje verilerinin temininde yardımcı olan BMT Mühendislik, Bilgisayar, Taahhüt, San. Ve Tic. Ltd. Şti 'ne ve hayatımın her aşamasında bana her konuda destek olan ve tüm eğitim hayatım boyunca yardımcı olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

ÖZET

Bu doktora çalışması kapsamında gerçek hayatta projelendirme aşamasında karşılaşılan sorun ve durumları da göz önüne alarak, kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin projelendirilmesinde optimizasyon yöntemlerinin kullanımının araştırılması ve programlanması amaçlanmıştır.

Bu amaçla çeşitli optimizasyon yöntemleri incelenmiş ve probleme en uygun olarak genetik algoritmanın kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir.

Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon projelerinin yapımı iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. İlk olarak şebekede akım yönlerinin belirlenmesi yön optimizasyonu olarak ele alınmıştır. Bu aşamada literatürden elde edilen yaklaşık maliyet formülleri optimizasyon sürecini yönlendirmek amacıyla çeşitli ceza bedelleri ilave edilerek kullanılmıştır. Her hat için debinin hangi yöne doğru aktığı bilgisi, genetik algoritma girdisi olarak alınmıştır. Sonuçta elde edilen optimum şebeke bir sonraki aşama için esas alınmıştır.

Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistem tasarımının optimizasyonunda dikkate alınan ikinci başlık hidrolik optimizasyonu olarak adlandırılmıştır. Yön optimizasyonu ile elde edilen şebeke verileri ve projeye ait gerçek maliyetler kullanılarak sistemin genel optimizasyonu ile boru çap değerleri ve eğimleri elde edilmiştir.

Yukarıda belirtildiği üzere iki aşamalı olarak tasarlanan optimizasyon işlemleri için genetik algoritma kullanılarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgisayar programı iki adet gerçek şebeke üzerinde denenmiştir. Gerçek proje verileri kullanılarak yapılan denemeler sonucunda optimizasyonsuz proje maliyetlerine kıyasla daha uygun sonuçların elde edildiği görülmüştür.

ABSTRACT

This research investigates the possible use of optimization procedures in designing sewage and stormwater collection systems by considering the special cases and problems that could be encountered in real world designs.

The use of genetic algorithms is decided through a screening study in an attempt to find an optimization technique that is suitable to the problem under consideration.

The project making process of sewage and storm water systems is evaluated in two phases. In the first phase, the directions of the flow in the pipes are optimized through a process called direction optimization. In this phase, approximate cost functions taken from the appropriate literature are used by adding some penalty costs. The aim of the use of penalty costs is to direct the optimization procedure in the desired way.

The optimization process in the first phase, called the direction optimization, has specified the flow direction in each pipe at minimum cost network. The directions specified in this phase are exported as inputs to the second phase.

In the second phase, another optimization process called hydraulic optimization has been performed to find the diameter and slope of each pipe. At this time, real cost values are used together with the directions specified in the first phase.

The optimization processes mentioned above have been undertaken through the use of a newly coded computer program that is specific to this research. The system developed have been applied to the two real world examples. The optimization trials made for the case studies have yielded more acceptable results than those obtained without optimization procedure.

1. GİRİŞ

Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemleri günümüzde inşaat mühendisliğinin en önemli alanlarından biridir. Gelişen teknoloji ve anlayışla birlikte, artık günümüzde insan sağlığı ve güvenliği en önemli konulardan biri haline gelmiştir. Artık günümüzde yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin sadece kentsel yerleşim alanlarında değil, en küçük yerleşim yerlerinde bile olması istenmekte ve bu konuda altyapı çalışmaları hızla sürmektedir.

31.12.2004 'te yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği "*Ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları*" belirlemektedir. 08.01.2006 tarihinde yayınlanan Kentsel Atık Su Yönetmeliği ise "*kentsel atık suların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atık su deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi koruma*" 'yı amaçlamaktadır.

Yerleşim yerlerindeki atık suların düzenli bir şekilde toplanarak cazibeli ve terfili olarak arıtma tesislerine ulaştırılması, ve ardından yapılan arıtmadan sonra suyun doğaya salınması gerekmektedir. Atık su içeriği nedeniyle insan sağlığını doğrudan etkilemektedir. Bu doğrudan zarar verici etkisinin yanında, arıtılmadan yeraltına karışması durumunda, yeraltı su kirliliğine de neden olabilmektedir.

Yağmur suyu sistemlerinde, yağışla birlikte yaşamın olumsuz etkilenmemesi için gelen suların toplanarak kent dışına çıkarılması ve deşarj edilmesi gerekmektedir. Kentlerdeki yağmur suyu sistemlerinin olmaması veya uygun yapılmaması nedeniyle, kış aylarında yaşam koşulları olumsuzlaşmakta, maddi zararlar meydana gelmekte ve hatta can kayıpları yaşanabilmektedir.

Atık suların ve yağmur sularının altyapı sistemleri ile toplanması, insan sağlığı ve yaşam kalitesi açısından önemli iken, yönetmeliklerle de zorunlu kılınmıştır. Kentsel altyapı sistemlerinin inşaaı, yerel ve merkezi yönetimlerin bütçeleri içinde oldukça büyük bir pay tutmaktadır. İnşaa maliyeti oldukça yüksek ve yer üstünde yapılan inşaat çalışmalarından farklı olarak altyapı sistemleri yerin altında bulunduğu ve sonrasında kullanım sırasında yapılan çalışmalar doğrudan görülmediğinden, bazı yerel idareciler tarafından altyapı yatırımları öncelikli olarak ele alınamayabilmektedir. Ayrıca sınırlı kaynaklarla çalışmalar yürütülürken, inşaa edilen altyapı sistemlerinin en az maliyetle en fazla faydayı elde edecek şekilde yapılması, resmi kurumların bir numaralı amacı haline gelmektedir.

Klasik yöntemlerle altyapı çözüm yöntemlerinde amaç, giriş noktalarında oluşan debinin deşarj noktasına kadar boru ile taşınmasıdır. Ancak projeyi etkileyen çok sayıda kısıtlar olduğundan, sistem tasarımı yapılan farklı seçimler ile farklı maliyetlere ulaşılabilmektedir.

Bu nedenle projelendirmede amaç, sadece debinin bir noktadan diğerine iletilmesi değil, en uygun çözümle yani en düşük maliyetle iletilmesi olmaktadır.

En düşük maliyetle çözüm üretme isteği, projelendirme aşamasında klasik hesaplamalara ilave olarak optimizasyon tekniklerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. İnşaat mühendisliğinin diğer tüm alanlarında olduğu gibi kentsel altyapı sistemlerinin projelendirilmesinde, yöntemi belirleyen kısıtlara göre uygun optimizasyon yöntemlerini seçmek mümkündür. Literatür araştırmasında da belirtileceği üzere, bu konuda yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Literatürde çok sayıda çalışmanın mevcut olmasına rağmen, altyapı sistemlerinin optimizasyonu konusunda hala istenen seviyeye gelineemediği görülmüştür. Araştırmalar sonucunda gerek konunun özelliği ve karmaşıklığı, gerek optimizasyon yöntemlerinin kendilerine has özellikleri, gerekse kullanılan bilgisayarların kapasitesi nedeniyle her duruma uygun bir yöntem oluşturulamadığı anlaşılmıştır.

Literatürde yapılan araştırmalarda hem şebeke hem de hidrolik hesaplamaların bir arada yapıldığı az sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür. İncelenen çalışmaların büyük bir bölümü sadece hidrolik hesap optimizasyonu üzerinedir.

Literatürde şebeke tasarım optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda kullanılan yaklaşık maliyetlerin şebekenin bulunduğu topoğrafya ve arazinin özelliklerini yeterince karşılamadığı anlaşılmıştır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, hazırlanan programda şebeke optimizasyonunda farklı arazi özelliklerine göre ilave ceza bedelleri öngörülmüştür. Böylece elde edilen sonuçların her durumu kapsamı sağlanmıştır. Doktora çalışmasındaki yaklaşık maliyet hesabında ceza bedelleri kullanımı, konu ile ilgili yeni bir detay olarak ortaya konmaktadır.

Hidrolik hesaplamalarla ilgili çalışmalar incelendiğinde ise proje yapımı sırasında uyulması gereken standartlara uyulduğu söylenmiş olsa da, çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde hidrolik hesaplamaların yapılabilmesi için arazi şartlarına göre özel bazı kabuller yapıldığı görülmüştür. Her duruma ve her koşula uyan bir çalışma görülmemiştir.

Literatür araştırmasında da bahsedilen bu eksiklikleri doldurmak amacıyla doktora çalışması kapsamında, proje yapımı ile ilgili tüm standartlara uyan ve her arazi koşulunda özel kabuller yapılmasına gerek kalmaksızın çalışan bir program hazırlaması amaçlanmıştır.

İncelenen çeşitli optimizasyon yöntemleri arasından probleme en uygun olan genetik algoritma seçilmiştir. Genetik algoritma, karmaşık fonksiyonların global optimum (maksimum veya minimum) noktalarının bulunması için gerekli çözümü sağlayan bir yöntemdir. Çok sayıda alternatifin denenerek en uygun maliyetli sonucun elde edilmesi mantığına dayanmaktadır. Bu nedenle şebeke tasarımı optimizasyonu ve hidrolik hesap optimizasyonunda genetik algoritma kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu doktora çalışması kapsamında, pratikte projelendirme aşamasında karşılaşılan sorun ve durumları da göz önüne alarak, kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin projelendirilmesinde optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasının araştırılması ve programlanması amaçlanmıştır.

Doktora tez konusu olan problem incelendiğinde kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon proje yapımında iki ana konu olduğu görülmektedir: Şebekenin en uygun akış durumunun belirlenmesi ve hidrolik hesaplamalar.

Hidrolik hesaplamalar öncesinde şebekeyi oluşturan hatların hangi yöne doğru akacaklarının belirlenmesinin hidrolik hesaplama sonucunda elde edilecek çözümü doğrudan etkilediği görülmektedir. Bu amaçla proje hesaplamaları iki kısma ayrılmıştır. İlk olarak şebekenin hat yönlerinin belirlenmesi işi, yani yön optimizasyonu konusu ele alınmıştır.

Tek bittir oluşan ve her hattaki debinin hangi yöne doğru aktığı bilgisini veren değer, genetik algoritma verisi olarak alınmıştır. Yönlerle ilgili çalışırken maliyeti oluşturan çap ve derinlikle ilgili bilgiler henüz elde edilmediğinden, literatürden elde edilen yaklaşık maliyet formülü kullanılmıştır. Yaklaşık maliyet formülüne projenin yapıldığı çevrenin topoğrafik özelliklerinin azami ölçüde katılabilmesi amacıyla, çeşitli ceza bedelleri tanımlanmıştır. Bu aşamada optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma kullanılarak en uygun şebeke tasarımının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Şebeke tasarımının en optimum sonucunun elde edilmesinin ardından, bu şebeke tasarımına dayanarak hidrolik optimizasyon kısmına ve proje maliyetinin hesaplanmasına geçilmiştir. Proje maliyeti hesaplanırken, etki eden en temel faktörlerin hatlarda belirlenen boru çap değerlerinin ve boruların arazide yerleştirilirken oluşan kazı değerlerinin olduğu görülmektedir. Kazı değerleri de, borunun yerleştirilmesinde yararlanılan eğimden elde edilmektedir. Boru çap ve eğim değerlerinin en uygun şekilde belirlenmesi için hidrolik optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada optimizasyon yöntemi olarak yine genetik algoritma kullanılmıştır.

İki aşamalı genetik algoritma kullanılarak yapılan optimizasyon işleminde bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Mevcutta hazır olan programlar veya genetik algoritma araçları kullanılmamıştır. Böylece genetik algoritma bölümü de dahil programın her aşaması özel olarak programlandığından, farklı parametrelerin isteğe bağlı olarak işleme dahil edilmesini ve probleme has özel tasarlanan algoritmaların tasarlanmasını mümkün kılmıştır.

Genetik algoritmanın yapısı gereği farklı parametreler kullanılmaktadır. En uygun maliyeti elde etmek amacıyla bu parametrelerin farklı değerlerinin denenmesi gerekliliği, özel bazı algoritmaların geliştirilmesi ile ilgili çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında mutasyon oranının farklı değerlerinin ayrı ayrı denenmesi yerine, dinamik mutasyon oranının kullanılması

düşünülmüştür. Literatür taramasında farklı bilim dallarındaki bazı çalışmalarda benzer denemeler yapılmış olsa da, yağmur suyu ve kanalizasyon projelerinin optimizasyonu konusu ile ilgili olarak dinamik mutasyon kullanımına rastlanmamıştır. Doktora çalışmasındaki dinamik mutasyon oranı kullanımı, konu ile ilgili yeni bir detay olarak ortaya konmaktadır.

Genetik aloritmada sonuca ulaşmayı hızlandırmak amacıyla farklı algoritmalar üzerinde çalışılmış ve “En düşük değerle (1 adet)” özel çaprazlama algoritması geliştirilmiştir. Literatür taramasında konu ile ilgili genetik algoritma kullanımına yer veren çalışmalarda bu tarz özel algoritmaların kullanılmadığı görülmüştür. Doktora çalışmasındaki “En düşük değerle (1 adet)” özel çaprazlama algoritması kullanımı, konu ile ilgili yeni bir detay olarak ortaya konmaktadır.

Benzer şekilde literatür taramasında konu ile ilgili genetik algoritma kullanımına yer veren çalışmalarda nesil yenileme algoritmalarının denenmediği görülmüştür. Doktora çalışmasındaki nesil yenileme algoritması denemesi, konu ile ilgili yeni bir detay olarak ortaya konmaktadır.

Program tamamlandıktan sonra çeşitli gerçek şebekeler üzerinde denemeler yapılmıştır. Bu amaçla bir proje firmasından alınan gerçek projelere ait veriler programa aktarılmış ve elde edilen sonuçlar orijinal yani optimizasyonsuz maliyetlerle karşılaştırılmıştır. Denemelerin tamamında, doktora kapsamında hazırlanan bilgisayar programı ile elde edilen maliyet değerleri projelerin optimizasyonsuz maliyet değerlerinden daha uygun olarak çıkmıştır.

Proje firmaları açısından olaya bakıldığında sadece en uygun proje yapım maliyetinin elde edilmesinin yanında, ayrıca projenin hazırlanması sırasında geçen zamanın da büyük bir önemi olduğu görülmektedir. Proje üzerinde çalışan eleman sayısı ve bu elemanların proje üzerinde harcayacakları vakit, proje yapım maliyetini belirlemektedir. Doktora çalışmasında hazırlanan optimizasyon programı ile projeyi hazırlamak için harcanan zamandan da tasarruf edilmektedir. Programın denendiği gerçek şebekelerin hazırlanma süreleri ile optimizasyon işleminin çalışma süresi karşılaştırıldığında, hazırlanan programla çok daha hızlı sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Proje firmaları açısından, hem hazırlanan projenin keşif değerinin en uygun olması, hem de proje yapımı için harcanan zamanın ve dolayısı ile firmaya maliyetinin düşmesi, doktora çalışması ile geliştirilen programın önemini ifade etmektedir.

Doktora çalışması kapsamında hazırlanan bilgisayar programı ile hem en uygun maliyet değerine sahip proje hazırlanabilmekte hem de projeyi yapanların zamanı en uygun şekilde değerlendirilebilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kanalizasyon ve yağmur suyu sistemleri, şebeke ağ yapısında düzenlenmiş bacalardan ve bacaları birbirine bağlayan borulardan oluşmaktadır. Çalışma sistemleri cazibeli veya terfili olmaktadır. Kanalizasyon ve yağmur suyu sistemlerinin tasarımı iki bölüm altında incelenebilir : ağ şema yapısının seçilmesi ve seçilen ağ yapısında yer alan boruların hidrolik hesaplarının yapılması (debi, boru çapı, eğim ve derinlikler) (Tekeli vd., 1986).

Geleneksel metotlarda, şebeke tasarımı topoğrafyaya bağlı olarak elle yapılmaktadır.

Hidrolik hesaplar ise, lineer olmayan ve ayırık tipte çok sayıda kısıt içermektedir. Tüm bu kısıtların hesaplamalarda dikkate alınması, deneyimli proje mühendisleri için bile zaman alıcı ve zor olmaktadır. Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon tasarımlarının karmaşıklığı ve maliyetin minimuma indirilmesi konusunda yapılan çalışmalar, altyapı tasarımlarında optimizasyon tekniklerinin kullanımını gündeme getirmektedir. Bu amaçla çeşitli optimizasyon teknikleri, araştırmacılar tarafından denenmiştir.

Kullanılan optimizasyon metotların büyük bölümü, hidrolik tasarımın optimizasyonu ile ilgilidir. (Swamee, 2001) Metotların küçük bir bölümü ise şebeke tasarımı üzerine yoğunlaşmış bulunmaktadır.

Şebeke plan optimizasyonu ve şebeke hidrolik optimizasyon konusunda çok sayıda araştırmacı bir çok farklı yöntemle denemeler yapmışlardır. En çok kullanılan optimizasyon yöntemlerinden biri de genetik algoritmadır.

Genetik algoritma nesillerin doğal seleksiyonlu evrimi prensibine dayanarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Genetik algoritma doğası gereği kısıtsız teknik olduğundan, değişkenlerin ve kısıtların sayısı genetik algoritmanın çalışma performansını hız anlamında düşürmektedir. Bu duruma bir çözüm olarak bazı araştırmacılar birden fazla optimizasyon yöntemini bir araya getirerek hibrid yöntemleri kullanmışlardır.

Literatürde ilk karşılaşılan algoritmalarından biri kısa yol algoritmalarıdır. Şebeke tasarımı üzerine yapılan çalışmalardan biri Tekeli vd. (1986) tarafından çalışılan “*En Kısa Yol Algoritması*” dır. Tekeli vd. (1986) çalışmalarında, standart kısa yol algoritması kullanarak “*Şebeke Oluşturma Algoritması*” geliştirmişlerdir. Maliyet hesabında, boru çapı ve kazı miktarları kullanılmıştır.

Şebeke tasarımını ağaç veya graf formuna benzeterek optimizasyon işlemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Burch vd. (2005), şebeke tasarımında minimum sayıda baca kullanımı üzerinde çalışmışlardır. Yolun şeklini döngüleri olan grafik olarak şeklinde tanımlamışlardır. Şebeke tasarımında döngülerin olmaması gerekliliği üzerine, belirlenen ilk

şebeke dizaynı grafik olarak alıp üzerinde gerekli yerlerde kesme işlemi yapmışlar ve şebekenin *yayılı ağaç* haline gelmesini sağlamışlardır. Ardından kesişimleri baca yeri olarak belirlemişlerdir. Her yolun altında bir boru öngörüldükten sonra, boruların çap ve derinliklerini hesaplamışlardır. Haghighi (2012) şebeke plan optimizasyonunda kullanılacak “*Loop by Loop Cutting*” algoritmasını geliştirmiştir. Bu algoritma ile, şebeke planı graf olarak kabul edilip, rasgele olarak belirlenen noktalarda kesilerek *yayılı ağaç* haline gelmesi sağlanmaktadır. Kesme noktalarının belirlenmesinde genetik algoritma kullanılmaktadır. Şebeke planı belirlenince, “*Ayrık Diferansiyel Dinamik Programlama*” algoritması ile hidrolik tasarım optimize edilmektedir.

Dinamik programlama, literatürde konu ile ilgili kullanılan optimizasyon tekniklerinden biridir. Walters (1985), baca yerleri belirli olan noktalar arasında minimum maliyet ile boru döşemek için hangi bacalar arası boru döşeneceğini seçmektedir. Bu çalışmada maliyet hesabı için dinamik programlama metodundan yararlanılmaktadır. Şebeke sisteminde hatların kesişimdeki her bacada, şebeke seri etaplara ayrılmaktadır. Seri sistemlerde her etapta bir değişken dikkate alınarak işlem yapılmakta, bir etaptaki değişken diğer etaplardan bağımsız olmaktadır. Dinamik programlama seri etap bölümlerinde maliyetin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Şebeke hesabında türbülanslı akım için Colebrook-White formülü ile elde edilen sürtünme katsayısı kullanılarak Darcy-Weisbach formülü kullanılmıştır. (Walters, 1985) Li vd. (1990), atık su sistemlerinin çözümünde “*Ayrık Diferansiyel Dinamik Programlama (DDDP)*” yöntemini kullanmışlardır. DDDP yöntemi ile sürekli karar uzayı sınırlı sayıda çözüme bölünerek optimum çözüm aranır. Bu özellik ayrık lineer olmayan problemlerde işe yarasa da, global optimumun bulunma şansını azaltır. Ayrıca problemin manuel olarak bölünmesi ve kullanıcı tarafından tanımlanması zorunluluğu, büyük ölçekli projelerde uygulama güçlüğüne neden olmaktadır (Pan vd., 2009). Diogo vd. (2000), hem en düşük maliyeti veren şebeke dizaynının seçilmesi hem de şebeke hidrolik tasarımını dinamik programlama kullanarak gerçekleştirmeye çalışmışlardır. Şebeke planı üzerinde gerekirse pompa istasyonlarının ve ara baca yerlerinin öngörülmesi, boruların gerekli derinliklerde yerleştirilmesi ile maliyet optimizasyonunu amaçlamışlardır.

Swamee vd. (2012) çalışmalarında şebeke hidrolik tasarımının optimizasyonu için lineer programlama yöntemini kullanmışlardır. Bu uygulamadaki amaç fonksiyonunun lineer hale getirilmemesi yeni bir kullanımdır. Minimum ve maksimum boru çaplarının optimizasyon formülü içinde kullanılması ile sınırlı sayıda çalıştırılmadan sonra algoritma sona erer. Hidrolik hesaplamalarda Darcy-Weisbach formülü kullanılmıştır.

Genetik algoritma, yağmur suyu ve kanalizasyon şebekelerinin tasarımında kendine oldukça geniş yer bulan bir optimizasyon tekniğidir. Siriwardene vd. (2006) çalışmalarında hidrolik tasarım optimizasyonunda genetik algoritma kullanılırken yararlanılacak parametrelerin

sonuca etkisini araştırmışlardır. Afshar (2006-2) 'da ayrıca şebeke hidrolik tasarımında genetik algoritma kullanımı üzerinde çalışmıştır. Brand vd. (2011) çalışmalarında genetik algoritma ile hidrolik sistem tasarımı ve arıtma tesislerinin optimizasyonu ile ilgilenmişlerdir. Pianese vd. (2011) genetik algoritma ile şebeke hidrolik tasarımının optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Afshar (2012) çalışmasında, sürekli olan tasarım değişkenlerinin ayrık gösterim mecburiyetinin kodlama güçlüğü gibi çeşitli zorlukları nedeniyle, genetik algoritmada *canlanma* işlemi önermektedir. Afshar, *canlanma* işlemini daha önce karınca kolonisi ile ilgili çalışmasında (Afshar, 2007) kullanmıştır. Bu yaklaşımda, substring uzunluğunu sabit tutarken, karar değişkenlerinin ayrıklaştırılmasındaki boyut azaltılmıştır. Geliştirme işlemi gerçekleştirildikten sonra, her bir karar değişkeni için yeni bir arama tablosu oluşturulur. En iyi çözümün etrafındaki arama bölgesinin daraltılması ile, aramada hızlanma sağlanması amaçlanmıştır. Haghighi vd. (2012) şebeke hidrolik tasarım optimizasyonunda kullanılacak olan genetik algoritma metodunda ceza fonksiyonuna yer vermemek için, "*Uyarlanabilir İkili Genetik Algoritma*" 'sını kullanmışlardır. *Uyarlanabilir ikili genetik algoritma* ile kısıtlar sistematik olarak sağlandığından, inşaa maliyeti minimize edilmektedir. Cimorelli vd. (2012) çalışmalarında hem şebeke plan optimizasyonu hem de hidrolik tasarım optimizasyonu üzerinde çalışırken genetik algoritmadan yararlanmışlardır.

Bazı araştırmacılar genetik algoritmadan yararlanırken, başka optimizasyon tekniklerini de işin içine katarak hibrid algoritmalar üzerinde çalışmışlardır. Weng vd. (2005) ve Weng vd. (2007) hem şebeke tasarımı hem de hidrolik hesapların optimizasyonu amacıyla genetik algoritma ile kombine edilmiş bir model (*Sewer System Optimization Model for Layout & Hydraulics GA/SSOM/LH*) üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntemde GA 'nın temel prensiplerini muhtemel şebeke tasarımı oluşturmak için kullanılır ve optimum hidrolik tasarımını (*Sewer System Optimization Model SSOM*) elde etmek için tüm alternatif şebeke tasarımı kontrol edilir. *SSOM "0-1 Mixed Integer Programlama"* yöntemidir ve "*Bounded Implicit Enumeration (BIE)*" metodu optimum boyut ve eğim hesabı için kullanılmaktadır. BIE metodundan farklı olarak, genetik algoritmadaki her birey bir şebeke dizaynını temsil etmektedir. (Weng vd., 2005, 2007) Guo vd. (2006), komşuluk ilişkilerinin düzenlenmesi ilkesine dayanan bir optimizasyon yöntemi olan "*cellular automata*" ile belirlenen ilk çözümü genetik algoritmaya giriş olarak vermişlerdir. Genetik algoritmaya yüksek kalitede bir nesil vererek, bilgisayar hesaplamalarında geçecek zamanın azaltılmasını hedeflemişlerdir. Pan vd. (2009) bir alternatif olarak bazı araştırmacıların değişkenlerden bazılarını genetik algoritma ile hesaplattıklarını ve böylece lineer olmayan modeli, lineer hale getirdiklerini, modelin devamının lineer programlama ile çözdüklerini belirtmiştir. Pan vd. (2009) "*genetik algoritma – lineer programlama GA-LP*" modelinin, mantıksız çözümlerin bir kısmını elimine etmesine rağmen, tıpkı geleneksel lineer programlamada olduğu gibi *GA-LP* metodu ile global optimum çözüm elde etme garantisi olmadığını söylemişlerdir. Pan vd. (2009) atık su şebeke tasarımı için hibrid bir metod

geliştirmiştir. Bu çalışmada, matematiksel bir metot olan “*ikinci dereceden programlama*” içsel çözücü olarak kullanılırken, genetik algoritma dışsal çözücü olarak düşünülmüştür (*QP-GA modeli*). Lineer olmayan programlamada, bir çok yerel optimum noktası olduğundan, global optimumu bulmak güç olmaktadır. *İkinci dereceden programlamada* lineer olmayan bir metot olmasına rağmen, global optimumu bulmak mümkün olmaktadır. Ayrıca ikinci dereceden programlama, lineer olmayan maliyet fonksiyonu tanımlamasına daha uygundur. Atık su ile ilgili bir çok kısıt ve değişkenler ikinci dereceden programlamada tanımlandığı için, metodun etkinliğini arttırmıştır. Boru çapı gibi bazı kısıtlar ise, genetik algoritmada ele alınmıştır. Her ne kadar dikkate değer gelişmeler kazandırmış olsa da *QP-GA* modeli, *DDDP* veya genetik algoritmanın tek başına kullanıldığı diğer metotlarla karşılaştırıldığında oldukça karmaşıktır.

Karınca kolonisi algoritması da, sıkça kullanılan optimizasyon tekniklerinden biridir. Afshar (2006) ‘ın çalışmasında karınca kolonisi algoritması kullanılmıştır. Karınca kolonisi algoritması ayrık optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanıldığından, yağmur suyu sistemleri gibi sürekli problemlerin ayrık optimizasyon problemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ayarlanabilir geliştirme işlevi ilave edilmiştir. Bu metotla geniş olan çözüm uzayının daraltılması ve merkezinde optimum çözümün yer alması amaçlanmıştır. Bu metot, karınca kolonisi optimizasyonu aramalarında çözümünden uzaklaşıldığında aramanın yavaşlaması kabulüne dayanmaktadır. Kabul teorik olarak kanıtlanmasa da, sayısal örnekler üzerinde denenmiştir. Afshar vd. (2006) ‘da şebeke planı optimizasyonu için karınca kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Afshar (2007) çalışmasında, iki ayrı yöntemde kısmi kısıtlı karınca kolonisi algoritmasını kullanmıştır. İlkinde minimum eğim kısıtı dikkate alınmış ve bacalar arası boru yerleştirme sırasında ters eğim çıkaran çözümler elimine edilmiştir. İkinci yöntemde ise, çapa göre maksimum doluluk oranı kısıtı dikkate alınmıştır. Her iki metodla elde edilen sonuçlar, kısıtsız karınca kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Afshar (2009) çalışmasında ise, daha önceki karınca kolonisi ile ilgili çalışmalarını birleştirerek kısıtlı ve kısıtsız yaklaşımları birbirleri ile karşılaştırmıştır. Kısıtlı metotlarda sürekli karınca kolonisi yaklaşımını dikkate almıştır. Moeini vd. (2012) çalışmalarında hem şebeke planı hem de hidrolik tasarım optimizasyonu ile ilgili çalışmışlardır. Karınca kolonisi algoritması ve “*Tree Growing*” algoritması kullanılmıştır.

“*Cellular automata*”, komşuluk ilişkilerinin düzenlenmesi ilkesine dayanan bir optimizasyon yöntemidir. Guo vd. (2007), diğer çalışmalarında da *cellular automata* yöntemi ile çalışmışlardır. *Cellular automata* yöntemi adından da anlaşılacağı üzere, her biri olası farklı değerleri içeren hücrelerden meydana gelmektedir. Her hücre, bir önceki hali ile ve çevresindeki komşu hücrelerin değerleri ile güncelleştirilir. Bu yöntemde hücreler, şebekedeki bacaları temsil etmektedir. Afshar vd. (2011), şebeke hidrolik tasarımının optimizasyonu için *cellular automata* algoritmasını kullanmışlardır. Afshar vd. (2012) ‘de ise, *cellular automata* tabanlı hibrid bir metot

kullanarak ayrık ve sürekli yaklaşımlarla şebeke hidrolik tasarımının optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır.

Izquierdo vd. (2008), şebeke hidrolik hesaplarının optimizasyonunda parçacık sürü algoritmasını kullanmışlardır.

Yeh vd. (2011), çalışmalarında “*Simulation Annealing*” ve “*Tabu Search*” algoritmalarını kullanarak optimum hidrolik tasarım yaparak iki algoritmanın sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Literatürde yapılan araştırmalarda hem şebeke hem de hidrolik hesaplamaların bir arada yapıldığı az sayıda çalışma bulunduğu görülmüştür. Yukarıda da anlatıldığı gibi, yapılan çalışmaların büyük bir bölümü sadece hidrolik hesap optimizasyonu üzerinedir. Şebeke tasarım optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda ise kullanılan yaklaşık maliyetlerin şebekenin bulunduğu topoğrafya ve arazinin özelliklerini yeterince karşılamadığı anlaşılmıştır. Hidrolik hesaplamalarla ilgili çalışmalar incelendiğinde ise proje yapımı sırasında uyulması gereken standartlara uyulduğu söylenmiş olsa da, çalışmalar detaylı olarak incelendiğinde hidrolik hesaplamaların yapılabilmesi için arazi şartlarına göre bazı kabuller yapıldığı görülmüştür. Her duruma ve her koşula uyan bir çalışma görülmemiştir.

Bu doktora çalışması kapsamında, proje yapımı ile ilgili tüm standartlara uyan ve her arazi koşulunda özel kabuller yapılmasına gerek kalmaksızın çalışan bir program hazırlaması amaçlanmıştır.

3. YAĞMUR SUYU VE KANALİZASYON SİSTEMLERİ TASARIM ESASLARI

Meskun bölgelere düşen yağış suları, yaşam alanlarına zarar vermemesi amacıyla yağmur suyu kanal sistemi ile toplanarak uzaklaştırılır. Su temini tesisleri ile yaşadığımız alanlara verilen sular çeşitli şekillerde kullanıldıktan kirlenirler. Kanalizasyon sistemleri aracılığı ile yaşam alanlarından toplanarak uzaklaştırılırlar. Yağmur suları ve kullanılmış sular kanallarda toplandıktan sonra belirli noktalara ileilmeleri gerekmektedir. Bu suların iletildikleri noktalarda çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmelidir.

Türkiye’de yapılan altyapı çalışmalarında 2 genel standart ön plana çıkmaktadır: İller Bankası (İller Bankası, 1991) ve İSKİ (İSKİ, 1987). Her iki kurumda farklı hız formülü kullanımı, boru tipi seçimi ve farklı proje parametreleri kabul edilmesi gibi konularda ayrım bulunmaktadır.

Atık su projelendirilmesi ile ilgili etüt çalışmaları kapsamında aşağıdaki konular dikkate alınmaktadır (İller Bankası, 2011) :

- Harita ve imar planı durumu
- Nüfus
- Mevcut atık su tesislerinin durumu
- Mevcut içme ve kullanma suyu durumu
- Kirlilik kaynakları ve seviyesi
- Alıcı ortam özellikleri
- Demografik yapı
- Ekonomik, sosyal ve turistik yapı
- Arz ve talep tahminleri
- Tesisin büyüklüğü ve kapasitesinin belirlenmesi
- Yerel yönetimin teknik ve mali kapasitesi

Atık su projelendirilmesi kapsamında aşağıdaki konular dikkate alınmaktadır (İller Bankası, 2011) :

- Nüfus ve ihtiyaç hesapları
- Arazi çalışmaları
- Zemin çalışmaları
- Endüstriyel gelişme ve sanayi siteleri
- Tünel, yer altı geçitleri gibi yapılar
- Mevcut gaz, su, içme suyu, telefon gibi yer altı tesisatları
- Mevcut kanalizasyon sisteminin yapısı

- Hidrolik çözümler
- Mimari ve statik çözümler
- Mekanik, elektrik projeler
- Malzeme cins ve boyutlarının belirlenmesi
- Detay projeler
- Maliyet tahminleri
- Arıtma tesisi yerine ilişkin çalışmalar

Yağmur suyu projelendirilmesi kapsamında, atık su projelendirilmesinde göz önüne alınan kriterlere ilave olarak ayrıca yağış bilgileri, yağış yoğunluğu ve dağılışı dikkate alınmalıdır.

Bir yerleşim merkezindeki kullanılmış suları, sanayi sularını ve yağış sularını toplayan kanal şebekesinin *ayrık sistem*, *birleşik sistem* ve *karışık sistem* olmak üzere üç sistemden birinde teşkil edilmesi mümkündür.

“*Ayrık sistem*” ‘de evde ve bazı sanayi tesislerinde kullanılan suları toplamak üzere bir, yağış sularını toplamak üzere de bir tane olmak üzere iki ayrı kanal şebekesi yapılır. Son 50 yıldan beri bu sistem tavsiye edilmektedir. Bu itibarla yeni kurulan şehirler ile kanal şebekesi yeni inşa edilmiş yerleşim merkezlerinde bu sisteme daha çok rastlanır. “*Birleşik sistem*” ‘de kullanılmış suları ve yağış sularını toplayan tek bir kanal şebekesi yapılır. Bilhassa eski şehirlerde bu sistem yaygındır. Genellikle yağmur suları için inşa edilmiş olan kanallara, kullanılmış suların bağlanması sonucu ortaya çıkmıştır. Eski ve büyük şehirlerin bazı bölgelerinde birleşik sistem, bazı bölgelerinde ise ayrık sistem kanal şebekesi inşa edilebilir. Böyle sistemlere “*karışık kanal şebekesi*” adı verilir (Karpuzcu, 2005).

Günümüzde altyapı projeleri büyük çoğunlukla ayrık sistem olarak dizayn edilmektedir.

Atık su projelerinin yapımında izlenmesi gereken aşamalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir : (İller Bankası, 2011)

- Projenin ilk etabında 35 yıl sonraki nüfus ve debi tahminleri bulunur. İmar planına göre taslak planlar hazırlanarak sistem kurulur.
- Ardından açık olan ve yerleşimin mevcut olduğu sokaklar 1.kademe, bugün için açık olmayan ve yerleşim oluşmamış sokaklar 2.kademe olarak planlanır.
- 1.kademe olarak planlanan tüm sokaklarda arazi çalışmaları yaptırılarak zemin kotları okunur.
- 2.kademe olarak planlanan hatlar ise kotları haritadan alınarak projelendirilir.
- Zemin kotları belli olduktan sonra proje çözülerek çaplar ve derinlikler belirlenir.
- Ayrıca proje sahasında belirlenen noktalarda araştırma çukurları veya sondaj yapılarak zeminin durumu belirlenir.

- Projenin inşaatına teşkil edecek metraj ve keşifler de proje kapsamında yapılır.
- Tüm bu doneler sonucunda her türlü detay proje ve inşaatın yapımıyla ilgili hususlar belirlenerek proje son şeklini alır.

Yağmur suyu projelendirilmesinde ise izlenmesi gereken aşamalar aşağıdaki şekli ile özetlenebilir : (İller Bankası, 2011)

- Havzaya gelecek yağmur suları hesaplanarak proje esasları tespit edilir.
- Yağmur sularının en yakın alıcı ortama deşarj edilmesi amaçlanır.
- Topoğrafik duruma göre yüzey akışlarının toplandığı noktalarda ve hat boyunca uygun aralıklarla gelen debinin girebileceği şekilde ızgara sistemi teşkil edilir.

Altyapı sistemlerinin projelendirilmesinde dikkat edilecek olan kriterler aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

3.1 Hız

Atık su kanallarında dibe çökelen organik maddelerin çürümesini kontrol altında tutmak için, çökmeyi önleyen hızlara ihtiyaç vardır. Bu hızlar 0,60 – 0,75 m/sn arasındadır. İller Bankası standartlarına göre, minimum hız değeri 0,50 m/sn alınmaktadır. Bu hız şartları sağlanacak şekilde kanallara eğim verilir.

Ayrık kanalizasyon sistemlerinde yağmur suyu kanalları tarafından taşınan asılı haldeki katı madde yükünün çoğu ağır mineral maddelerden meydana gelir. Akımın hızı yeteri derecede yüksek tutulmadığı takdirde, bunlar dibe çökecektir. İnce kum genel olarak 0,30 m/sn veya daha büyük hızlarla akan sularla taşınır. Daha iri maddelerin taşınması için ise, 0,60 m/sn veya daha yüksek hızlar gereklidir.

Minimum hız kontrolünün yanında maksimum hız kontrolü de proje hesaplamalarında önemli bir yer tutmaktadır. Büyük hızlar borunun aşınmasına ve özellikle debinin büyük olduğu kanallarda akım yönünün değiştiği yerlerde büyük itki kuvvetlerinin oluşmasına neden olurlar. Bu amaçla boru içindeki suyun izin verilen belirli bir hız değerinden daha büyük bir değer vermesine izin verilmemelidir.

3.2 Boru Çapı ve Bacalar Arası Mesafe

Küçük çaplı kanallar çok çabuk tıkanır ve temizlenmeleri daha zordur. Minimum bir çaptan daha küçük çaplı kanalların kullanılmasıyla elde edilen ekonomi, işletme güçlüklerini ve bu sebeple yapılan masrafları karşılamaya yetmez. Minimum kanal çapı, ayrık sistemin atık su

kanallarında 20 cm., ayırık sistemin yağmur suyu kanalları ile birleşik sistem kanallarında 30 cm. 'dir. (Muslu, 2002).

Yağmur suyu kanalları serbest yüzeyli akıma göre hesaplanır ve aynı atık su kanallarında olduğu gibi bacalarla donatılır. Yağmur suyu kanallarının minimum çapları 30 cm. alınır. Ev bağlantılarının beton boru değilse minimum çapı 10 cm. kabul edilebilir. Beton boru olması halinde ise 15 cm. 'lik boru kullanılır. Bina bağlantılarının minimum eğimi 1/50 olur (Muslu, 2002).

İller Bankası standartlarına göre projelerde buhar kürlü entegre contalı beton boru veya polietilen esaslı boru ile betonarme veya polietilen esaslı baca kullanılmaktadır. Projelerde 600 mm. 'ye kadar beton, 600 mm. ve üzerindeki borular betonarme kullanılması önerilmektedir. (İller Bankası, 2011)

İller Bankası standartlarına göre projelerde kullanılabilecek boru çapları, bu boruların yerleştirilmesinde yararlanılacak izin verilen minimum ve maksimum eğim değerleri, sadece istisnai durumlarda kullanılmak üzere minimum istisnai ve maksimum istisnai eğim değerleri, her boru çapı için izin verilen doluluk oranı ile çapa göre iki baca arasında izin verilen maksimum uzunluk değerlerinin yer aldığı bilgiler Çizelge 3.1 'de gösterilmiştir. Projelerin hazırlanması sırasında, bu değerlere uyulması gerekmektedir.

Çizelge 3.1 Kullanılabilecek boru çapları ve izin verilen eğim değerleri (İller Bankası, 2011)

Ø Çap	Min. Eğim	Min. İstisnai Eğim	Max. Eğim	Max. İstisnai Eğim	Doluluk Oranı %	Max. Baca Aralığı
(mm)	(1/)	(1/)	(1/)	(1/)	(%)	(m)
200	300	-	7	5	40	60
300	500	-	7	7	50	60
400	600	900	25	15	60	70
500	800	1000	25	15	60	70
600	1000	1500	25	15	60	70
800	1200	1800	50	-	60	80
1000	2000	2500	75	-	70	100
1200	2050	2500	75	-	70	125
1400	2100	2500	75	-	80	150
1600	2150	2500	75	-	80	150
2000	2250	2500	75	-	80	150
3000	2500	2500	75	-	80	150

3.3 Debi

Atık su kanalları serbest yüzeyli akıma göre hesaplanırlar. Kanalizasyon projeleri yerleşim yerlerinin 35 yıl sonraki veya seçilecek yıl kadar sonraki nüfusu dikkate alınarak düzenlenir. Yolları imar planına uygun olarak açılmış ve yerleşim başlamışsa bu bölgelerdeki hatlar birinci kademe, imar planında yol olarak gözüktüp henüz yerleşime açılmamış bölgelerdeki hatlarda ikinci kademe olarak inşa edilir. Ancak, birinci kademe olarak inşaatı yapılacak kesimlere, ikinci kademe olarak öngörülen gelecekte inşa edilecek kesimlerden gelen debinin göz önüne alınması gerekmektedir. Boyutlandırmada kullanılacak debilerin belirlenmesi için mevcut yerleşim şekli (bitişik, bahçeli, blok nizam vb) ve nüfus yoğunlukları kullanılır.

3.4 Doluluk Oranı

Yönetmeliklerde yağmur suyu ve kanalizasyon kanallarında; maksimum doluluk oranı (h/D) belirlenmektedir. Yeraltı suyunun bulunmadığı, evlerden yağmur sularının atık su kanalına gelmeyeceği bilinen yerlerde doluluk oranı daha da artabilmektedir.

Yeraltı suyundan kanala sızmaların olabileceği, kullanılmış suların zamanla ayrışarak metan ve hidrojen sülfür gibi gaz oluşturabileceği, kullanılmış suların kimyasal yapısından dolayı kanal kapasitesinin zamanla azalabileceği ve gelecekte su kullanımının veya gelecek olan debinin öngörülen değerlerden fazla olabileceği gibi gerekçelerle, yağmur suyu ve kanalizasyon kanallarının hesaplaması kısmi dolu olarak yapılır.

3.5 Boruların Üstündeki Dolgu Kalınlığı ve Hendek Derinlikleri

Kanallar, zeminden veya trafik darbelerinden gelen etkilere kırılmaya karşı korunmak, donmaları önlemek ve düşük kotlu tesisat elemanlarının sularını tahliye etmelerine olanak sağlamak amacıyla yeterli derinliğe döşenmelidir. Don derinliği, minimum kazı derinliğinin belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

İller Bankası Kanalizasyon Şartnamesinde Mecraların zemin içindeki derinlikleri yerel iklim şartlarına, binaların bodrum derinliklerine ve halen döşenmiş bulunan su, havagazı, elektrik, telefon ve data tesislerinin derinliklerine bağlı olarak belirlenir. Atık su ve yağmur suyu boruları ile içme suyu boruları aynı sokaklardan geçirilirken, içme suyu borusunun alt ana çizgisi ile atık su borusunun üst ana çizgisi arasında yatayda 3 m., düşeyde ise 30 cm. mesafe olmalıdır. (İller Bankası, 2011)

Bununla beraber bu gibi tesisler bulunmayan yerlerde, mecra üstünde en aşağı 1 m. ve bu gibi tesisler inşa edilecek sokaklarda ise, İller Bankasına göre başlangıç mecralarında boru

üstünde 1,5 m., diğer kesimlerde ise boru üstünde en az 1,6 m. toprak kalınlığı bulunması gerekir.

İmar planında öngörülen bodrum sayıları, derinlikleri ve ne amaçlı olarak kullanılacakları (depo, sığınak, garaj vb), minimum kazı derinliklerinin belirlenmesinde kullanılır.

Yönetmeliklerde maksimum kazı derinliği belirlenmiştir ve bu değerden fazla olmaması istenir. Kazı masraflarının düşük tutulması için kanalların fazla derine döşenmemesi gerekir. Kazı derinliği arttıkça, hendek kenarlarının kendini tutması güçleşir. Bu durumda hendeğin göçmemesi için ya iksa yapmak, ya da hendek şevlerini yatık yapmak gerekir. Her iki durumda da inşaat maliyeti artmaktadır. Ayrıca, hendek derinliği arttıkça yeraltı suyu da sorun olabilmektedir.

3.6 Bacalar ve Yerleri

Kanalizasyon ve yağmur suyu hatlarında bazı katı madde parçacıkları kanal cidarlarına yapışır ve kontrol ve bakım için kanalların içine girilebilmesi gerekir. Bu amaçla bacalardan faydalanılır. Kanalizasyon ve yağmur suyu kanallarında baca yerleri belirlenirken, dikkat edilmesi gereken bazı kriterler bulunmaktadır. Kavşaklarda yani sokak kesişimlerinde, akımın yön değiştirdiği yerlerde, kot değişikliklerinde ve büyük eğim değişikliklerinde araya mutlaka baca ilave edilmektedir. Hatlarda iki baca arasındaki uzunluk değerlendirilirken, boru çapına göre belirlenir.

Şebekede kullanılan bacalar *muayene*, *düşülü* (*şütlü*) ve *yıkama bacaları* olmak üzere üç gruptur. *Muayene bacaları*; akımın kontrol edilmesini, kanal içinde akan suyun atmosfere açık olmasını ve aerobik koşullarda kalmasını ve kanallar tıkanıldığında açılmasını sağlayan bacalardır. *Şütlü bacalar*, sokak eğimlerinin kanallar için kabul edilen maksimum eğimlerden daha fazla olması halinde şebeke üzerinde düşüler yapılarak istenilen eğimler elde edilir. Düşü gereken yerlerdeki muayene bacalarının giriş ve çıkış kotları arasında minimum ve maksimum değerler arasında kalacak şekilde kot farkları düzenlenir. Şütlerin maksimum izin verilen değerden fazla olması durumunda, baca içinde yüksekten akan suyun hem bacaya hem de devamındaki hatta yer alan boruya zarar verme olasılığı yüksek olmaktadır. Özellikle başlangıç hatlarında debiler az olduğunda akımın gerçekleşmesi için gerekli su derinliğinin ve akış hızının sağlanması zordur. Akım hızının izin verilen minimum hızdan (0,5 m/s) küçük olduğu bacalarda, dışarıdan su verilerek veya baca içerisinde kullanılmış suyu depolayıp sonra serbest bırakarak yıkama yapılır. Bu tür bacalar *yıkama bacası* olarak adlandırılır.

3.7 Kademe

Kanalizasyon ve yağmur suyu projelerinin döşeneceği sokakların, proje yapım aşamasındaki durumu önemli bir kriterdir. Eğer sokak mevcutta açık ve ulaşım elverişli ise, çevreden ayrılıp sokak formunu almışsa, civarında yerleşim başlamış ise bu tarz sokaklar 1. kademe olarak isimlendirilirler. 1. kademe sokaklarda yer alan şebeke hatlarının ayrı bir grup altında hesapları ve keşifleri çıkarılır. Bu sokaklarda proje işlemi tamamlandıktan sonra, hat inşasına hemen başlanacaktır.

Eğer sokaklar imar planında görünüyorsa, ancak yerine gidildiğinde çevreden ayrı bir forma kavuşmamışsa yani bakıldığında sokağın olduğu kesim ayırt edilemiyorsa, civarında henüz yerleşim başlamamışsa, bu durumda sokaklar 2. kademe olarak isimlendirilirler. 2. kademe sokaklarda yer alan şebeke hatlarının ayrı bir grup altında hesapları ve keşifleri çıkarılır. Bu sokaklarda proje işlemi tamamlandıktan sonra, hat inşasına başlanmayacaktır. Ancak imarda görünen sokaklar hizmete alındığında inşa edileceklerdir. Ancak tüm projede yerlerinin belirlenmesi ve ileride bu 2. kademe hatlardan gelen suyun tahmin edilmiş olması proje bütünlüğü açısından önemlidir.

Hem 1. kademe hatlarda hem de 2. kademe hatlarda, hat uzunluğunun her metresine debi geldiği yani metretül debi hesabı ile hesaplama yapılır.

Bir diğer hat grubu ise kollektör hatlarıdır. Yerleşim yerinin bitip, toplanan suların deşarj noktasına kadar iletilmesi veya atık suların arıtma tesisi veya fosseptiğe götürülmesi, arıtma tesisi veya fosseptik çıkışında da alıcı ortama götürülmesi sırasında döşenen hatlar bu gruba girmektedirler. Bu hatların özelliği, iki baca arasında boruya gelen debi haricinde dışardan herhangi bir debi ilavesinin olmamasıdır. Bir bacadan giren debi, aynı şekilde diğer bacadan çıkmaktadır. Kollektör hatlarının hesap ve keşifleri, 1. kademe hatlarla aynı grup altında toplanırlar.

Proje çizimlerinde hatların kademelere göre ayırt edilmeleri için farklı çizgi tipleri kullanılır. 2. Kademe hatlar kesikli çizgi ile belirlenirken, diğerleri düz çizgi ile çizilmektedir. 1. Kademe ve kollektör hatları ise, çizgi kalınlıkları ile ayırt edilebilmektedir.

3.8 İklim

Kanalizasyon ve yağmur suyu projelerinin hazırlanmasında iklim özellikleri önemli yer tutar. Birleşik sistem olarak tasarlanacak hatlarda ve yağmur suyu hatlarında, yağışların cinsi (yağmur, kar vb), yıl içindeki dağılımı, ortalama yıllık yağış, kısa süreli sağanak yağışların şiddet, süre ve yinelenme sayıları belirlenir. Bu değerler, hem yağmur suyu kanallarının veya birleşik sistem kanallarının boyutlandırılmasında önemlidir.

Arıtma tesisi yerinin seçiminde ve atık suların arıtıldıktan sonra göl ve kıyı sularına deşarjında ortamdaki akıntıların yön ve hızları üzerinde hakim rüzgar yönü ve hızı önemli rol oynamaktadır.

Sıcaklık değerleri, arıtma tesislerinde ve alıcı ortam (nehir, göl ve kıyı sularında) içerisindeki biyokimyasal reaksiyonlar açısından önemlidir.

3.9 Hesap Yöntemleri

Kanalizasyon ve yağmur suyu kanallarının belirlenmesinde topoğrafya, boşaltım yeri veya yerleri ile ekonomi göz önünde tutulması gerekli en önemli faktörlerdir.

Kanalizasyon ve yağmur suyu kanallarının hidrolik hesabında, açık kanallardaki akımla ilgili formüllerden yararlanılmaktadır. İlk olarak tam dolu akan kanal hesabı yapılır. Ardından boruda akan debinin doluluk oranına göre hesaplama yapılmaktadır. Kanal hesaplarında en çok kullanılan formüller şu şekildedir :

$$\text{Manning} \quad V = \frac{1}{N} R^{2/3} J^{1/2} \quad (3.1)$$

$$\text{Kutter} \quad V = \frac{100R\sqrt{J}}{m + \sqrt{R}} \quad (3.2)$$

$$\text{Prandtl-Colebrook} \quad V = -2 \log \left(\frac{2,51v}{D\sqrt{2gDJ}} + \frac{k/D}{3,71} \right) \times \sqrt{2gDJ} \quad (3.3)$$

$$\text{Hazen-Williams} \quad V = 0,849 C_{hw} R^{0,63} J^{0,54} \quad (3.4)$$

$$\text{Darcy-Weisbach} \quad V = \sqrt{\frac{8gJ}{f}} \quad f = 1,325 \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{12R} + \frac{0,625v}{VR\sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \quad (3.5)$$

Bu formüllerde V hız, R hidrolik yarıçap, D çap, J eğim, N Manning sürtünme katsayısı, m Kutter sürtünme katsayısı, v kinematik viskozite, k Prandtl-Colebrook sürtünme katsayısı, g yerçekimi ivmesi, C_{hw} Hazen-Williams sürtünme katsayısı, f Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı ve ε pürüzlülük katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

Literatürde yukarıda bahsedilen 5 formülle ilgili çalışmalar görölse de, Türkiye’de hazırlanan yağmur suyu ve kanalizasyon projeleri incelendiğinde sadece iki hız formülü ön plana çıkmaktadır. Genel olarak İller Bankası projelerinde Kutter hız formülü kullanılırken, İSKİ projelerinde Prandtl-Colebrook hız formülü kullanılmaktadır. İller Bankası projeleri incelendiğinde büyük çoğunlukla beton borular kullanıldığı, İSKİ projelerinde ise tamamen HDPE boruların kullanıldığı görülmektedir. Hız formülleri sonuçları her iki boru tipi için

karşılaştırıldığında, beton borular için Kutter formülünün daha düşük hız değerleri ve küçük çaplar verdiği, HDPE borular içinse Prandtl-Colebrook formülünün daha uygun olduğu görülmüştür. (Çetin vd, 2013-2)

3.10 Kısmen Dolu Kanallarda Akım

Kısmen dolu akışta, kanallardaki hidrolik büyüklükleri hesaplamaya ihtiyaç vardır. Örnek olarak Manning formülü kullanılması halinde; d su derinliği, D çap ve d/D doluluk oranı olmak üzere,

$$\cos \frac{\theta}{2} = 1 - 2 \frac{d}{D} \quad (3.6)$$

Tam dolu akışlar için :

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.7)$$

$$R = \frac{D}{4} \quad (3.8)$$

Kısmen dolu akışlar için :

$$\frac{a}{A} = \frac{\theta}{360} - \frac{\sin \theta}{2\pi} \quad (3.9)$$

$$\frac{r}{R} = 1 - \frac{360 \sin \theta}{2\pi} \quad (3.10)$$

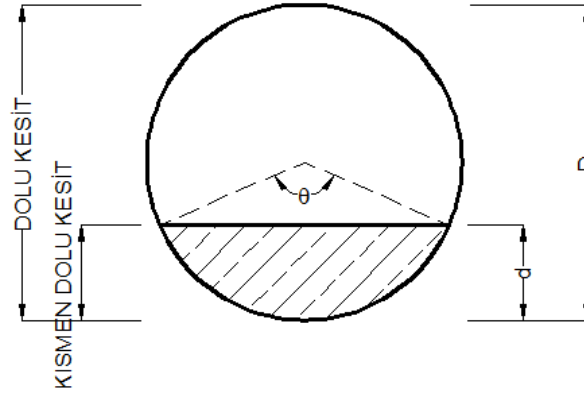
$$\frac{v}{V} = \frac{N}{n} \left(\frac{r}{R} \right)^{2/3}, \quad N = n \Rightarrow \frac{v}{V} = \left(\frac{r}{R} \right)^{2/3} \quad (3.11)$$

$$\frac{q}{Q} = \left(\frac{a}{A} \right) \left(\frac{r}{R} \right)^{2/3} \quad (3.12)$$

olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.1 'de kısmen dolu akan kanallarla ilgili, yukarıda formüllerde verilen hidrolik elemanların neyi ifade ettikleri gösterilmektedir.

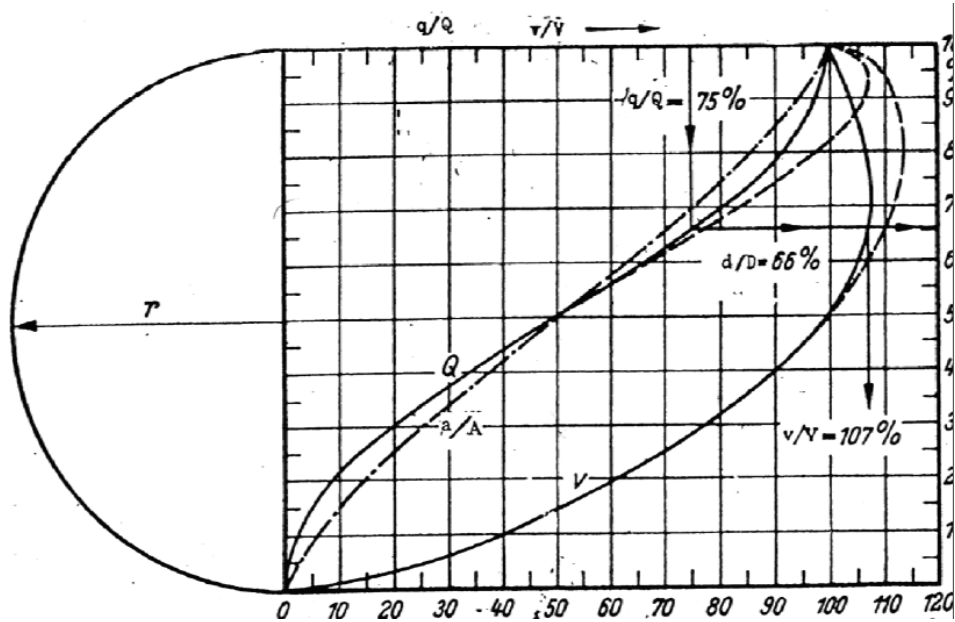
Hidrolik hesaplarda, öncelikle kanalda tam dolu akış varmış gibi hız hesabı, tam dolu akıştaki debi ve borunun geçirmesi gereken debi hesaplanır. Tam dolu akış debisi ve kanaldan geçecek debi ile borunun debi oranı (Q/Q_D) bulunur. Ardından Şekil 3.2 'den veya Çizelge 6.2 'den Q/Q_D değeri bulunarak ve gerekli enterpole yapılarak, doluluk oranı (d/D) ve hız oranı (V/V_D) bulunur. Tam dolu akış için bulunan hız değeri, hız oranı (V/V_D) çarpılır ve boru içindeki gerçek akış hızı elde edilir. Elde edilen bu değerlerle kabul edilen çap değerinin, istenen debiyi

taşıyıp taşımayacağı kontrol edilir. Eğer uygun bulunmaz ise inşaat sırasında kullanılacak bir üst değerdeki çap ile hesaplar yenilenir.



Şekil 3.1 Kısmen dolu kanalın hidrolik elemanlarının tarifi (Muslu, 2002)

Şekil 3.2 'de, kısmen dolu akan kanallarda, debi, su yüksekliği ve hız değerlerinin ne şekilde değiştiği grafiksel olarak gösterilmektedir. Elle yapılan hesaplamalarda gerekli değerler, bu grafikten okunmaktadır.



Şekil 3.2 Kısmen dolu kanallarda debi, su yüksekliği ve hız arasındaki bağıntı grafiği (Muslu, 2002)

Çizelge 6.2 'de ise Şekil 3.2 'de yer alan grafik üzerinden okunan veriler tablo haline getirilmiştir. Programla hidrolik hesaplama yaparken bu tablo verilerinden yararlanılmaktadır.

Çizelge 3.2 Kısmen dolu kanallarda debi, su yüksekliği ve hız değerleri

d/D	V/V _D	Q/Q _D	d/D	V/V _D	Q/Q _D	d/D	V/V _D	Q/Q _D	d/D	V/V _D	Q/Q _D	d/D	V/V _D	Q/Q _D
0,01	0,089	0,000	0,21	0,633	0,097	0,41	0,913	0,353	0,61	1,057	0,675	0,81	1,062	0,921
0,02	0,141	0,001	0,22	0,651	0,106	0,42	0,924	0,368	0,62	1,060	0,691	0,82	1,059	0,929
0,03	0,184	0,002	0,23	0,668	0,116	0,43	0,934	0,384	0,63	1,063	0,706	0,83	1,056	0,937
0,04	0,222	0,003	0,24	0,684	0,126	0,44	0,944	0,400	0,64	1,066	0,721	0,84	1,053	0,944
0,05	0,257	0,005	0,25	0,701	0,137	0,45	0,954	0,417	0,65	1,068	0,735	0,85	1,050	0,951
0,06	0,289	0,007	0,26	0,717	0,148	0,46	0,964	0,433	0,66	1,070	0,749	0,86	1,046	0,957
0,07	0,319	0,010	0,27	0,732	0,159	0,47	0,973	0,450	0,67	1,072	0,764	0,87	1,043	0,963
0,08	0,348	0,013	0,28	0,747	0,171	0,48	0,983	0,466	0,68	1,073	0,777	0,88	1,039	0,968
0,09	0,375	0,017	0,29	0,762	0,183	0,49	0,991	0,483	0,69	1,074	0,791	0,89	1,035	0,973
0,10	0,401	0,021	0,30	0,776	0,196	0,50	1,000	0,500	0,70	1,075	0,804	0,90	1,031	0,978
0,11	0,426	0,025	0,31	0,790	0,209	0,51	1,007	0,516	0,71	1,075	0,816	0,91	1,028	0,982
0,12	0,45	0,031	0,32	0,804	0,222	0,52	1,013	0,532	0,72	1,075	0,829	0,92	1,024	0,985
0,13	0,473	0,036	0,33	0,814	0,235	0,53	1,019	0,548	0,73	1,075	0,841	0,93	1,020	0,989
0,14	0,495	0,042	0,34	0,830	0,249	0,54	1,025	0,564	0,74	1,074	0,852	0,94	1,016	0,991
0,15	0,517	0,049	0,35	0,843	0,263	0,55	1,030	0,581	0,75	1,073	0,864	0,95	1,013	0,994
0,16	0,538	0,056	0,36	0,855	0,277	0,56	1,035	0,597	0,76	1,072	0,874	0,96	1,009	0,996
0,17	0,558	0,063	0,37	0,868	0,292	0,57	1,040	0,613	0,77	1,071	0,885	0,97	1,006	0,997
0,18	0,577	0,071	0,38	0,879	0,307	0,58	1,045	0,628	0,78	1,069	0,894	0,98	1,004	0,999
0,19	0,597	0,079	0,39	0,891	0,322	0,59	1,049	0,644	0,79	1,067	0,904			
0,20	0,615	0,088	0,40	0,902	0,337	0,60	1,053	0,660	0,80	1,064	0,913			

3.11 Şebeke Maliyetinin Belirlenmesi

Kanalizasyon ve yağmur suyu projelerinin inşaat maliyetlerinin belirlenmesinde aşağıdaki formüllerden yararlanılır :

$$\text{Toplam Boru Maliyeti} = \sum_{i=1}^N L_i \times M_{\text{Boru}} \quad (3.13)$$

$$\text{Toplam Baca Maliyeti} = \sum_{i=1}^{N-1} M_{\text{Baca}_{\text{derinliğe göre}}} \quad (3.14)$$

$$\text{Toplam Kazı Maliyeti} = \sum_{i=1}^N L_i \times h_{\text{ort_boru}_i} \times M_{\text{Kazı}} + \sum_{i=1}^{N-1} h_{\text{ort_baca}_i} \times M_{\text{Kazı}} \quad (3.15)$$

$$\text{Toplam Pompa Maliyeti} = \sum_{i=1}^k M_{\text{Pompa}_{\text{derinliğe göre}}} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Şebeke Maliyeti} = \text{Toplam Boru Maliyeti} + \text{Toplam Baca Maliyeti} + \\ \text{Toplam Pompa Maliyeti} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Bu formüllerde L_i iki baca arası mesafe, N şebekedeki toplam hat sayısı, $h_{\text{ort_boru}_i}$ her hattaki ortalama kazı derinliği, $h_{\text{ort_baca}_i}$ her hattaki ortalama kazı derinliği, M_{boru} boru metre birim fiyatı, $M_{\text{kazı}}$ birim derinlik için kazı birim fiyatı, $M_{\text{baca_derinliğine_göre}}$ derinliğe göre baca birim fiyatı, $M_{\text{pompa_derinliğine_göre}}$ derinliğe göre pompa tesisi birim fiyatı olarak tanımlanabilmektedir.

4. GENETİK ALGORİTMA

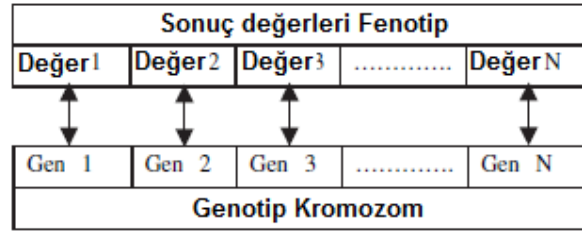
Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Holland 'ın orijinal genetik algoritma çalışması üretimsel yer değiştirme stratejisine dayanmaktadır. N adet bireyden oluşan nesile, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri uygulanır ve yeni bir nesil üretilir. Ancak bu yaklaşımda, optimum çözüme ulaşmak zaman alabileceği gibi, optimum çözümün nesil geçişlerinde kaybolma ihtimali de bulunmaktadır. Temel ilkelerinin ortaya atılmasından sonra, genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Bunlardan biri de, orijinal genetik algoritmanın dezavantajlarını ortadan kaldırmak için çalışan Holland 'ın doktora öğrencisi olan De Jong, elitizm ve nesil yenileme kavramlarını ortaya çıkarmıştır.

Genetik algoritma, evrim teorisindeki en iyi olan bireyin hayatta kalma ve genlerini sonraki nesillere aktarma olasılığının daha fazla olması esasına dayanmaktadır. Genetik algoritma, kullanılan operatörler yoluyla en iyi bireyi bulmaya yönlendirilmiş bir arama yöntemi olmasına karşın; en iyi çözümü her zaman bulması garanti edilememektedir. Öte yandan, yapılan çalışmalar, Genetik algoritma ile yapılan optimizasyon çalışmalarında ulaşılan sonuçların, çoğunlukla diğer optimizasyon teknikleriyle elde edilenlerden daha kullanılabilir olduğunu göstermektedir. (Holland, 1975)

Genetik algoritma, karmaşık fonksiyonların global optimum (maksimum veya minimum) noktalarının bulunması için gerekli çözümü sağlayan bir yöntemdir. Geleneksel optimizasyon yöntemleri için çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. En iyinin yaşaması ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler (veya çözüm adayları) üretir. Kötü olan çözümler (veya çözüm adayları) ise algoritmanın süreci gereğince elenir (Holland, 1975). Genetik algoritmalar ayırık problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Mühendislikteki bir çok uygulamada başarı ile uygulanmaktadır.

Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989). Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan nesilleri eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır.

Genetik algoritmada sonuç değerlerinden bahsedilirken, iki tip çözümden bahsedilir : Birey yani genetik algoritmanın ilgilendiği genetik bilgi (genotip) ve sonuçların gerçek değerlere dönüştürülmüş olan hali (fenotip). Şekil 4.1 'de genotip ve fenotip gösterimi verilmektedir.



Şekil 4.1 Genotip ve fenotip gösterimi

Bir birey genlerden meydana gelir. Şekil 4.2 'de örnek bir birey gösterimi bulunmaktadır. Çözüm kümesindeki her elaman, bireydeki gene karşılık gelmektedir. Her bir birey, bir çözüme karşılık gelmektedir.

Birey	1101100100110110
-------	------------------

Şekil 4.2 Bir bireyin gösterimi

Gen, bir parametrenin genetik algoritmadaki gösterimidir. Şekil 4.3 'te genlerin gösterimi bulunmaktadır.

1 0 1 0	1 1 1 0	1 1 1 1	0 1 0 1
↑	↑	↑	↑
Gen 1	Gen 2	Gen 3	Gen 4

Şekil 4.3 Genlerin gösterimi

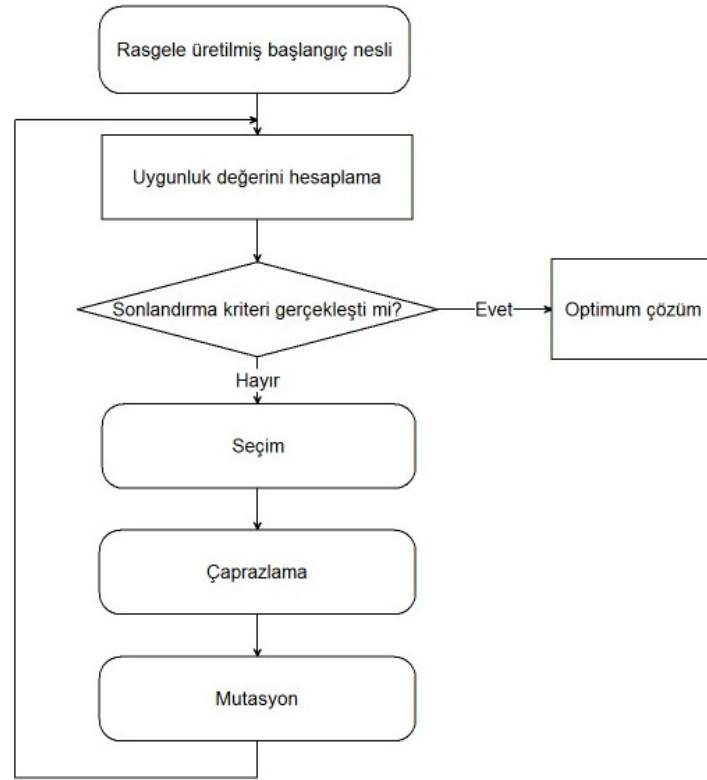
Bireylerin en iyi çözüm olup olmadıkları uygunluk değerine bakarak anlaşılır. Bir bireyin uygunluk değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle kullanılabilir değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir.

Nesil denenmiş olan bütün sonuçların bir toplamıdır. Nesille ilgili olarak genetik algorithmada iki kavram, ilk nesil oluşturma ve nesil sayısıdır. Nesil kavramının gösterimi Şekil 4.4 'te gösterilmiştir.

Nesil	Kromozom 1	1 1 1 0 0 0 1 0
	Kromozom 2	0 1 1 1 1 0 1 1
	Kromozom 3	1 0 1 0 1 0 1 0
	Kromozom 4	1 1 0 0 1 1 0 0

Şekil 4.4 Nesil gösterimi

Genetik algoritmanın genel işleyişi Şekil 4.5 'te verilen akış diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 4.5 Genetik algoritma genel işleyişi

Bir çok alanda uygulama imkanı ve uygulamaları olan genetik algoritmaların işleme adımları şöyle açıklanabilir (Engin, 2001) :

- Arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlama doğru yapılmalıdır.
- Genellikle rastlantısal bir çözüm kümesi seçilir ve başlangıç nesli olarak kabul edilir. Belirlenen gösterim şekline uygun kodlanmış bireylerden oluşan bir başlangıç neslindeki her bir birey, problemin olası bir çözümünü temsil eder. Nesil sürekli daha iyi çözümler oluşturmaya çalıştığı için, zaman içinde değişir.
- Her bir dizi için bir uygunluk değeri hesaplanır, bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir.
- Bir grup dizi belirli bir olasılık değerine göre rastlantısal olarak seçilip çoğalma işlemi gerçekleştirilir.
- Yeni bireylerin uygunluk değerleri hesaplanarak, çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulur.
- Önceden belirlenen kuşak sayısı boyunca yukarıdaki işlemler devam ettirilir.
- Deneme sayısı, belirlenen kuşak sayısına ulaşıncaya işlem sona erdirilir.

- Amaç fonksiyonuna göre en uygun olan dizi seçilir.

Genetik algoritma kullanımının en önemli avantajlarına aşağıda yer verilmiştir :

- Çok amaçlı optimizasyon yöntemleri ile kullanılabilmesi
- Çok karmaşık ortamlara uyarlanması
- Kısa sürelerde iyi sonuçlar verebilmesi

Genetik algoritmanın avantajlarının yanında, dezavantajları da aşağıdaki gibi gruplandırılabilir :

- Son kullanıcının modeli anlaması güç
- Problemi GA ile çözmeye uygun hale getirmek zor
- Uygunluk fonksiyonunu belirlemek zor
- Çaprazlama ve mutasyon tekniklerini belirlemek zor

Bu doktora çalışması kapsamında genetik algoritma kullanırken dezavantajlarının en aza indirilmesine çalışılmıştır.

4.1 Genetik Algoritma Parametrelerinin Seçimi ve Gösterimi

Genetik algoritma kullanımı sırasında kullanılan parametreler aşağıda alt başlıklar halinde anlatılmaktadır.

4.1.1 Kodlama

Parametre seçimi veya kodlama, bilgisayarın etkileşime geçeceği genetik algoritma model parametrelerinin gösterim işlemidir. İki tip parametre kodlama yöntemi vardır : Bit-string kodlama ve gerçek değer kodlama. Bit-string kodlama da, kendi içinde iki ayrı şekilde gruplanmaktadır : İkili kodlama ve gri kodlama.

Gerçek değer kodlamasında her değer, gerçek değeri ile kodlanırlar. Gerçek değer kodlamaya örnek, Çizelge 4.1 'de verilmektedir. Tüm genetik algoritma işlemleri bu gerçek değerler üzerinde yapılır.

Çizelge 4.1 Gerçek değer kodlama

Birey 1	1,2345
Birey 2	4,6673

Bit-string kodlamada ise ikili değerlerle yani 1 ve 0 'larla kodlama yapılmaktadır. Bit-string kodlama, kullanım kolaylığı nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. İkili kodlamaya örnek, Çizelge 4.2

'de verilmektedir. Genetik algoritmadaki ikili gösterimde, modeldeki her parametre 0 ve 1 'lerden oluşan alt-bitlerle kodlanır.

Çizelge 4.2 İkili kodlama

Birey 1	1101100100110110
Birey 2	1101111000011110

Gri kodlamada, tüm yakın nümerik sayıların sadece bir bit değiştiği ikili karakter setlerinin sıralamasıyla oluşur. Her bir değer değişimi, ikili gösterimde tek bir bitin değişmesiyle elde edilmektedir. Çizelge 4.3 'te gri kodlamanın nasıl olduğu konusuna bir örnek verilmektedir. Tabloda 8 farklı sayının, 3 bitle ifade edilen ikili gösterim şekilleri verilmektedir. Her değer değişiminde ikili gösterimdeki bir bitlik değişim koyu şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Gri kodlama

Değer	Gri gösterim
0	000
1	00 1
2	0 11
3	0 10
4	110
5	111
6	101
7	100

İkili kodlama, yakın nümerik sayıların gösteriminde daha fazla bit değişebilir.

4.1.2 Nesil Sayısı

Nesil sayısı, hesaplamaların kaç kez tekrarlanacağı ile ilgilidir. Probleme göre değişkenlik gösterir ve problemin yapısına göre belirlenmelidir. Uygunluk değerlerinin artık değişmez hale gelmesi veya meydana gelen iyileşmenin hesaplama vakti ile karşılaştırıldığında önemsiz hale gelmesi durumlarındaki nesil sayısı, optimum değerdir. Genetik algoritmanın çalışması seçilen nesil sayısının tamamlanması ile veya nesil sayısı tamamlanmadan uygunluk değerinin değişmez hale gelmesi ile sonlandırılabilir.

4.1.3 Genetik Algoritmanın Sonlandırılması

Genetik algoritmanın sonlandırılmasında birden fazla kriter bulunmaktadır. Probleme göre veya isteğe göre herhangi biri veya bir kaç bir arada genetik algoritmasının sonlandırılması için kullanılabilir. Bu kriterler şöyle gruplandırılabilir :

- Hesaplanacak nesil sayısı,
- Hesapların yapılması için ayrılması öngörülen süre,
- Uygunluk değerinin belirli bir süre veya nesil sayısının ardından değişmez hale gelmesi veya değerindeki değişimin hesaplama için geçecek süreye değmemesi.

4.1.4 Birey Sayısı

Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu dizi birey olarak adlandırılırken, bireylerden oluşan topluluk nesil olarak tanımlanmaktadır. Birey sayısı, nesli temsil eden bireylerin kaç adet oldukları ile ilgili sayıdır.

Birey sayısının artması, nesil çeşitliliğini arttırmakta fakat uygunluk hesaplarını arttırmaktadır. Birey sayısı çok büyük olduğunda, hesaplama zamanını azaltmak için kullanıcılarda nesil sayısını azaltma eğilimi olmaktadır. Nesil sayısının azalması ise tüm çözümün kalitesini düşürmektedir. Diğer yandan küçük birey sayısı, genetik algoritmanın alt-optimum çözümlerde kalmasına neden olmaktadır. Goldberg (1989), bir çok GA kullanıcısının 30 ile 200 arasında değişen birey sayısı seçtiğini belirtmiştir. Ayrıca Goldberg (1989) birey sayısının uygulamaya ve birey uzunluğuna bağlı olduğunu ifade etmiştir. Daha uzun bireyler için daha büyük birey sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. (Siriwardene vd., 2006)

Yapılan çalışmalarda optimum birey sayısının, model parametre setinin string uzunluğuna bağlı olduğunu göstermiştir. (Siriwardene vd., 2006)

4.1.5 Bit Sayısı Uzunluğu

Modeldeki parametre setlerinin tanımlanabilmesi için gereken bit sayısı uzunluğudur. Problemin yapısına ve çözüm şekillerine göre farklı uzunluk değerleri olabilir. Bit sayısı uzunluğu, birey sayısını da etkilemektedir.

Her parametrenin bit sayısı uzunluğu, parametre sınırlarına ve istenen duyarlılığa bağlıdır. Bit sayısı uzunluğu artarsa, parametre sınırları da artar ve daha yüksek duyarlılıkta değerler elde edilir. (Siriwardene vd., 2006)

4.1.6 Ebeveyn Seçimi

Seçim işlemi, seçilen uygunluk fonksiyonuna ve seçim yöntemine göre mevcut nesilden yeni bir neslin bireylerini seçmektir. Ebeveynler uygunluk değerlerine göre eşleşmek üzere seçilirler.

Seçim işleminin çeşitli yolları vardır. Oransal seçim / rulet tekeri, lineer sıralama ve turnuva seçimi en çok kullanılan yöntemlerdir. Seçim yöntemlerinin birbirlerine karşı bariz üstünlükleri yoktur. (Siriwardene vd., 2006)

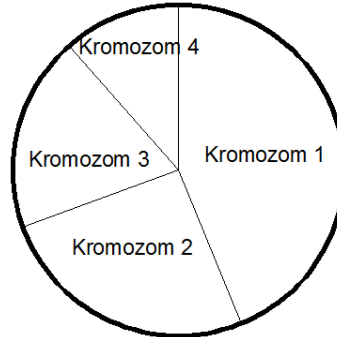
Rulet Teker :

Bu yöntemin bir diğer adı da, “*Oransal Seçim*” yöntemidir. Ebeveynler, uygunluk değerlerine göre seçilirler. Daha iyi uygunluk değerine sahip bireylerin seçilme şansları daha yüksektir. Rulet tekeri adının verilme nedeni, ebeveynlerin seçimindeki şans durumunun her bireyin uygunluk değerine ve rulet üzerinde kapladığı yere bağlı olmasının, rulet tekerinin çevrilmesine benzemesi yüzündendir. Rulet tekerinde tüm nesillerdeki bireyler, uygunluk değerlerine uygun büyüklükte yere sahiptirler.

Şekil 4.6 'dan da görülebileceği üzere, eğer bir bireyin diğerlerine göre daha yüksek uygunluk değerleri varsa, seçilme ihtimal de daha yüksek olacaktır.

Rulet tekeri algoritması şu şekilde gösterilebilir.

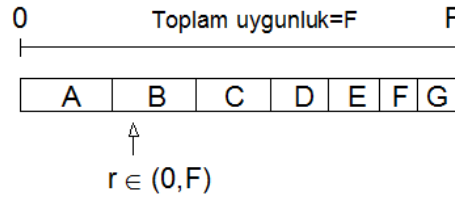
1. [Topla] Nesildeki tüm bireylerin uygunluk değerlerini topla S.
2. [Seç] (0,S) aralığında rasgele bir sayı üret- r.
3. [Döngü] Uygunluk değerlerinde 0'dan başlayarak s 'e kadar olan değerleri topla s. Eğer toplam $s > r$ ise, bulunan bireyi seç.



Şekil 4.6 Rulet tekeri gösterimi

Rulet tekeri algoritması, daha çok maksimum uygunluk değerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Eğer minimum uygunluk değeri bulmak isteniyorsa, algoritmada değişiklik yapılması gerekmektedir. Bu gibi durumlarda değişiklik yapmaktansa, diğer algoritmaların kullanılması önerilmektedir.

Rulet tekerinin farklı bir gösterimi de Şekil 4.7 'de verilmektedir. Görüleceği üzere, uygunluk değeri büyük olan bireyler, toplam uygunluk değeri içinde daha çok yer kaplamaktadırlar.



Şekil 4.7. Rulet tekerinin farklı bir gösterimi

Bu yöntemle, düşük uygunluk değerine sahip bireylerin de bir sonraki nesle seçilme olasılıkları vardır. Bu da sonraki nesillerde çeşitlilikleri arttırmak ve genetik algoritmanın en uygun değeri ararken farklı noktalarındaki ara uygun değerlere takılmasını önlemektedir.

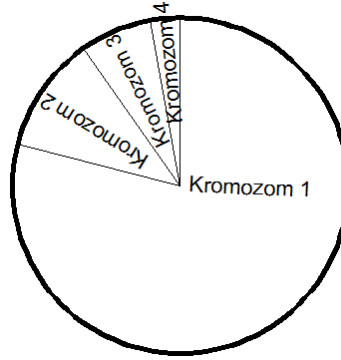
Bir kötü yanı ise, eğer bireyler arası uygunluk değerleri arasında çok farklılık varsa, yüksek uygunluk değerine sahip bireyler teker üzerinde çok yer işgal edeceklerinden, düşük uygunluk değerine sahip bireylerin seçilme olasılıkları çok düşmektedir.

Lineer Sıralama :

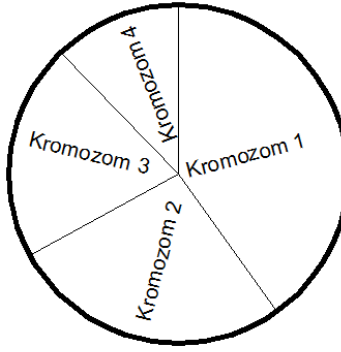
Bu yöntemde, ilk olarak tüm bireyler uygunluk değerlerine göre sıralanırlar. Her birey uygunluklarına göre bir değer alır. Kötü uygunluk değerine sahip olan 1, 2. kötü değer 2 değerini alırken, en iyi uygunluk değerine sahip birey N (nesildeki birey sayısı) değerini almaktadır.

Aşağıdaki Şekil 4.8 ve 4.9 'da, uygunluk değerlerinin sıralama numarası olarak değişimleri gösterilmektedir.

Bu işlemin ardından, tüm bireylerin seçilme şansları bulunmaktadır. Bu metodun kötü yanı, en iyi bireyin diğerlerinden çok fazla farkının bulunmaması nedeniyle genetik algoritmanın en uygun değeri bulma işleminin daha yavaş olmasıdır.



Şekil 4.8 Sıralama öncesi uygunluk değeri grafiği



Şekil 4.9 Sıralama sonrası uygunluk değeri grafiği

Turnuva :

En çok kullanılan seçme yöntemidir. Turnuva seçiminde, nesil içinden iki adet birey belirlenir ve ebeveyn olarak hangisinin seçileceği konusunda turnuva düzenlenir. Turnuva, 0-1 arasında rasgele bir sayı üretimi ve önceden belirlenen bir değerle karşılaştırılması şeklinde yapılmaktadır. İstenirse ilk etapta ikiden daha fazla birey seçimi yapılabilir.

Turnuva yöntemi iki şekilde yapılabilir :

1. Rasgele olarak bir çift birey belirlenir. 0-1 arasında rasgele bir sayı üretilir (R). Eğer R değeri, önceden seçilmiş r değerinden küçükse ilk birey ebeveyn olarak seçilir. Eğer R değeri, önceden seçilmiş r değerinden büyük eşitse, ikinci birey ebeveyn olarak seçilir. r değeri turnuva oranı, 2 olarak belirlenen birey sayısı turnuva sayısı olarak bilinmektedir. İkinci ebeveyn için işlem tekrarlanır.
2. Rasgele olarak bir çift birey belirlenir. Daha yüksek uygunluk değerine sahip olan birey ebeveyn olarak seçilir. İkinci ebeveyn için işlem tekrarlanır.

Keserek Seçme :

Bu yöntemde nesildeki bireyler uygunluk değerlerine göre sıralanırlar. Seçilen belirli bir p oranına göre ($p=1/2$ veya $1/3$) en iyi uygunluk değerine sahip bireyler seçilir ve $1/p$ adet yeni birey üretilir. Az kullanılan bir algoritmadır.

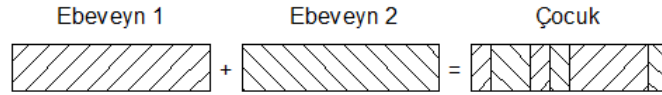
4.1.7 Çaprazlama

Çaprazlama işlemi, şimdiki nesilde yer alan bireylerden seçim algoritmasına göre seçilen iki bireyin rastlantısal olarak birleştirilmesi ile bir sonraki nesilde yeni bireyler elde etmek için kullanılmasıdır. Bazı algoritmalar en iyi bireyin, bir nesilden diğerine değişmeden geçmesini sağlayan elitist seçim yaklaşımını da kullanabilir. Çaprazlama için uniform, tek noktalı veya çok noktalı çaprazlama gibi çeşitli yöntemler vardır.

En uygun çaprazlama yönteminin seçimi, uygulamaya bağlıdır. (Siriwardene vd., 2006)

Uniform Çaprazlama :

Bu çaprazlama yönteminde, iki ebeveyndeki bitler rastlantısal olarak bir sonraki nesli oluşturacak yeni bireye aktarılmaktadır. Şekil 4.10 'da uniform çaprazlama gösterimi görülmektedir.



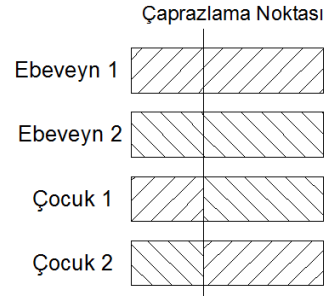
Şekil 4.10 Uniform çaprazlama gösterimi

Aşağıda ikili gösterimde yapılan uniform çaprazlamaya bir örnek gösterilmektedir. Rastlantısal olarak seçilen bitler, eğik olarak yazılmışlardır.

$$1100\ 1011 + 1\ 10\ 11\ 101 = 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1$$

Tek Noktalı Çaprazlama :

Bu çaprazlama yönteminde ise, ebeveynlere ait bireyler rastlantısal olarak belirlenen bir noktadan kesilirler. Bir ebeveyndeki ilk parça ile ikinci ebeveyndeki ikinci parça birleştirilerek yeni nesil birey oluşturulur. Terside ikinci yeni nesil birey oluşturmak için kullanılır. Şekil 4.11 'de tek noktalı çaprazlama gösterimi görülmektedir.



Şekil 4.11 Tek noktalı çaprazlama gösterimi

Aşağıda ikili gösterimde yapılan tek noktalı çaprazlamaya bir örnek gösterilmektedir. Tek noktalı çaprazlamada rastlantısal olarak seçilen çaprazlama noktasında bir ebeveyndeki ilk grup bitler ile ikinci ebeveyndeki ikinci grup bitler, eşik olarak yazılmışlardır.

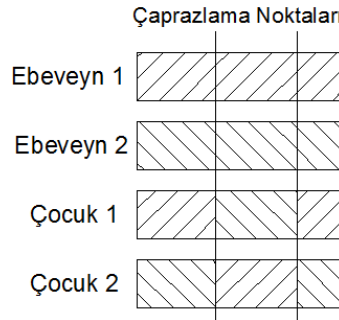
$$11001011 + 11011111 = 11001111$$

Kesme noktasından sonra bireyin ne şekilde tamamlanacağı ile ilgili, rastlantısal belirlemenin yanında farklı algoritmalar da bulunmaktadır.

$$(1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9) + (4\ 5\ 3\ 6\ 8\ 9\ 7\ 2\ 1) = (1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 8\ 9\ 7)$$

İki Noktalı Çaprazlama :

Bu çaprazlama yöntemi için rastlantısal olarak iki değer belirlenir. Bir ebeveyndeki birinci değerdeki bite kadar olanlar, ikinci ebeveyndeki birinci değerle ikinci değer arasında yer alan bitler ve yine birinci ebeveyndeki ikinci değerden sonra yer alan bitler yeni nesil bireyi oluşturmak için kullanılır. Terside ikinci yeni nesil bireyi oluşturmak için kullanılır. Şekil 4.12 'de iki noktalı çaprazlama gösterimi görülmektedir.



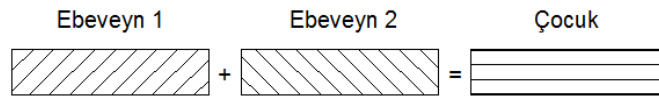
Şekil 4.12 İki noktalı çaprazlama gösterimi

Aşağıda ikili gösterimde yapılan iki noktalı çaprazlamaya bir örnek gösterilmektedir. İki noktalı çaprazlamada rastlantısal olarak seçilen iki çaprazlama noktasında bir ebeveyndeki ilk ve üçüncü grup bitler ile ikinci ebeveyndeki ikinci grup bitler, eğik olarak yazılmışlardır.

$$11001011 + 11011111 = 11011111$$

Aritmetik Çaprazlama :

Aritmetik çaprazlamada, yeni nesil bireyleri oluşturmak için bazı aritmetik işlemler gerçekleştirilir. Şekil 4.13 'te aritmetik çaprazlama gösterimi görülmektedir.



Şekil 4.13 Aritmetik çaprazlama gösterimi

Aşağıda AND işlemi ile yapılan aritmetik çaprazlamaya bir örnek gösterilmektedir.

$$11001011 + 11011111 = 11001001 \text{ (AND)}$$

Çaprazlama Oranı :

Çaprazlama oranı şu andaki mevcut olan bireylerin % kaçının çaprazlama işlemine tabi tutularak, yeni nesil bireylerin oluşturulacağı ile ilgili değerdir. Çaprazlama oranının 0 olması, bir sonraki neslin bireylerinin şu anki nesildeki bireylerin tam kopyası olacağını ifade etmektedir. Ama bu nesillerin aynı olacağını göstermez. Değerin %100 olması da, tüm yeni nesil bireylerin çaprazlama ile elde edileceğini gösterir.

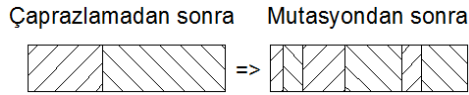
Çaprazlama oranı, kullanıcı tarafından belirlenen ve çaprazlama işleminin yapım olasılığıdır. Eğer çaprazlama oranı %90 olarak belirlenmiş ise, neslin ortalama %90 'ı çaprazlama işlemine tabii tutulur demektir. Yüksek değere sahip çaprazlama oranı, bireylerin iyi karışımlarına neden olacaktır.

Çaprazlamadaki mantık, bir sonraki nesildeki bireylerin mevcut bireylerin iyi yanlarını alarak oluşması ve yeni nesil bireylerin daha iyi uygunluk değerlerine sahip olmasının istenmesidir. Bununla birlikte, içinde bulunulan nesildeki bazı bireylerin aynen bir sonraki nesle aktarılması da iyi sonuçlar vermektedir.

4.1.8 Mutasyon

Mutasyon, bireylerin rastlantısal olarak değiştirilmesi işlemidir. Mutasyon ile nesilde yenilenme işlemi meydana gelmektedir. Böylece birbirine benzer değerdeki bireylerle dolu nesillerin önüne geçmektedir. Örneğin, bit string gösteriminde mutasyon 0'ların 1, 1'lerin de 0 yapılması ile gerçekleşmektedir. (Siriwardene vd., 2006)

Şekil 4.14 'te çaprazlama sonrasındaki bireyin, mutasyona uğramasından sonra aldığı hal gösterilmektedir.



Şekil 4.14 Mutasyon gösterimi

Aşağıda ikili gösterimde yapılan mutasyona bir örnek gösterilmektedir. Mutasyona uğrayan bit koyu renkli olarak gösterilmiştir.

$$11001001 \Rightarrow 10001001$$

Mutasyon, bireydeki herhangi iki bitin değerinin yer değiştirmesi ile de elde edilebilir. Aşağıdaki örnekte mutasyona uğrayan ve yer değiştiren bitler koyu renkli olarak gösterilmiştir.

$$(1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 8 \ 9 \ 7) \Rightarrow (1 \ 8 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 2 \ 9 \ 7)$$

Gerçek değerlerle genetik algoritma işleminin yapılması sırasında, mutasyon işlemi bireydeki bazı değerlere belirlenen bir sayının eklenmesi veya çıkarılması ile yapılmaktadır.

$$(1.29 \ 5.68 \ 2.86 \ 4.11 \ 5.55) \Rightarrow (1.29 \ 5.68 \ 2.73 \ 4.22 \ 5.55)$$

Mutasyon Oranı :

Mutasyon oranı, bireylerin hangi oranda değiştirileceğini ifade etmektedir. Eğer mutasyon oranı 0 ise, çaprazlama işlemi ile elde edilmiş olan nesil aynen yeni nesle değişikliğe uğratılmadan geçirilir. Mutasyon yapıldığında, bireyin belirli bölümleri değişecektir. Değerin %100 olması, tüm bireylerin değiştirilmesine neden olacaktır.

Problemlere göre farklı mutasyon oranları kullanılabilir. Literatürde genelde %1 - %10 arası değerlerin kullanıldığı görülmektedir.

Mutasyon, genetik algoritmanın yerel uç noktalarda takılı kalmasını engellemektedir. Bununla birlikte yüksek mutasyon oranları genetik algoritmanın rastlantısal arama haline gelmesine neden olabilir.

Kaç adet bitin mutasyona uğratılacağı şu şekilde hesaplanır :

$$\text{Mutasyon\#} = \text{Birey Sayısı\#} * \text{Bit\#} * \text{Mutasyon\%} \quad (4.1)$$

Büyük mutasyon oranları, iyi bireylerin bozulma olasılığını arttırmaktadır. Kullanıcı tanımlı mutasyon oranı, mutasyon olma olasılığını belirlemektedir. (Siriwardene vd., 2006)

4.1.9 Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme

Genetik algoritma kullanımında mutasyon işlemi temel işlemlerden biridir. Bazı hesaplamalarda, nesiller tekdüze hale gelmekte ve mutasyon oranı kullanımına rağmen, uygunluk değerinde bir değişme olmamakta veya iki nesil arasındaki uygunluk değeri farkı oldukça düşük olmaktadır. Bu durumdan kurtulmak için mutasyon oranının dinamik olarak, programın çalışması sırasında elde edilen değerlere göre değiştirilmesi konusu incelenmek istenmiştir.

Bu amaçla başlangıç için minimum bir mutasyon oranı (örneğin %1) belirlenmiş ve mutasyon oranının arttırılabileceği maksimum bir değer (örneğin %10) seçilmiştir. Tüm nesil hesaplamalarında en uygun değer bir önceki neslin sonucu ile karşılaştırılmaktadır. Eğer üst üste seçilen sayıda nesil boyunca en uygun değerde ancak %1 'in altında değişme meydana geliyorsa, bu durumda o anda seçili mutasyon oranının %1 arttırılması işlemi yapılmakta ve o andan sonra yapılan mutasyon işlemlerinde bu yeni mutasyon oranı kullanılmaktadır.

Mutasyon oranının artışı, maksimum izin verilen mutasyon değerine kadar gitmektedir. Maksimum mutasyon oranına ulaşılmasına rağmen, seçilen nesil sayısınca hala benzer şekilde neslin tekdüzeliği devam ediyorsa, artık mutasyon oranında bir değişiklik meydana getirilmemektedir. Yani mutasyon oranının izin verilen maksimum mutasyon oranını geçmesine izin verilmemektedir.

Mutasyon oranının artışı sonrasında uygunluk değerinin %1 'den fazla azalması durumunda ise, mutasyon oranı düşürülmeye başlamaktadır. Düşürme oranı, arttırma oranında olduğu gibi %1 'dir. Mutasyon oranının azalması, minimum izin verilen mutasyon oranına kadar olmaktadır.

Neslin tekdüze hale gelmesi durumunda, kullanılan dinamik mutasyon oranı değişimi ile bireylerde daha fazla değişim yapılması ve daha uygun bedellerin daha kısa sürelerde elde edilmesi amaçlanmıştır.

Belirli bir nesil boyunca kontrolün devam etmesi, değişen bireylere uyum sağlama imkanı vermek için yapılmıştır.

4.1.10 Elitizm

Çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile, yeni nesle geçerken uygunluk değeri en iyi olan bireylerin kaybedilmesi durumu ile karşılaşılabilir. Bu durumla başa çıkabilmek için geliştirilen uygunluk değeri en iyi olan birey veya belirli bir yüzdeye giren en iyi bireylerin korunarak yeni topluma doğrudan eklenmesi işlemi, elitizm olarak adlandırılmaktadır. Elit birey olarak seçilen bireylerin mutasyonla değiştirilmesine izin verilmez. Elit yaklaşımla, genetik algoritmanın performansının artması sağlanabilmektedir.

Elitizm Oranı :

Elitizm oranı, bireylerin hangi oranda korunacağını ifade etmektedir. Kaç bireyin yeni nesle doğrudan aktarılacağı şu şekilde hesaplanır :

$$Elit\# = Birey\ sayısı * Elitizm\% \quad (4.2)$$

4.1.11 Koruma Oranı

Bir sonraki nesle geçişte, çaprazlamaya tabi olmadan geçecek bireylerin ne şekilde seçileceği, diğer bir deyişle ne şekilde korunacağı ile ilgili orandır. Korunacak bireylerin elitizmle seçilen bireylerden farkı, mutasyona uğrama olasılıklarının olmasıdır.

Hazırlanan programda dört alternatif planlanmıştır. Aşağıda bu alternatiflerin açıklaması bulunmaktadır :

0 -> Rastlantısal Koruma

%50 -> İlk yarıdan (ilk korunacak birey sayısı*%50) birey, ikinci yarıdan ilk korunacak birey sayısı*%50 birey

%90 -> İlk yarıdan (ilk korunacak birey sayısı*%90) birey, ikinci yarıdan ilk korunacak birey sayısı*%10 birey

%100 -> İlk yarıdan ilk korunacak birey sayısı kadar birey

4.1.12 Nesil Yenileme

Başta rastlantısal olarak belirlenen veriler, nesiller boyunca yapılan çaprazlama işlemleri birbirine benzer hale gelebilir. Bu noktadan sonra farklı alternatifler denenemediğinden, uygunluk değerinin daha uygun hale getirilmesi imkanı bulunamayabilir. Nesilleri tekdüzeliğinden

kurtarmak için bazen neslin belirli bir bölümünün rastlantısal olarak yeniden belirlenmesi istenebilir. Hangi bireylerin yerine yeni bireylerin geçirileceği, hangi yöntemle bireylerin oluşturulacağı kullanıma bağlıdır.

Dinamik mutasyon oranı kullanımı yönteminde olduğu gibi, tüm nesil hesaplamalarında en uygun değer bir önceki neslin sonucu ile karşılaştırılmaktadır. Eğer üst üste seçilen sayıda nesil boyunca en uygun değerde ancak %1 'in altında değişme meydana geliyorsa, bu durumda neslin belirlenen oranda tamamen rastlantısal olarak değişmesi planlanmıştır. Böylece neslin tekdüze hale gelmesi durumunda, yapılan yenileme ile yeni bir noktadan hesaplamaların devam etmesi istenmiştir. Belirli bir nesil boyunca kontrolün devam etmesi, değişen bireylere uyum sağlama imkanı vermek için yapılmıştır.

5. YAĞMUR SUYU / KANALİZASYON SİSTEMLERİNİN OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada yapılan her aşama için bağımsız bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Optimizasyon işlemleri için herhangi bir hazır paket programındaki optimizasyon araçlarından yararlanılmamıştır. Optimizasyonda kullanılan genetik algoritma ile ilgili tüm aşamalar yeni ve özel olarak hazırlanmıştır. Hazır standart programlardan yararlanmak yerine, yeni bir program yazılması ile işlemlerde ve kullanılan algoritmalarda, maliyet hesaplarında esneklik sağlanması hedeflenmiş ve ulaşılmıştır. Bu çalışmadaki optimizasyon işlemi iki bölümden oluşmaktadır.

1. Yön optimizasyonu : Kanalizasyon ve yağmur suyu hatlarında yaklaşık maliyet formülü kullanılarak yönlerin belirlenmesi ilgili genetik algoritma kullanımı
2. Hidrolik optimizasyon : Optimizasyonla belirlenen yönlerin veri olarak kullanılması ile hidrolik hesaplarla ilgili ikinci bir genetik algoritma kullanımı

Hazırlanan programda ilk olarak verilen şebeke üzerinde yön optimizasyonu yapılmaktadır. Ardından bulunan en uygun şebeke tasarımı, hidrolik optimizasyonu veri olarak verilmektedir. Böylece iki aşamalı optimizasyon işleminden geçen şebeke verileri ile en uygun maliyetli çözüm elde edilmiş olmaktadır.

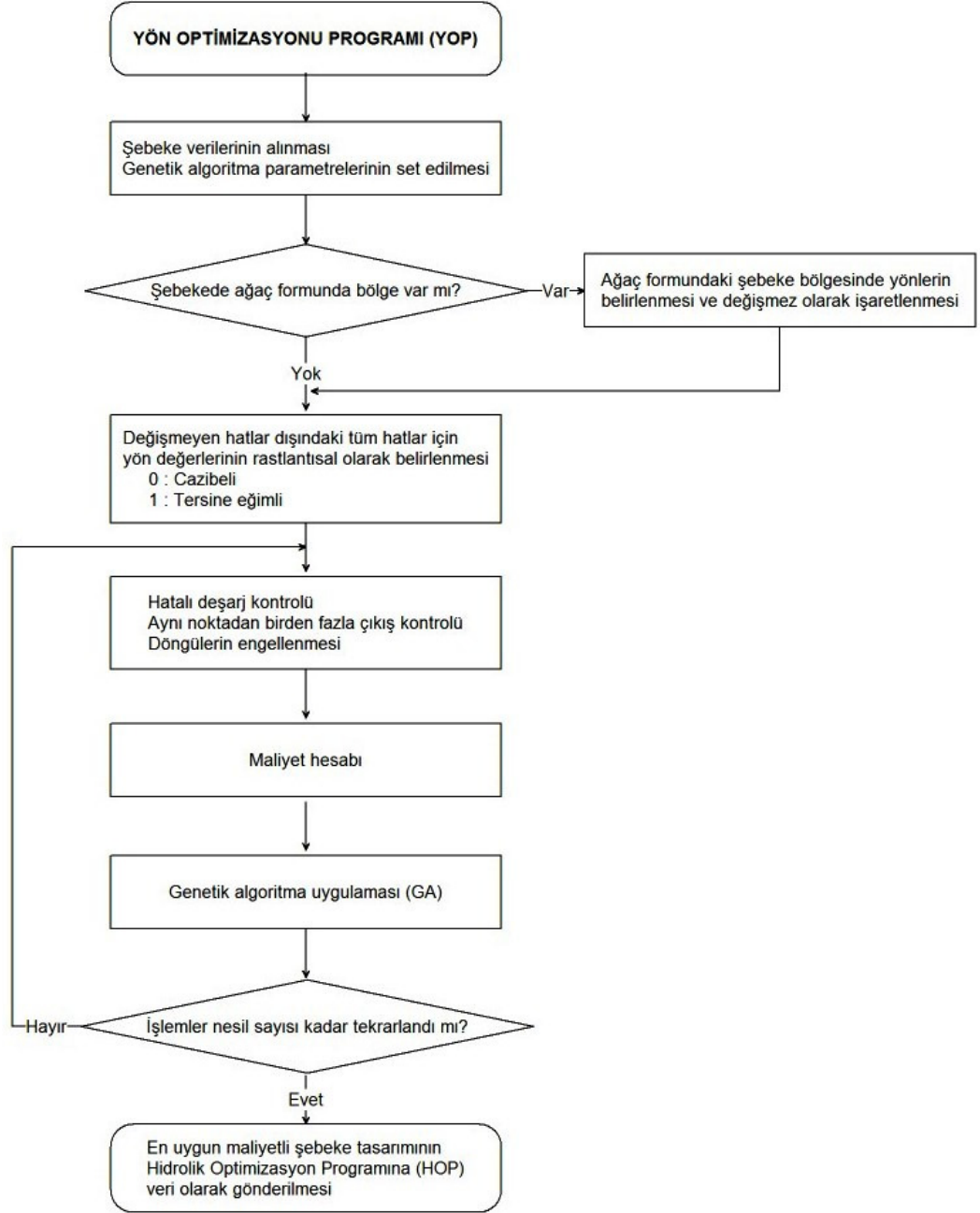
5.1 Yön Optimizasyonu

Yağmur suyu ve kanalizasyon projelerinde en uygun şebeke tasarımının belirlenmesi için yön optimizasyonu ile ilgili olarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Hazırlanan yön optimizasyonu programına ait akış şeması Şekil 5.1 'de verilmektedir. Akış şemasında (GA) olarak bahsedilen genetik algoritma bölümü ile ilgili olarak, Şekil 5.11 'de verilen yön optimizasyonu için genetik algoritma akış şemasına geçiş yapılmaktadır.

5.1.1 Girdi Olarak Alınan Veriler

Hazırlanan yön optimizasyon programında veri olarak projede kullanılacak olan hatlarla ilgili bilgiler kullanılmaktadır. Hatlarla ilgili bu bilgiler, hatların köşe noktalarının kotları, hatların uzunlukları, her hattan ayrı ayrı geçen kendi debi değerleri ve tüm projenin deşarj noktasıdır.

Şebekelerin yön belirlemesi işlemini doğrudan etkileyen unsur, hattın yönü yani hangi tarafa doğru aktığıdır. Bu nedenle kullanılacak yön optimizasyonunda parametre olarak, yön değeri kullanılmaktadır. Burada yönden kastedilen, akışın cazibeli mi yoksa tersine eğimle mi gerçekleştirildiğidir. Yön bilgisi tek bittten oluşan bir parametredir.

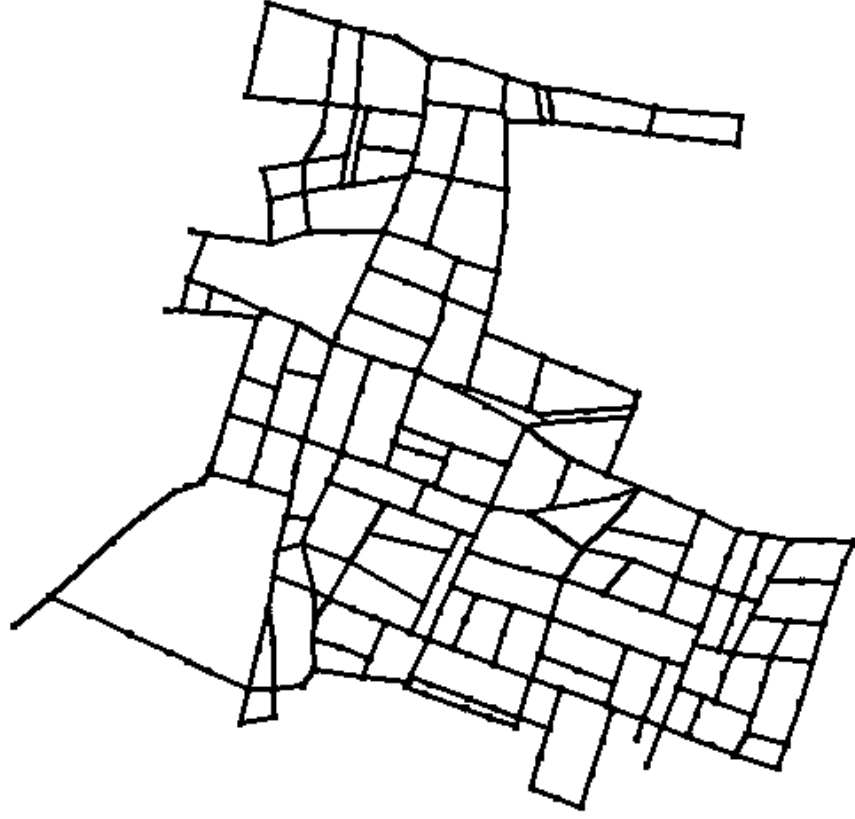


Şekil 5.1 Yön optimizasyonu programı akış şeması

Yön optimizasyonunda hatlarla ilgili verilerin alınmasının ardından, genetik algoritma ile ilgili parametreler belirlenmektedir ve veri olarak girilmektedir. Denenen tüm genetik algoritma parametreleri “5.1.6 Genetik Algoritmaların Kullanımı” konusunda anlatılacaktır. Verilerin alınmasının ardından yön verilerinin belirlenmesi işlemine geçilmektedir.

5.1.2 Değişmeyen Yönler

Herhangi bir şebeke üzerinde yön optimizasyonu ile yönlerin belirlenmesi işlemi yapmaya ihtiyaç duyulması için, şebekenin Şekil 5.2 'de görüldüğü gibi ağ formunda olması gerekmektedir. Ağ formunda olan şebekelerde hat kesişimlerinde hattın ne tarafa yönlendirildiği önem kazanmaktadır. Çünkü kesişim noktasına bağlanan her hat ayrı bir alternatifi temsil etmektedir. Deşarj noktası veya noktalarına ulaşma konusunda her bir hat, şebekeyi farklı alternatiflere götürmektedir.



Şekil 5.2 Ağ formunda olan bir şebeke örneği

Şekil 5.3 'te gösterildiği gibi ağaç formunda olan şebekelerde ise, hatların deşarja doğru yönlendirilmesi sırasında hatlar alternatif oluşturmamaktadırlar. Bu tarz şebekelerde, hatların köşe noktalarının kotları her ne olursa olsun, akış yönü her zaman için bellidir ve deşarj noktasına doğrudur. Bundan dolayı, hattın kotları ne olursa olsun, deşarja gidebilmek için cazibeli veya tersine eğimli hat olacağı ve bilindiği görülebilmektedir.

Projelerde karşılaşılan şebekeler genelde her iki tipin birleşimi şeklinde olmaktadır. Bu da şebekelerde her iki tip grubuna göre ayrı işlem yapmayı gerektirmektedir. Yön optimizasyonu

sırasında, şebekede ağaç formunda olan hatların yönleri programın başında belirlenir ve optimizasyon çalışması sırasında değiştirilmesine izin verilmez.



Şekil 5.3 Ağaç yapısı formunda olan bir şebeke örneği

5.1.3 Yön Değerlerinin Rastlantısal Olarak Belirlenmesi

Geliştirilen programda her hatta ait bir bitlik yön bilgisi rastlantısal olarak tanımlanmaktadır. 0 değeri hatta cazibeli olarak akış olduğunu, 1 değeri ise tersine eğimle akışın olduğunu göstermektedir. Şekil 5.4 'te örnek bir yön bilgileri gösterimi bulunmaktadır. Bireyin uzunluğu (n) hat sayısına eşittir.

1	2	3	4		n-4	n-3	n-2	n-1	n
0	0	1	0		1	1	0	1	0

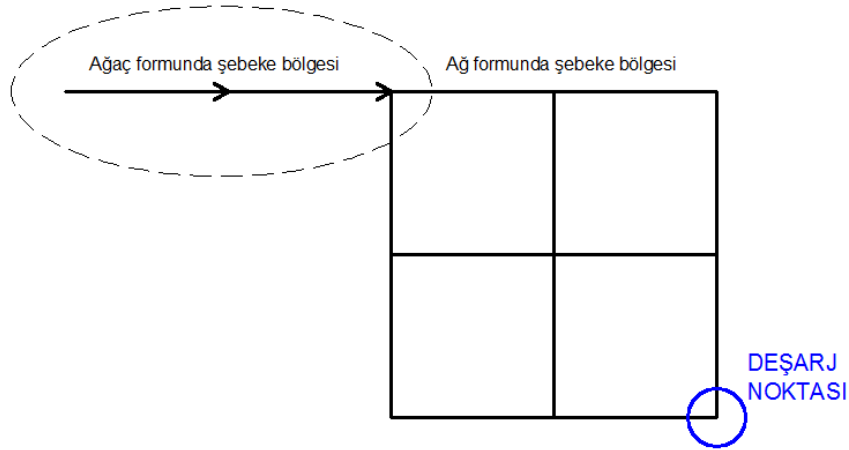
Şekil 5.4 Yön verileri ile ilgili bir tasarım alternatifinin ikili bireyi

Yönlere ait alternatif bireyler rastlantısal olarak üretilmektedir. Ancak işlem zamanını azaltmak ve uygun olmayan sonuçlara götüren bireylerin elimine edilmeleri amacı ile, uygunluk değeri hesaplanmadan önce çeşitli kontroller yapılmaktadır.

5.1.4 Yön Değerlerinin Kontrolü

Bir şebekede yön optimizasyonu yapmak için ilk olarak şebeke dahilinde Şekil 5.3 'te gösterildiği gibi ağaç formunda bir bölge olup olmadığı araştırılır. Daha önce de belirtildiği gibi, ağaç formunda olan şebekelerde, kotlardan bağımsız olarak hatların yönleri belirli durumdadır. Örnek olarak Şekil 5.5 'e bakılacak olursa, şebekede hem ağ hem de ağaç formu ile karşılaşmaktadır. Şebekede tek bir deşarj noktası olduğundan, bütün hatların bu deşarj noktasında yönlenmek zorunda oldukları açıktır.

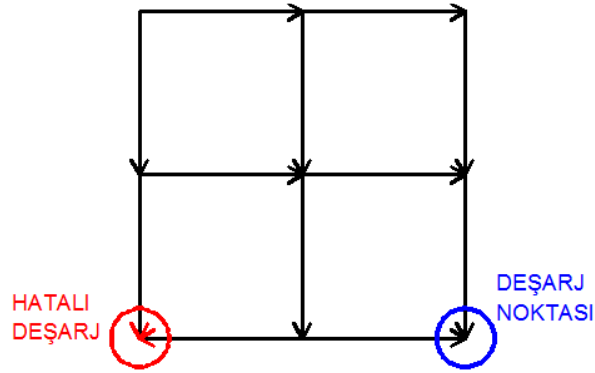
Ağ formunda şebeke bölgesinde farklı yönlenme alternatifleri çıkabilir. Ancak ağaç formunda olan şebeke bölgesinde tek bir gidiş istikameti bulunmaktadır. Bu nedenle ağaç formundaki şebeke bölgesinde yer alan hatlarda yön alternatif denemesi yapılmamalıdır. Yön optimizasyonu programında ağaç formundaki hatlarda yön başlangıçta otomatikman belirlenir ve sonradan değiştirilmesine izin verilmez.



Şekil 5.5 Mecburi yön belirleme

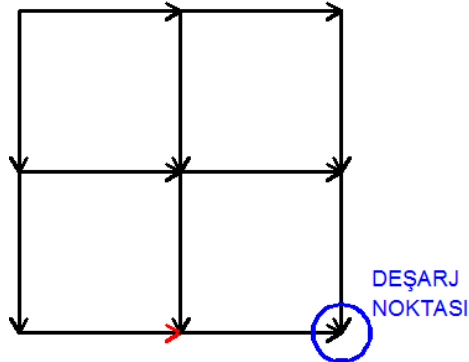
Rastlantısal olarak belirlenen yön verilerine göre, mecburi yön belirlenen hatlar dışındaki tüm hatlarda yön verisinin 0 veya 1 olması durumuna göre hatlar ayarlanır. Yön değeri 0 değeri ise hat yönü cazibeli olarak akışa göre, 1 değeri ise hat yönü tersine eğimle akışa göre tanımlanır.

Rastlantısal verilere göre yön ayarlamaları yapıldıktan sonra tüm hatlar incelenir ve tanımlanan deşarj noktası dışında meydana gelmiş deşarj noktalarının olup olmadığı araştırılır. Şekil 5.6 'da hatalı deşarj noktasına bir örnek görülmektedir. Örnek şebekenin deşarj noktası sağ alt köşede yer alırken, rastlantısal verilere göre şebekede ilave olarak sol alt köşede de bir deşarj noktası meydana gelmiştir.



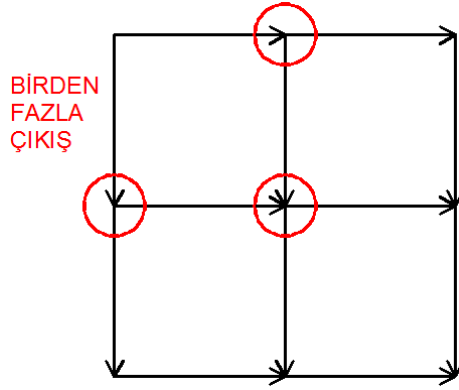
Şekil 5.6 Hatalı deşarj olma durumu

Herhangi bir noktaya tüm hatlar akış veriyorsa ama hiçbir hat çıkış yapmıyorsa ve bu nokta kabul edilen deşarj noktası değilse, bu hatalı bir yönlendirme ile oluşmuş bir noktadır ve düzeltilmesi gerekmektedir. Bu noktaya bağlanan tüm hatlar arasından rastlantısal olarak belirlenen bir tanesinin yön değeri değiştirilerek, noktadan çıkış verilmesi sağlanmış olur. Yön değiştirme işlemi, ikili değer üzerinde de yapılmaktadır. Şekil 5.6 'daki hatalı deşarj noktasına sahip şebeke tasarımının, düzeltilmiş hali Şekil 5.7 'de gösterilmiştir.



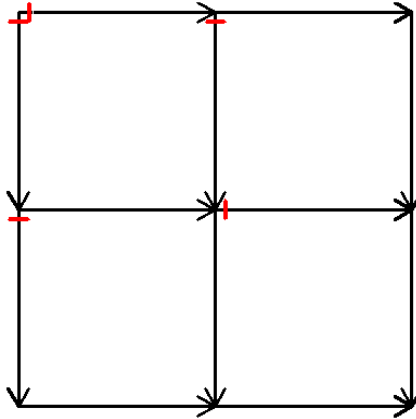
Şekil 5.7 Hatalı deşarjın düzeltilmesi

Tanımlanan deşarj noktası haricinde oluşmuş olan deşarj noktaları düzeltildikten sonra, bir noktada oluşan birden fazla çıkış hatları kontrol edilir. Şekil 5.8 'de şebeke üzerinde çeşitli noktalarda birden fazla çıkış olmasına bir örnek görülmektedir. Daire içine alınan 3 noktada çıkan birden fazla hat bulunmaktadır. Şebekede hidrolik hesapların sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi amacıyla, çıkış hatlarından sadece birinin devam hattı olarak seçilmesi gerekmektedir. Çünkü aynı noktadan birden fazla devam hattının olması durumunda, debinin hangi hat üzerinden gideceği anlaşılamayacaktır.



Şekil 5.8 Birden fazla çıkış olma durumu

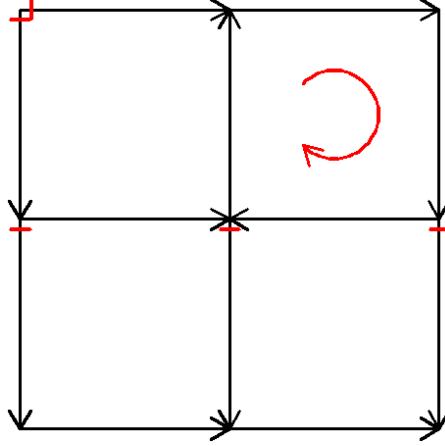
Proje hidrolik hesaplarının yapımı sırasında, bacaya gelen debinin hangi hat üzerinden devam edeceği belirlenmiş olmalıdır. Bu amaçla, herhangi bir noktadaki birden fazla olan çıkış hatları arasından rastlantısal seçilen bir tanesi devam hattı olarak seçilir. Diğer çıkış hatları başlangıç hatları olarak tanımlanır. Şekil 5.8 'de verilen ve birden fazla çıkış noktasına sahip köşe noktalarının bulunduğu şebekenin çıkışlarının düzeltilmiş hali, Şekil 5.9 'da verilmektedir.



Şekil 5.9 Birden fazla çıkışın düzeltilmesi

Yönler ve çıkış hatları ayarlandıktan sonra, şebeke üzerinde döngü olup olmadığı araştırılır. Döngü istenmeyen bir durumdur. Çünkü döngü içindeki hatlardaki debi, deşarja yönlendirilemez. Şekil 5.10 'da döngü içeren bir şebeke örneği gösterilmektedir. Döngüye giren debi, döngü dışına çıkamamaktadır. Eğer şebekede herhangi bir bölgede döngü varsa, döngünün bulunduğu şebeke yerine göre bir düzenleme yapılır. Döngü üzerindeki köşe noktalarında bulunan başlangıç hattı / devam hattı seçimlerinden rastlantısal olarak seçilen biri değiştirilir. Eğer döngü üzerindeki köşe noktalarında değişiklik yapılamıyorsa, o durumda döngüde yer alan hatlardan rastlantısal olarak seçilen birinin yönü değiştirilerek döngüden

kurtulmaya çalışılır. Yapılan düzenlemenin ardından döngü durumunun düzelip düzelmediği ve yukarıda araştırılan konular yeniden kontrol edilir.



Şekil 5.10 Şebekede döngü olma durumu

Yönlerle ilgili sonuca ulaştırmayı engelleyen durumlar düzeltildikten sonra, hatların hesaplanma sırası bir liste olarak çıkarılır. Böylece bir hattın hidrolik hesaplamasının yapılmasından önce, hidrolik hesaplaması yapılması gereken diğer öncelikli hatlar bilinmiş olacaktır. Bu hazırlanan listeye göre tüm hatların kendi debi değerlerinden faydalanılarak, hatta gelen debiler ve hattın toplam debisi hesaplanır. Hidrolik hesaplamalar, her hat üzerindeki toplam debi değeri ile yapılmaktadır.

5.1.5 Maliyet Hesabı

Belirlenen yönlerle göre hazırlanan şebeke tasarımının uygun olup olmadığının anlaşılabilmesi ve alternatiflerin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için maliyet araştırmasının yapılması gerekmektedir. “6.11 Şebeke Maliyetinin Belirlenmesi” konusunda bahsedilen ve hidrolik hesaplama yapılırken kullanılan maliyet formülleri bu aşamada işe yaramamaktadır. Çünkü bu aşamada hatlarla ilgili bilinen tek veri, hat üzerinden geçen toplam debi değerleridir. Hatlarda yer alacak borunun çapı ve eğimi dolayısı ile kazı ile ilgili bilgiler henüz mevcut değildir. Dolayısı ile gerçek bir maliyet hesabından bahsedilemez.

Kesin maliyetin bilinmemesinden dolayı, şebeke maliyetini tahmin edebilmek için yaklaşık bir maliyet formülünden yararlanılması gerekmektedir. Bu amaçla literatürde yer alan ve çeşitli çalışmalarda kullanılmış olan Walters vd. (1995) ‘in ortaya koyduğu aşağıdaki formülden yararlanılır :

$$\Sigma \text{Maliyet} = \sum_{i=1}^m L_i \sqrt{Q_i} \quad (5.1)$$

Bu formülde L hat uzunluğunu (m), Q 'da hatttan geçirilmesi gereken debiyi (m^3/s) ve m 'de sistem üzerindeki toplam hat sayısını ifade etmektedir.

Ancak bu formül incelendiğinde yaklaşık maliyeti, sadece hat uzunluğunun dolayısı ile boru boyunun ve borudan geçen debinin bir anlamda boru çapının etkilediği görülmektedir. Bu optimizasyon sonucunda elde edilen şebeke tasarımı hidrolik optimizasyona veri olarak verilecek ve sonrasında çap / kazı optimizasyonu yapılacaktır. Yaklaşık maliyet formülü içerdiği debi değeri nedeniyle, gerçek maliyetin iki önemli kriteri boru çapı ve uzunluğu konusunda bir ön fikir verirken, kazı maliyeti ile ilgili herhangi bir ön fikir vermemektedir. Bu nedenle formülün bu hali ile kullanılması durumunda, hidrolik optimizasyonla en uygun maliyetli alternatifi bulma şansı azalmaktadır.

Formülde kazıların toplam maliyete etkisinin katılmaması nedeniyle meydana gelen eksikliğin önüne geçmek amacıyla, yaklaşık maliyetine aşağıda anlatılan durumlar karşısında çeşitli ceza maliyetleri eklenmesi düşünülmüştür. Böylece kazı maliyetinin ve hatta yeri geldiğinde terfi merkezi maliyetinin öngörülmüş olması planlanmaktadır.

Aşağıda açıklanan koşullar gerçekleştirildiğinde, yaklaşık maliyet formülü aşağıda gösterilen duruma gelmektedir :

$$\Sigma \text{Maliyet} = \sum_{i=1}^m L_i \sqrt{Q_i} + \sum_{i=1}^m P_i \quad (5.2)$$

Bu formülde L hat uzunluğunu (m), Q 'da hatttan geçirilmesi gereken debiyi (m^3/s), m sistem üzerindeki toplam hat sayısını ve P 'de ceza maliyetini ifade etmektedir. P olarak bahsedilen ceza maliyetleri aşağıda ifade edildiği şekliyle hesaplanmaktadır. (Çetin vd, 2013-1)

Ceza maliyetleri :

Projelerde tersine eğime sahip hatların son noktalarında, kazı derinliği tersine eğimden dolayı artış göstermektedir. Bu nedenle tersine eğimli hatlarda ceza bedeli uygulanmaktadır. Kazı derinliğinde tersine eğimden dolayı meydana gelecek artışın miktarına göre farklı ceza bedelleri öngörülmektedir. Kazı derinliğindeki 0-1 m., 1-2 m., 2-3 m., 3-4 m., 4-5 m. 'lik artışlar için ayrı ayrı P, 2P, 3P, 4P ve 5P ceza bedelleri düşünülmüştür. Böylece optimizasyonun özellikle fazla ceza maliyeti getiren fazla kazı derinliğindeki artışa sahip tersine eğimli hatlardan kaçınması planlanmıştır.

Türkiye 'de yağmur suyu ve kanalizasyon projelerini yürüten kurumlar, İller Bankası ve diğerlerinin proje kriterlerinde kazı derinliği maksimum 5 m. olarak verilmektedir. Kazı derinliğindeki artışın 5 m. 'den fazla olması, izin verilen maksimum kazı derinliği miktarını da geçmiş olmaktadır. Bu durumda idareler, bu noktada ya terfi merkezi öngörülmesini ya da

debinin farklı bir güzergahtan geçirilmesini isterler. Proje üzerinde terfi merkezi olması, hem yapım maliyetini hem de yapımın ardından kullanım sırasında işletme maliyetini oldukça arttıran bir durumdur. Yaklaşık maliyetle belirlenen şebeke tasarımında olası bir terfi merkezini hesaba katmak amacıyla, kazı derinliğindeki artışın 5 m. 'yi geçtiği durumlarda 100P gibi yüksek oranda bir ceza bedeli öngörülmüştür.

İdareler tarafından boruların döşenmesinde kullanılması istenen izin verilen maksimum eğimden daha dik araziler üzerinde yağmur suyu ve kanalizasyon projelerinin yapımında, hat üzerinde ilave düşülü bacalar eklenmesi gerekmektedir. Düşülü baca, baca derinliğinin artması nedeniyle baca maliyetinin artması sonucuna gitmektedir. İdareler boruların döşenmesinde çaplara göre ayrı ayrı uyulması gereken maksimum eğim belirlemişlerdir. Yaklaşık maliyet formülü hesabı sırasında henüz çaplar belli olmadığından, izin verilen maksimum eğim 1/8 olarak kabul edilmiştir. Arazi eğiminin izin verilen maksimum eğimden (1/8) daha dik olması durumunda bu hatlardan gelecek olan ilave düşülü bacaların maliyetinin, yaklaşık maliyet hesabında dahil edilebilmesi için P ceza bedeli uygulanması öngörülmüştür.

Çok dik eğimli araziler gibi, çok düz arazilerde proje yapımı açısından problemlidir. İdareler boruların döşenmesinde çaplara göre ayrı ayrı uyulması gereken minimum eğim belirlemişlerdir. İzin verilen minimum eğimden daha yatay durumdaki arazilerde borular yerleştirilirken, kazı derinliği mecburen artmaktadır. Ayrıca boru içindeki debinin hızının izin verilen minimum hızdan (0,5 m/s gibi) daha düşük çıkması, boru eğiminin veya çapının artırılma nedenlerinden biridir. Küçük çaplarda ($\Phi 200$ gibi) bu eğim 1/300 iken, daha büyük çaplarda ($\Phi 800$ gibi) 1/900 'e kadar düşmektedir. Daha büyük çaplar için daha yatay eğim değerleri mevcuttur. Her çap için farklı minimum eğim olmasına rağmen, yaklaşık maliyet formülü hesabı sırasında henüz çaplar belli olmadığından izin verilen minimum eğim olarak 1/900 kabul edilmiştir. Tek bir değer kullanılmasının nedeni, çap değerlerinin henüz bilinmiyor olmasıdır. 1/900 'den daha yatay arazilerde, boru döşenmesinde ortaya çıkacak olan kazı derinliğindeki artışını ve minimum hızdan düşük hızların getirebileceği olası maliyeti öngörebilmek amacıyla P ceza bedeli öngörülmüştür.

Yön belirlemesi aşamasındaki dikkate alınması gereken hususlardan bir tanesi de, hattın kademe durum bilgisidir. "6.7 Kademe" konusunda da bahsedildiği üzere 2. kademe hatların projenin hazırlanmasından hemen sonra inşa edilmeyeceklerdir. Bu nedenle 1. kademe hatlardan 2. kademe hatlara yönlendirmenin zorunlu olmadığı sürece yapılmaması gerekmektedir. Ancak başka alternatifin olmaması durumunda, 1. kademedan 2. kademe hatta doğru akış öngörülebilir. 1. kademedan 2. kademe hatta doğru akış olması durumunda, 2. Kademe hattın inşa edilebilmesi için, yolun ilk olarak sınırlarının belirlenmesi ve yolun hizmete alınması gerekmektedir. Bu da hat döşeme maliyetinin 1. kademe hatlara göre artmasına neden olmaktadır. 2. Kademe hatta yönlendirme yapılması durumunda hattın döşenmesi sırasında

Çizelge 5.1 Ceza bedeli belirleme kriterleri

		L (m)															
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Q (m ³ /s)	0,001	0,16	0,32	0,47	0,63	0,79	0,95	1,11	1,26	1,42	1,58	1,74	1,90	2,06	2,21	2,37	2,53
	0,002	0,22	0,45	0,67	0,89	1,12	1,34	1,57	1,79	2,01	2,24	2,46	2,68	2,91	3,13	3,35	3,58
	0,004	0,32	0,63	0,95	1,26	1,58	1,90	2,21	2,53	2,85	3,16	3,48	3,79	4,11	4,43	4,74	5,06
	0,008	0,45	0,89	1,34	1,79	2,24	2,68	3,13	3,58	4,02	4,47	4,92	5,37	5,81	6,26	6,71	7,16
	0,016	0,63	1,26	1,90	2,53	3,16	3,79	4,43	5,06	5,69	6,32	6,96	7,59	8,22	8,85	9,49	10,12
	0,032	0,89	1,79	2,68	3,58	4,47	5,37	6,26	7,16	8,05	8,94	9,84	10,73	11,63	12,52	13,42	14,31
	0,064	1,26	2,53	3,79	5,06	6,32	7,59	8,85	10,12	11,38	12,65	13,91	15,18	16,44	17,71	18,97	20,24
	0,128	1,79	3,58	5,37	7,16	8,94	10,73	12,52	14,31	16,10	17,89	19,68	21,47	23,26	25,04	26,83	28,62
	0,256	2,53	5,06	7,59	10,12	12,65	15,18	17,71	20,24	22,77	25,30	27,83	30,36	32,89	35,42	37,95	40,48
	0,512	3,58	7,16	10,73	14,31	17,89	21,47	25,04	28,62	32,20	35,78	39,35	42,93	46,51	50,09	53,67	57,24
	1,024	5,06	10,12	15,18	20,24	25,30	30,36	35,42	40,48	45,54	50,60	55,66	60,72	65,78	70,84	75,89	80,95
	2,048	7,16	14,31	21,47	28,62	35,78	42,93	50,09	57,24	64,40	71,55	78,71	85,87	93,02	100,18	107,33	114,49
	4,096	10,12	20,24	30,36	40,48	50,60	60,72	70,84	80,95	91,07	101,19	111,31	121,43	131,55	141,67	151,79	161,91
	8,192	14,31	28,62	42,93	57,24	71,55	85,87	100,18	114,49	128,80	143,11	157,42	171,73	186,04	200,35	214,66	228,97
	16,384	20,24	40,48	60,72	80,95	101,19	121,43	141,67	161,91	182,15	202,39	222,62	242,86	263,10	283,34	303,58	323,82
	32,768	28,62	57,24	85,87	114,49	143,11	171,73	200,35	228,97	257,60	286,22	314,84	343,46	372,08	400,70	429,33	457,95
	65,536	40,48	80,95	121,43	161,91	202,39	242,86	283,34	323,82	364,29	404,77	445,25	485,73	526,20	566,68	607,16	647,63
	131,072	57,24	114,49	171,73	228,97	286,22	343,46	400,70	457,95	515,19	572,43	629,68	686,92	744,16	801,41	858,65	915,89
	262,144	80,95	161,91	242,86	323,82	404,77	485,73	566,68	647,63	728,59	809,54	890,50	971,45	1.052,41	1.133,36	1.214,31	1.295,27
	524,288	114,49	228,97	343,46	457,95	572,43	686,92	801,41	915,89	1.030,38	1.144,87	1.259,35	1.373,84	1.488,33	1.602,81	1.717,30	1.831,79

P (TL)	2	5	10	25	50	100	200	300	500	1.000	2.000
--------	---	---	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-------	-------

çıkacak ilave maliyet olan yol yapım maliyetinin de yön optimizasyonu sırasında dikkate alınması düşünülmüştür. Bu amaçla 1. kademe bir hattan 2. kademe hatta yönlenme olduğunda gelebilecek ilave yol inşaatı maliyetini öngörebilmek amacıyla P ceza bedeli öngörülmüştür.

P değeri için kesin ve tek bir bedel belirlenmemiştir. Proje hatlarındaki L yani hat uzunluğu ve Q yani debi değerlerine göre bir bedel öngörülmesi planlanmıştır. Bu amaçla Çizelge 5.1 hazırlanmıştır. Çizelge 5.1 'de hat uzunluğu ve hat debisi değerlerine göre hesaplanan yaklaşık maliyet değeri çeşitli gruplara ayrılmıştır. Farklı bir ceza bedeline karşılık gelen her grup farklı renk tonları ile ifade edilmiştir. Böylece debi değerinin ve hat uzunluğunun fazla olduğu yerler ile daha küçük olduğu yerlerdeki ceza bedellerinin farklılaşması amaçlanmıştır.

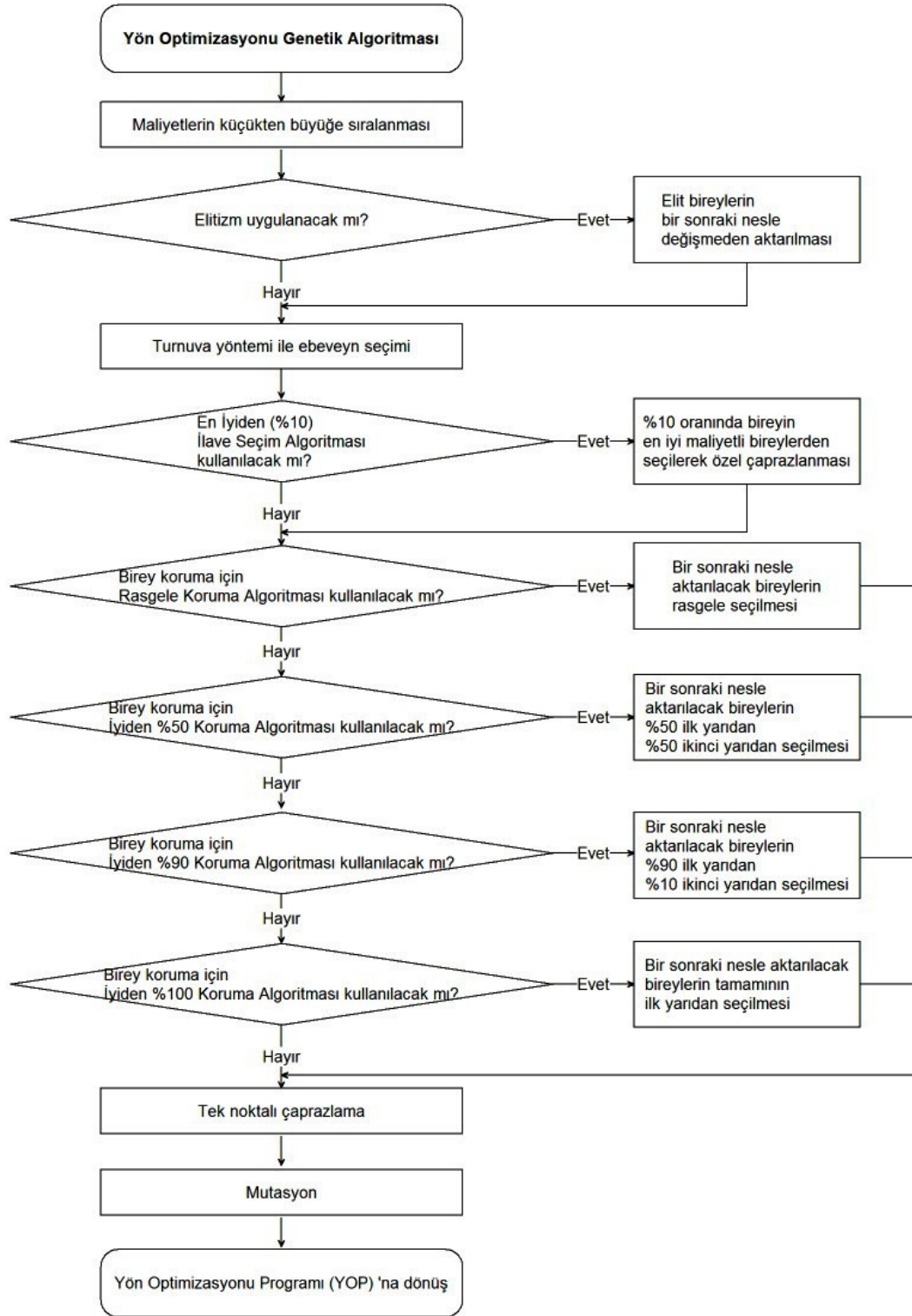
5.1.6 Genetik Algoritmaların Kullanımı

Yön verilerinin kontrol edilmesinin ve yaklaşık maliyet değerlerinin hesaplanmasının ardından genetik algoritma hesaplamalarına geçilir. Daha sonra bahsedileceği üzere, farklı alternatifler denenmiştir. Bu alternatiflerde kullanılan parametreler Çizelge 5.2 'de verilmektedir. Bu parametrelerin ne şekilde kullanıldıkları konunun devamında anlatılmıştır.

Çizelge 5.2 Kullanılan genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Şebekedeki hat sayısı
Birey sayısı	Projeye göre değişken
Elitizm oranı	Projeye göre değişken
Ebeveyn seçimi	Turnuva yöntemi
Turnuva oranı	Projeye göre değişken
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	Rastlantısal koruma, %50 iyiden, %90 iyiden, %100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	Projeye göre değişken
Mutasyon oranı	Projeye göre değişken

Yön optimizasyon programında kullanılan genetik algoritma ile ilgili akış şeması genel hali ile Şekil 5.11 'de verilmektedir. Programın çalışması sırasında seçilen veya belirlenen genetik algoritma parametreleri gereği kullanılmayan bölümler atlanmaktadır.



Şekil 5.11 Yön optimizasyonu için genetik algoritma akış şeması

Birey Sayısı :

Yön optimizasyonu programında kullanılacak birey sayısı değişken olması sağlanmıştır. Genetik algoritmanın özelliği gereği, birey sayısı için standart bir değer verilememektedir. Her projenin özelliklerine ve boyutlarına bağlı olarak bir değer seçilmekte ve bu sayı programa parametre olarak girilmektedir. Böylece farklı projelerde, farklı istekler sonucunda farklı nesil sayılarının belirlenebilmesine olanak sağlanmıştır.

Elitizm :

Proje optimizasyonunda elitizm kullanılıp kullanılmayacağı isteğe bağlıdır. Ancak yapılan denemeler, elitizm kullanmanın uygun maliyeti elde etme konusundaki önemli katkılarını ortaya koymuştur.

Elitizm uygulanırsa, belirlenen elit birey sayısı kadar bireyler bir üst nesle değişime uğratılmasına izin verilmeden aktarılırlar. Aşağıdaki formülle hesaplanan elit birey sayıları, korunacak birey sayısı içinde düşünülürler.

$$ElitBireySayısı\# = BireySayısı\# * Elitizm\% \quad (5.3)$$

Sıralanmış uygunluk değerleri arasında elit birey sayısı kadar ilk eleman, doğrudan bir sonraki nesle aktarılırlar. Elit birey olarak aktarılan bu bireylerin çaprazlama veya mutasyonla değişikliğe uğramalarına izin verilmez. Böylece bir sonraki nesilde uygunluk değerleri açısından, en azından bir önceki nesil uygunluk değerinin elde edilmesi garanti edilmiş olmaktadır.

Seçim İşlemi :

Öncelikle yaklaşık maliyet hesabı ile belirlenen tüm uygunluk değerleri, küçükten büyüğe sıralanırlar. Ardından seçim algoritmasına göre, çaprazlama işleminde kullanılacak kadar ebeveyn seçilir. Seçim işleminde turnuva yöntemi kullanılmaktadır. Turnuva yöntemi ile, çaprazlama işleminde kullanılacak birey sayısı kadar birey seçilmektedir. Seçilecek birey sayısı yani bir sonraki nesilde yenilenecek olan birey sayısı aşağıdaki formülde gösterildiği üzere çaprazlama oranı ile birey sayısının çarpımı ile bulunmaktadır.

$$BirSonrakiNesildeYenilenecekBireySayısı\# = BireySayısı\# * \text{Çaprazlama}\% \quad (5.4)$$

Turnuva yönteminde kullanılan turnuva sayısı değeri 2 'dir. Turnuva oranı olarak kullanılacak değer, projeye göre belirlenmektedir.

Turnuva yöntemine göre, tüm bireyler arasından rastlantısal olarak 2 birey seçilir. Rastlantısal olarak 0-1 arasında bir değer belirlenir. Belirlenen bu değer seçilen turnuva oranından küçükse, seçilen 2 bireyden maliyeti daha düşük olan birey seçilir. Eğer belirlenen rastlantısal değer turnuva oranından büyük veya eşitse, seçilen 2 bireyden maliyeti daha yüksek olan birey seçilir.

İlave Seçim Algoritmaları :

Bir sonraki nesilde yenilenecek olan bireylerin turnuva yöntemi ile bulunması işlemini geliştirecek ve en uygun değerın daha hızlı bir şekilde bulunabilmesini sağlayacak bir yöntem araştırılmıştır. Ebeveyn seçimindeki turnuva yöntemine ilave olarak kullanılacak seçim algoritması, “*En İyiler %10*” algoritmasıdır. *En iyiler %10* seçim algoritması ile çaprazlama işleminde Eşitlik 5.5 ‘te gösterildiği üzere toplam birey sayısının %10 ‘u kadar sayıda bireyin en iyi konumdaki ilk %10 birey olması ve mutlaka kendi aralarında çaprazlanmasının garanti edilmesi sağlanmaktadır. *En iyiler %10* algoritması kullanıldığında, Eşitlik 5.6 ‘daki gibi toplam çaprazlanması gereken birey sayısından toplam birey sayısının %10 oranındaki birey sayısı çıkarılmakta ve turnuva yöntemi ile belirlenecek birey sayısı hesaplanmaktadır.

$$Enİyiler\%10\# = BireySayısı\# * \%10 \quad (5.5)$$

$$TurnuvaİleSeçilecekEbeveyn\# = ÇaprazlanacakBirey\# - Enİyiler\%10\# \quad (5.6)$$

Bu algoritma kullanıldığında, *en iyiler %10* arasında yer alan bireyler kendi aralarında çaprazlama işlemine tabii tutulurlarken, turnuva yöntemi ile seçilen bireyler kendi aralarında çaprazlanmaktadır. Bu yöntemle, her neslin en iyi bireyleri ele alınarak, iyi alt nesil bireyleri oluşup oluşmayacağı ve bu işlemin en uygun maliyetin daha hızlı elde edilmesine etkileri araştırılmaktadır.

Koruma Yöntemi :

Seçim algoritmaları ile bir sonraki nesilde yenilecek bireyler belirlenirken, bu nesilden bir sonrakine değişmeden aktarılacak yani korunacak bireylerin belirlenmesi de büyük bir önem taşımaktadır. Aşağıdaki formülle hesaplanan bir sonraki nesilde yenilecek birey sayısı aynı zamanda bir sonraki nesilde korunacak olan birey sayısının da hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

$$BirSonrakiKorunacakBirey\# = Birey\# - BirSonrakiNesildeYenilenecekBirey\# \quad (5.7)$$

Korunacak birey sayısının bulunması ile koruma algoritmalarının kullanımında öncelikle bir sonraki nesle değişmeden aktarılabacak olan kaç adet birey bulunduğu belirlenmektedir. Koruma algoritmalarının kullanımında dört farklı yöntem denenmiştir.

İlk koruma algoritmasında (*rastlantısal koruma*), elitizmle korunan bireyler dışındaki bireyler arasından bir sonraki nesilde korunacak birey sayısı kadar eleman tamamen rastlantısal olarak seçilmektedir. Böylece uygunluk değeri iyi veya kötü olan bireyler olup olmaması ile ilgilenilmemektedir.

İkinci koruma algoritması (*iyiden %50*), bir sonraki nesilde korunacak bireylerin (n) % 50 'sinin ($n_1=n/2$) sıralı maliyetler arasında ilk n_1 adet birey olması ve bir sonraki nesilde korunacak bireylerin diğer % 50 'sinin de ($n_2=n/2$) sıralı maliyetler arasında ikinci yarı arasındaki ilk n_2 adet birey olmasıdır. Elitizmle korunan eleman sayısı sıralı maliyetlere göre ilk %50 lik dilimden seçilecek olan eleman sayısından düşülmektedir. Bu koruma algoritması ile sadece iyi sonuç veren bireyler değil, kötü sonuç veren bireylerinde çeşitliliği sağlamak adına bir sonraki nesle geçmesi garanti altına alınmış olmaktadır.

Üçüncü koruma algoritmasında (*iyiden %90*), bir sonraki nesilde korunacak bireylerin (n) % 90 'ının ($n_1=n*90$) sıralı maliyetler arasında ilk n_1 adet birey olması ve bir sonraki nesilde korunacak bireylerin kalan % 10 'unun da ($n_2=n*10$) sıralı maliyetler arasında ikinci yarı arasındaki ilk n_2 adet birey olmasıdır. Elitizmle korunan eleman sayısı sıralı maliyetlere göre ilk yarıdan seçilecek olan eleman sayısından düşülmektedir. Bu koruma algoritması ile, bir önceki algoritmaya göre daha az oranda olsa da sadece iyi sonuç veren bireyler değil, kötü sonuç veren bireylerinde çeşitliliği sağlamak adına bir sonraki nesle geçmesi sağlanmış olmaktadır.

Dördüncü koruma algoritmasında (*iyiden %100*), bir sonraki nesilde korunacak bireylerin tamamı toplam birey sayısının korunacak birey sayısı kadar en iyi konumundaki bireyleri olmaktadır.

Koruma algoritmaları ile belirlenen bireylerin elitizm ile belirlenen bireylerden farkı, koruma algoritması ile bir üst nesle aktarılması planlanan bireylerin mutasyon işlemine tabii tutulma ihtimalleridir. Dolayısı ile koruma algoritmaları ile belirlenen bireylerin değişme olasılıkları bulunmaktadır. Elit bireylerin ise, mutasyonla değişikliğe uğrama olasılığı yoktur.

Çaprazlama :

Çaprazlamada kullanılan yöntemle göre seçilen ebeveynlerden çocuklar oluşturulur. Yön optimizasyonu programında çaprazlama yöntemi olarak tek noktalı çaprazlama algoritması kullanılmaktadır.

Tek noktalı çaprazlama algoritması, string uzunluğu olan şebekede yer alan toplam hat sayısına göre yapılmaktadır. 1 ile hat sayısı değeri arasında kalacak şekilde rastlantısal bir değer seçilmekte ve çaprazlama noktası olarak alınmaktadır. Baba ebeveynde çaprazlama noktasına kadar olan bitler ile, anne ebeveynde çaprazlama noktasından sonraki bitler bir araya getirilerek 1. çocuk birey, anne ebeveynde çaprazlama noktasına kadar olan bitler ile, baba ebeveynde çaprazlama noktasından sonraki bitler bir araya getirilerek 2. çocuk birey oluşturulmaktadır. Her bir çaprazlama işleminde çaprazlama noktası yeniden belirlenmektedir.

İlave seçim algoritmaları kullanılması istenmişse, çaprazlama ile birlikte gerçekleştirilir.

En iyilerle seçimde, sıralı maliyetlere göre girilen oran kadar üst sırada yer alan bireyler arasında çaprazlama gerçekleştirilir. Bu çaprazlama ile oluşturulan bireyler, çaprazlama oranı içinde düşünülür.

Çaprazlama oranı tamamlanıncaya kadar, seçilen ebeveynlerin genleri çaprazlanır.

Çaprazlama oranı, projeye göre özel olarak belirlenmektedir.

Mutasyon :

Çaprazlama işleminin ardından mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon sayısı aşağıdaki formülle belirlenir.

$$Mutasyon\# = Nesil\# * Bit\# * Mutasyon\% \quad (5.8)$$

Mutasyon sayılarının belirlenmesinden sonra, mutasyona uğratılacak olan bireyin ait olduğu nesil sayısı ve bireydeki gen yeri rastlantısal olarak belirlenmektedir.

Mutasyon işlemi, bireydeki ikili sayının tersinin alınması işlemidir. Değer 1 ise, mutasyon işlemi ile 0, 0 ise 1 haline getirilmektedir.

Yön Hesabı Yenileme :

Çaprazlama ve mutasyonla değişen yön verileri için, “5.1.4 Yön Değerlerinin Kontrolü” konusunda anlatıldığı şekilde kontroller tekrarlanır ve gerekli düzenlemeler yapılır.

O anda hesaplanan nesildeki en düşük yaklaşık maliyetli birey, daha sonra yapılacak kontroller için kaydedilir.

İşlem Tekrarı :

Programın sonlanması “5.1.5 Maliyet Hesabı” ve sonrasında bahsedilen işlemlerin, nesil sayısı kadar tekrar edilmesinden sonra olmaktadır. Bu sayı programa parametre olarak girilmektedir. Yapılan ilk denemelerde nesil sayısı 2000 ve üzeri olarak denenmiştir. Bu denemeler sonucunda, nesil sayısının 1000 ‘den fazla olmasının en uygun değeri elde etme konusunda neredeyse hiçbir katkısının olmadığı görülmüştür. Bu nedenle programla yapılan ve bir sonraki konuda bahsedilecek olan denemelerde nesil sayısı 1000 olarak alınmıştır.

5.2 Hidrolik Optimizasyonu

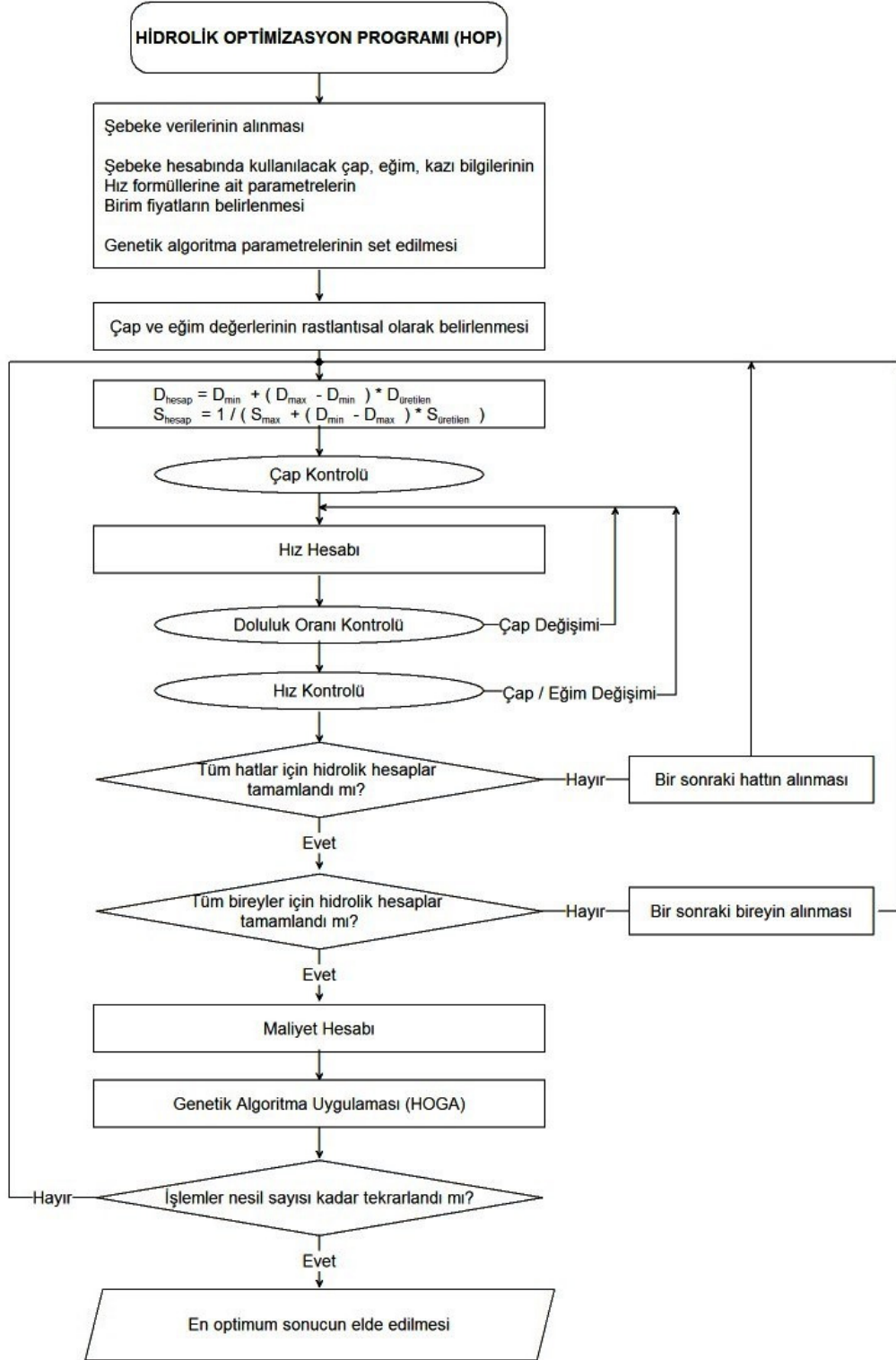
Yön optimizasyonu ile şebekeye ait en uygun tasarım bulunduğundan sonra, sıra hidrolik tasarımla ilgili optimizasyona gelmiştir. Hazırlanan hidrolik hesap optimizasyonu programına ait akış şeması Şekil 5.12 – 5.15 arasında verilmektedir. Akış şemasında (HOGA) olarak bahsedilen genetik algoritma bölümü ile ilgili olarak, Şekil 5.16 – 5.19 arasında verilen hidrolik optimizasyonu için genetik algoritma akış şemasına geçiş yapılmaktadır.

5.2.1 Girdi Olarak Alınan Veriler

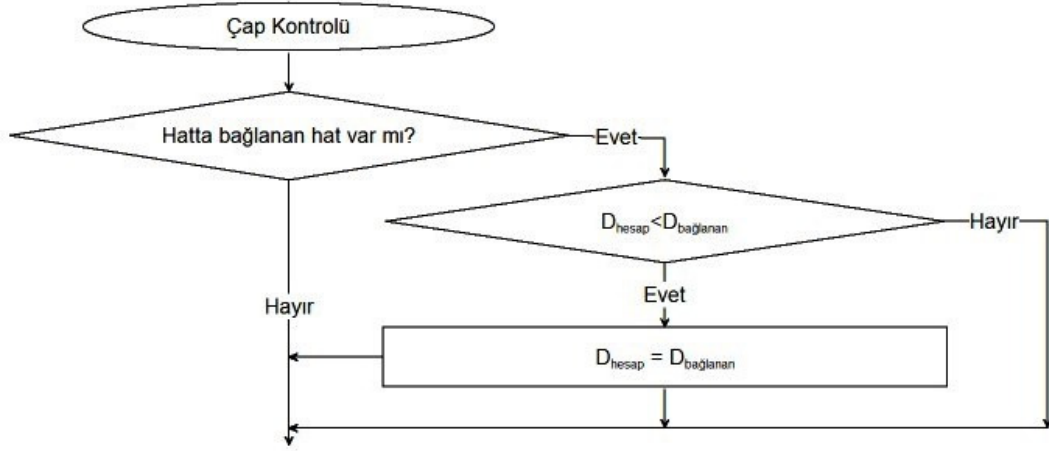
Hazırlanan hidrolik optimizasyon programı veri olarak ilk etapta yön optimizasyonunda belirlenen hat yönleri ve hatlarla ilgili bilgileri almaktadır. Hatlarla ilgili bilgiler, hatların köşe noktalarının kotları, hatların uzunlukları, her hattan ayrı ayrı geçen kendi debi değerleri ve tüm projenin deşarj noktasıdır. Yön değeri olarak, hattın hangi uç noktasından hangi uç noktasına doğru akış yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca yön değerlerinin belirlenmesi ile birlikte, her hattaki toplam debi değeri de belirlenmiş olmaktadır.

Hatlarla ilgili bilgilere ilave hidrolik hesaplamalarda veri olarak kullanılmak üzere, projede kullanılması istenen boru tipinin seçimi ve borularla ilgili olarak çap değerleri ve her çapa ait izin verilen minimum ve maksimum eğimler ile çaplara özel maksimum doluluk oranları alınmaktadır. Yine borularla ilgili olarak kazı hesabında kullanılmak üzere çaplara göre boru altı yataklama kalınlığı, boru et kalınlığı, boruyu yerleştirmek için gereken kazı taban genişliği, boruların birim hacimleri ve her borunun maliyet değeri veri olarak alınmaktadır.

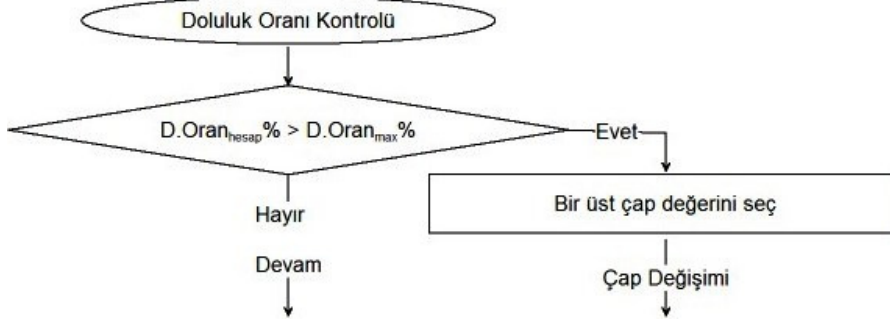
Hidrolik hesaplamalarda hız hesaplamasında kullanılmak üzere öncelikle Manning, Kutter, Prandtl-Colebrook, Hazen-Williams veya Darcy-Weisbach formüllerinden hangisinin hız hesabında kullanılacağına seçilmesi, belirlenen hız formülüne göre gerekli boru katsayısı değerlerinin seçimi ile hızın belirlenmesinin ardından kullanılacak olan sınırlamalar için izin verilen minimum ve maksimum hız değerleri V_{min} ve V_{max} veri olarak alınmaktadır.



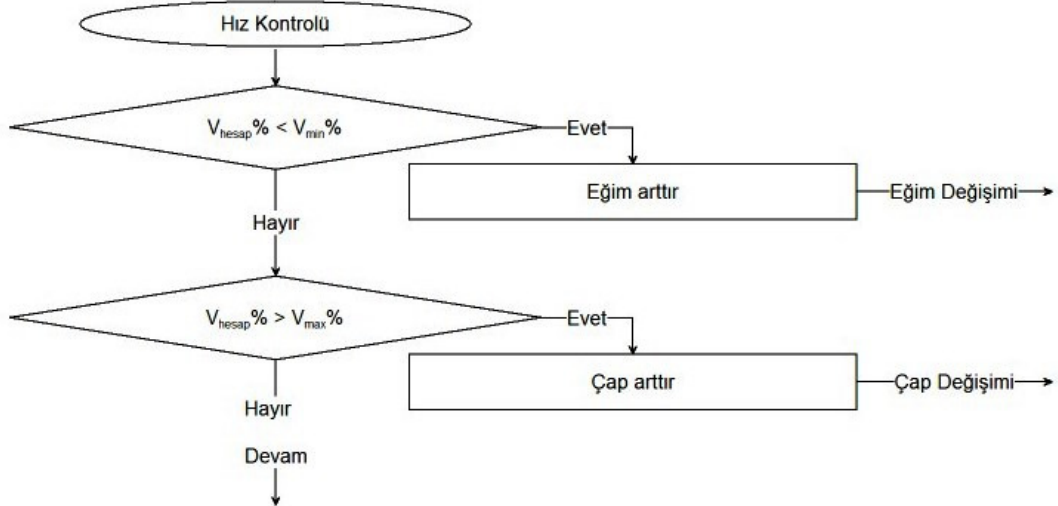
Şekil 5.12 Hidrolik optimizasyon programı akış şeması



Şekil 5.13 Hidrolik optimizasyon programı çap kontrolü bölümü akış şeması



Şekil 5.14 Hidrolik optimizasyon programı doluluk oranı kontrolü bölümü akış şeması



Şekil 5.15 Hidrolik optimizasyon programı hız kontrolü bölümü akış şeması

Boru çaplarının belirlenmesinden sonra borunun yerleştirilmesi için kullanılmak üzere izin verilen minimum ve maksimum boru üstü derinliği, baca metrajında kullanılmak üzere baca genişlikleri, baca altı yataklama kalınlığı, baca i çapı miktarı, boru ve bacalarla ilgili kazı bedelleri ve bacayı oluşturan elemanların birim fiyatları veri olarak alınmaktadır.

Yn optimizasyondan alınan yönlere göre, tüm hatlar incelenmekte ve hesaplama sırası belirlenirken her hattan geçen toplam debi hesaplanmaktadır.

şebeke maliyetini doğrudan etkileyen iki unsur, boru çapı ve kazı miktarıdır. Kazı miktarı, kazı derinliği ile ifade edilebilir. Kazı derinliğini hesaplarda belirleyen etmen, eğimdir. Bu nedenle kullanılacak hidrolik optimizasyonunda parametre olarak, ap (D) ve eğim (S) kullanılmaktadır.

Hidrolik optimizasyonda ilk olarak genetik algoritma ile ilgili parametreler belirlenmektedir ve veri olarak girilmektedir. Denenen tüm genetik algoritma parametreleri “5.2.5 Genetik Algoritmaların Kullanımı” konusunda anlatılacaktır. Ardından ap ve eğim verilerinin belirlenmesi işlemine geçilmektedir.

5.2.2 ap ve Eğim Değerlerinin Rastlantısal Olarak Belirlenmesi

Program tarafından önce çap ve eğim verilerinin ikili gösterimleri için kullanılacak bit sayısı hesaplanır. Her bir farklı değer için ayrı bir ikili değer olması öngörüldüğünden, programa girilen verilere göre string uzunluğu hesaplanır.

ap (D) için string uzunluğu, veri olarak alınan ve kullanılabilecek boru çapı sayısının ikili olarak gösterilebileceği bit sayısı ile belli olur. Örneğin, projede 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 ve 1800 mm. 'lik çapların kullanılabilmesi istenirse, yani 10 ayrı çap değeri kullanılacaksa çap verisi için 4 bit string uzunluğu kullanılır. String uzunluğu 4 'n ne şekilde belirlendiği ile ilgili seçim şu şekilde gösterilmiştir. $2^3=8 < 10 < 2^4=16 \Rightarrow$ Bit sayısı : 4

Eğim (S) için string uzunluğu, veri olarak alınan boruların izin verilen en küçük eğimi ile en büyük eğimi arasındaki fark değerinin ikili olarak gösterilebileceği bit sayısı ile belli olur. Örneğin, projede boru eğim sınırları 200 mm.lik boru için 1/300 ve 1/8, 1800 mm. boru için 1/3000 ve 1/75 verilmiş olsun. Bu durumda projede karşılaşılabilecek farklı eğim sayısı (3000-8=2992) 'dir. 2992 farklı çap için 12 bitlik string uzunluğu kullanılır. String uzunluğu 12 'nin ne şekilde belirlendiği ile ilgili seçim şu şekilde gösterilmiştir. $2^{11}=2048 < 2992 < 2^{12}=4096 \Rightarrow$ Bit sayısı : 12

Program çalıştırıldığında, her hat için seçilen birey sayısı kadar çap ve eğim rastlantısal olarak belirlenmektedir. Ancak işlem zamanını azaltmak ve uygun olmayan sonuçlara götüren

bireylerin elimine edilmeleri amacı ile, uygunluk değeri hesaplanmadan önce çeşitli kontroller yapılmaktadır.

Veri üretmek amacıyla ilk olarak çap için 1 ile kullanılabilecek maksimum çap sayısı arasında, eğim için 1 ile maksimum eğim sayısı arası rastlantısal sayılar üretilir. Sadece tersine eğime sahip hatlar için, eğim değerleri rastlantısal olarak belirlenmez, izin verilen en küçük eğim değerini alacak şekilde kabul edilirler. Üretilen değerler, kullanılabilecek maksimum farklı çap veya eğim sayısına bölünürler. Böylece üretilen sayıların 0-1 arası bir değere getirilmeleri sağlanmış olur.

5.2.3 Hidrolik Hesaplara Göre Çap ve Eğim Değerlerinin Kontrolü

Bu işlemin ardından hidrolik hesaplara geçilir. Yukarıda anlatıldığı gibi üretilen çap (D) ve eğim (S) değerleri hesap D ve S değerlerine çevrilir. Bu işlemde kullanılan formüller 5.9 ve 5.10 eşitliklerinde gösterilmiştir.

$$D_{\text{hesap}} = D_{\text{min}} + (D_{\text{max}} - D_{\text{min}}) * D_{\text{üretilen}} \quad (5.9)$$

$$S_{\text{hesap}} = 1 / (S_{\text{max}} + (D_{\text{min}} - D_{\text{max}}) * S_{\text{üretilen}}) \quad (5.10)$$

Eğer hesaplanan hatta önceden bağlanan başka hatlar varsa, bağlanan hatlardaki çap değerleri ile D_{hesap} karşılaştırılır. İçlerinde maksimum çap değerine sahip olan, kullanılacak D_{hesap} olarak seçilir.

Hesaplanan çap ve eğim değerlerinden sonra, seçilen hız formülü ile “6.9 Hesap Yöntemleri” konusunda anlatıldığı gibi hız hesabı yapılır. Doluluk oranı, kullanılan çapa ait maksimum doluluk oranı ile ve hesaplanan hız değeri izin verilen minimum ve maksimum hız değerleri ile karşılaştırılır. Doluluk oranı uymuyorsa, bir üst değerdeki çap ile hesap yenilenir. Minimum hız şartı sağlanmıyorsa, hattın eğimi artırılarak hesap yenilenir. Maksimum hızı sağlanmıyorsa, bir sonraki değerdeki çap ile hesap yenilenir.

Çap ve eğim değerleri ile, boru sırt kotları, taban kotları ve kazı derinlikleri hesaplanır. Sırt derinliklerinin izin verilen minimum ve maksimum derinlikler arasında olup olmadığı incelenir. İzin verilen derinlik değerlerinin dışında olan hatların eğim değerleri, derinlik değerlerinin izin verilen sınırlara getirilmesi sağlanır.

Kontrollere göre değişen çap ve eğim değerleri, rastlantısal belirlenen verilerin yerine yazılır. Bu işlemlerle, rastlantısal olarak belirlenen çap ve eğim değerleri arasında hidrolik açıdan uygun olmayan değerlerin elimine edilmesi ve uygun olan değerlerle değiştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu işlemler tüm hatlar için tekrarlanır. 0-1 arasında değere sahip olan kesinleşmiş çap (D) ve eğim (S) değerleri, kullanılabilecek maksimum çap veya eğim sayısı ile çarpılır ve genetik algorithmada kullanılmak üzere ikili değerlere çevrilir.

5.2.4 Maliyet Hesabı

Tüm hatların maliyeti, hazırlanan maliyet hesabı formüllerine göre hesaplanır. Her idarenin kendine has bir maliyet hesabı bulunmaktadır. Bu tez kapsamında denenen örneklerde kullanılan örnek şebekeler hangi idare tarafından yaptırıldı ise, o idarenin maliyet formülü kullanılmaktadır. Proje maliyetinin hesaplanmasında “3.11 Şebeke Maliyetinin Belirlenmesi” konusunda anlatılan genel formüllerden yararlanılır.

5.2.5 Genetik Algoritmaların Kullanımı

Hidrolik hesaplamalarla verilerin kontrol edilmesinin ardından genetik algoritma hesaplamalarına geçilir. Daha sonra bahsedileceği üzere, farklı alternatifler denenmiştir. Bu alternatiflerde kullanılan parametreler Çizelge 5.3 'te gösterilmiştir. Bu parametrelerin ne şekilde kullanıldıkları konunun devamında anlatılmıştır.

Hidrolik optimizasyon programında kullanılan genetik algoritma ile ilgili akış şeması genel hali ile Şekil 5.16 – 5.19 arasında verilmektedir. Programın çalışması sırasında genetik algoritma parametreleri gereği kullanılmayan bölümler atlanmaktadır.

Birey Sayısı :

Hidrolik optimizasyon programında kullanılacak birey sayısının değişken olması sağlanmıştır. Genetik algoritmanın özelliği gereği, birey sayısı için standart bir değer verilememektedir. Her projenin özelliklerine ve boyutlarına bağlı olarak bir değer seçilmekte ve bu sayı programa parametre olarak girilmektedir. Böylece farklı projelerde, farklı istekler sonucunda farklı nesil sayılarının belirlenebilmesine olanak sağlanmıştır.

Elitizm :

Proje optimizasyonunda elitizm kullanılıp kullanılmayacağı isteğe bağlıdır. Ancak yapılan denemeler, elitizm kullanmanın uygun maliyeti elde etme konusundaki önemli katkılarını ortaya koymuştur.

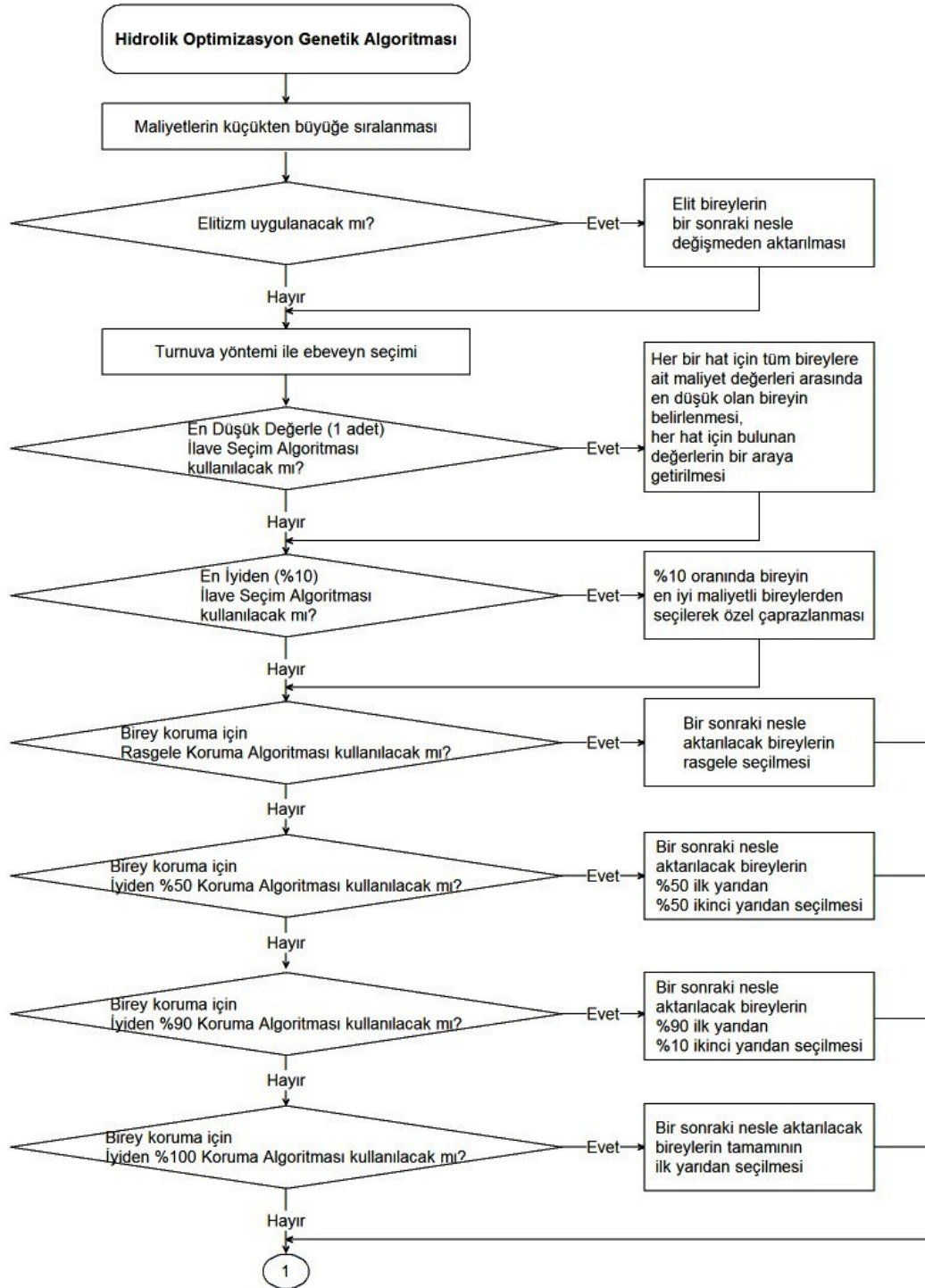
Çizelge 5.3 Kullanılan genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre değişken
Birey sayısı	Projeye göre değişken
Elitizm oranı	Projeye göre değişken
Ebeveyn seçimi	Turnuva yöntemi
Turnuva oranı	Projeye göre değişken
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet), En iyilerle(%10), Hepsi bir arada
Koruma oranı	Rastlantısal koruma, %50 iyiden, %90 iyiden, %100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Uniform, Tek noktalı, İki noktalı
Uniform	Rastlantısal sayıya göre her bit, çocuk1 veya çocuk2 'ye
Tek noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan
İki noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen iki noktadan
Çaprazlama oranı	Projeye göre değişken
Mutasyon oranı	Projeye göre değişken
Dinamik Mutasyon Oranı Kullanımı	Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü oranı (<%1) Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü nesil sayısı (50)
Dinamik Mutasyon Oranları	Minimum mutasyon oranı (%1) Maksimum mutasyon oranı (%10)
Nesil Yenileme	Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü oranı (<%1) Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü nesil sayısı (50)
Nesil Yenileme oranı	Projeye göre değişken

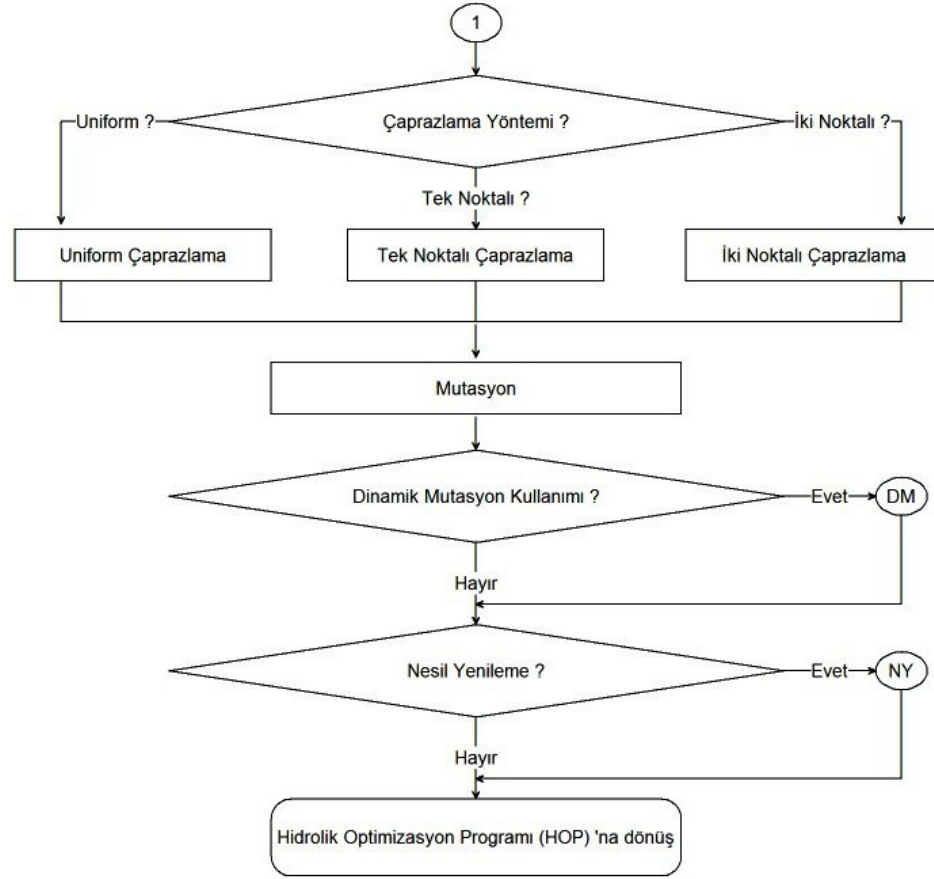
Elitizm uygulanırsa, belirlenen elit birey sayısı kadar bireyler bir üst nesle değişime uğratılmasına izin verilmeden aktarılırlar. Aşağıdaki formülle hesaplanan elit birey sayıları, korunacak birey sayısı içinde düşünülürler.

$$ElitBireySayısı\# = BireySayısı\# * Elitizm\% \quad (5.11)$$

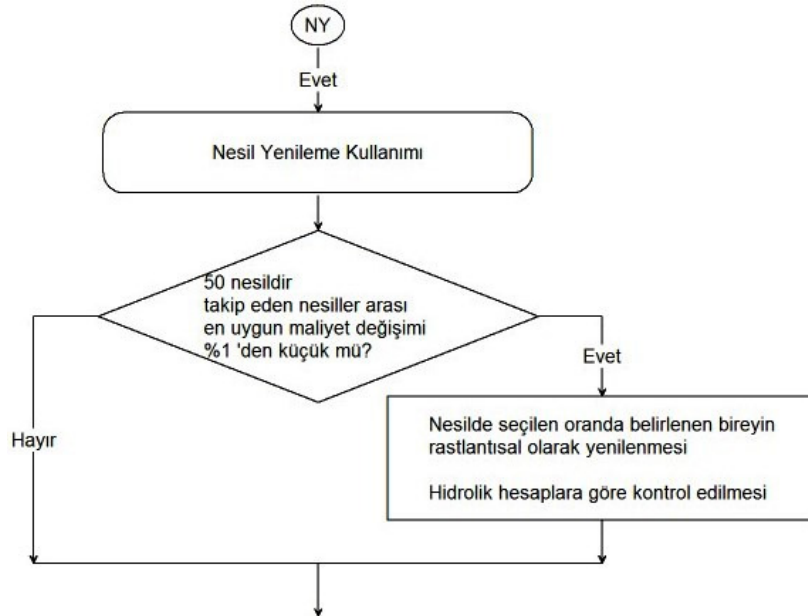
Sıralanmış uygunluk değerleri arasında elit birey sayısı kadar ilk eleman, doğrudan bir sonraki nesle aktarılırlar. Elit birey olarak aktarılan bu bireylerin çaprazlama veya mutasyonla değişikliğe uğramalarına izin verilmez. Böylece bir sonraki nesilde uygunluk değerleri açısından, en azından bir önceki nesil uygunluk değerinin elde edilmesi garanti edilmiş olmaktadır.



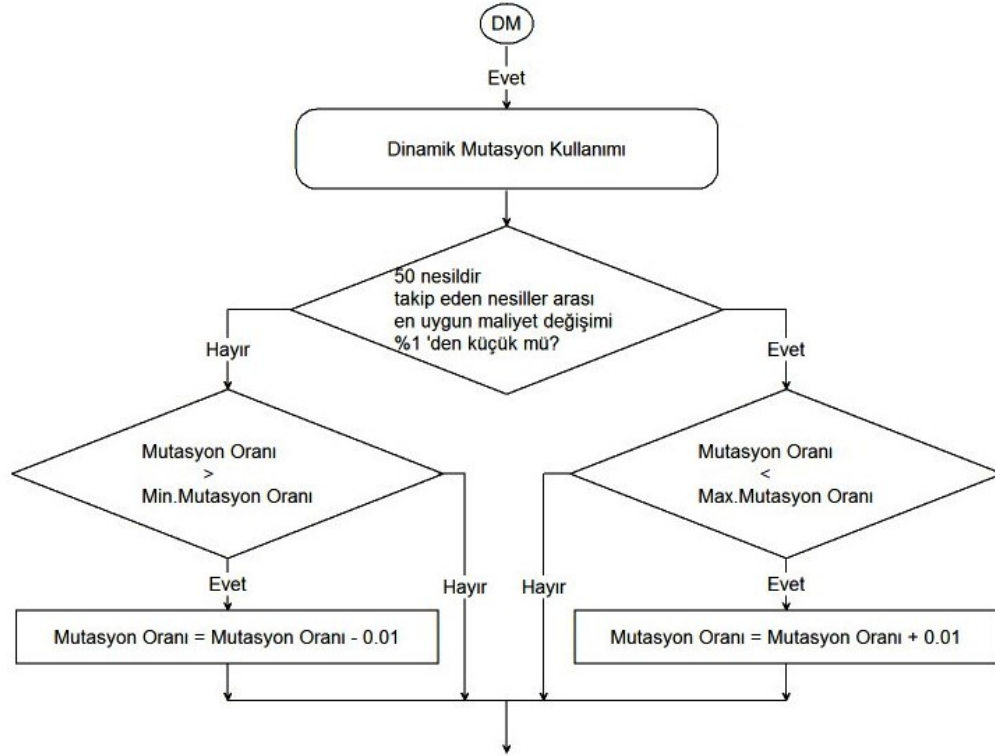
Şekil 5.16 Hidrolik optimizasyon için genetik algoritma akış şeması - 1



Şekil 5.17 Hidrolik optimizasyon için genetik algoritma akış şeması – 2



Şekil 5.18 Hidrolik optimizasyon için genetik algoritmada dinamik nesil yenileme akış şeması



Şekil 5.19 Hidrolik optimizasyon için genetik algorithmada dinamik mutasyon akış şeması

Seçim İşlemi :

Öncelikle maliyet hesabı ile belirlenen tüm uygunluk değerleri, küçükten büyüğe sıralanırlar. Ardından seçim algoritmasına göre, çaprazlama işleminde kullanılacak kadar ebeveyn seçilir. Seçim işleminde turnuva yöntemi kullanılmaktadır. Turnuva yöntemi ile, çaprazlama işleminde kullanılacak birey sayısı kadar birey seçilmektedir. Seçilecek birey sayısı yani bir sonraki nesilde yenilenecek olan birey sayısı aşağıdaki formülde gösterildiği üzere çaprazlama oranı ile birey sayısının çarpımı ile bulunmaktadır.

$$BirSonrakiNesildeYenilenecekBireySayısı\# = BireySayısı\# * \text{Çaprazlama}\% \quad (5.12)$$

Turnuva yönteminde kullanılan turnuva sayısı değeri 2 'dir. Turnuva oranı olarak kullanılacak değer, projeye göre belirlenmektedir.

Turnuva yöntemine göre, tüm bireyler arasından rastlantısal olarak 2 birey seçilir. Rastlantısal olarak 0-1 arasında bir değer belirlenir. Belirlenen bu değer seçilen turnuva oranından küçükse, seçilen 2 bireyden maliyeti daha düşük olan birey seçilir. Eğer belirlenen

rastlantısal değer turnuva oranından büyük veya eşitse, seçilen 2 bireyden maliyeti daha yüksek olan birey seçilir.

İlave Seçim Algoritmaları :

Bir sonraki nesilde yenilenecek olan bireylerin turnuva yöntemi ile bulunması işlemini geliştirecek ve en uygun değerın daha hızlı bir şekilde bulunabilmesini sağlayacak bazı yöntemler araştırılmış ve ebeveyn seçiminde turnuva yöntemine ilave olarak bazı seçim algoritmaları kullanılmıştır.

Geliştirilen seçim algoritmalarından ilki “*En Düşük Değer Seçimi*” algoritmasıdır. Maliyet hesabı ile projeyi oluşturan tüm hatların her biri için ayrı ayrı olmak üzere maliyet hesaplanmaktadır. *En düşük değer seçimi* algoritmasında, her bir hat için o nesilde yer alan tüm bireylere ait maliyet değerleri incelenmektedir. İlgili hat için bu maliyetler arasında en düşük olan birey belirlenmekte ve o bireyin o hattına ait çap ve eğim değeri bir sonraki nesle aktarılmak üzere yeni bir bireye yazılmaktadır. Bu işlem projede yer alan tüm hatlar için tekrarlanmaktadır. Böylece projenin tamamı için hatlardaki çap ve eğim değerleri, farklı farklı bireylerden elde edilmiş olmaktadır. Her nesilde bir adet birey, her bir hat için en düşük değere sahip olacak şekilde düzenlenmektedir. Çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin ardından en düşük maliyetli birey, rastlantısal olarak seçilen ve elit bireyler arasında yer almayan bir birey olarak atanmaktadır. Böylece en düşük değer seçimi ile belirlenen bireyin bir sonraki nesle aktarılması garanti altına alınmıştır. Yapılan denemeler, en düşük değer seçimi ile oluşturulan bireyin, her zaman bir sonraki nesilde yine düşük maliyetli bireyler arasında yer aldığı görülmektedir.

Ebeveyn seçimindeki turnuva yöntemine ilave olarak kullanılacak seçim algoritmalarından ikincisi “*En İyiler %10*” algoritmasıdır. *En iyiler %10* seçim algoritması ile çaprazlama işleminde toplam birey sayısının Eşitlik 5.13 ‘te gösterildiği üzere %10 ‘u kadar sayıda bireyin en iyi konumdaki ilk %10 birey olması ve mutlaka kendi aralarında çaprazlanmasının garanti edilmesi sağlanmaktadır. *En iyiler %10* algoritması kullanıldığında, Eşitlik 5.14 ‘teki gibi toplam çaprazlanması gereken birey sayısından toplam birey sayısının %10 oranındaki birey sayısı çıkarılmakta ve turnuva yöntemi ile belirlenecek birey sayısı hesaplanmaktadır.

$$Enİyiler\%10\# = BireySayısı\# * \%10 \quad (5.13)$$

$$TurnuvaİleSeçilecekEbeveyn\# = ÇaprazlanacakBirey\# - Enİyiler\%10\# \quad (5.14)$$

Bu algoritma kullanıldığında, *en iyiler %10* arasında yer alan bireyler kendi aralarında çaprazlama işlemine tabii tutulurlarken, turnuva yöntemi ile seçilen bireyler kendi aralarında çaprazlanmaktadırlar. Bu yöntemle, her neslin en iyi bireyleri ele alınarak, iyi alt nesil bireyleri

oluşup oluşmayacağı ve bu işlemin en uygun maliyetin daha hızlı elde edilmesine etkileri araştırılmaktadır.

Üçüncü ilave seçim algoritması yöntemi ise, *en düşük değer seçimi* algoritması ile *en iyiler %10* seçim algoritması yöntemlerinin bir arada kullanılmasıdır.

Koruma Yöntemi :

Seçim algoritmaları ile bir sonraki nesilde yenilecek bireyler belirlenirken, bu nesilden bir sonrakine değişmeden aktarılabacak yani korunacak bireylerin belirlenmesi de büyük bir önem taşımaktadır. Aşağıdaki formülle hesaplanan bir sonraki nesilde yenilecek birey sayısı aynı zamanda bir sonraki nesilde korunacak olan birey sayısının da hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

$$\text{BirSonrakiKorunacakBirey\#} = \text{Birey\#} - \text{BirSonrakiNesildeYenilenecekBirey\#} \quad (5.15)$$

Korunacak birey sayısının bulunması ile koruma algoritmalarının kullanımında öncelikle bir sonraki nesle değişmeden aktarılabacak olan kaç adet birey bulunduğu belirlenmektedir. Hidrolik optimizasyon programında koruma algoritmalarının kullanımında, tıpkı yön optimizasyonunda olduğu gibi dört farklı yöntem denenmiştir.

İlk koruma algoritmasında (*rastlantısal koruma*), elitizmle korunan bireyler dışındaki bireyler arasından bir sonraki nesilde korunacak birey sayısı kadar eleman tamamen rastlantısal olarak seçilmektedir. Böylece uygunluk değeri iyi veya kötü olan bireyler olup olmaması ile ilgilenilmemektedir.

İkinci koruma algoritması (*iyiden %50*), bir sonraki nesilde korunacak bireylerin (n) % 50 'sinin ($n_1=n/2$) sıralı maliyetler arasında ilk n_1 adet birey olması ve bir sonraki nesilde korunacak bireylerin diğer % 50 'sinin de ($n_2=n/2$) sıralı maliyetler arasında ikinci yarı arasındaki ilk n_2 adet birey olmasıdır. Elitizmle korunan eleman sayısı sıralı maliyetlere göre ilk %50 lik dilimden seçilecek olan eleman sayısından düşülmektedir. Bu koruma algoritması ile sadece iyi sonuç veren bireyler değil, kötü sonuç veren bireylerinde çeşitliliği sağlamak adına bir sonraki nesle geçmesi garanti altına alınmış olmaktadır.

Üçüncü koruma algoritmasında (*iyiden %90*), bir sonraki nesilde korunacak bireylerin (n) % 90 'ının ($n_1=n*90$) sıralı maliyetler arasında ilk n_1 adet birey olması ve bir sonraki nesilde korunacak bireylerin kalan % 10 'unun da ($n_2=n*10$) sıralı maliyetler arasında ikinci yarı arasındaki ilk n_2 adet birey olmasıdır. Elitizmle korunan eleman sayısı sıralı maliyetlere göre ilk yarıdan seçilecek olan eleman sayısından düşülmektedir. Bu koruma algoritması ile, bir önceki

algoritmaya göre daha az oranda olsa da sadece iyi sonuç veren bireyler değil, kötü sonuç veren bireylerinde çeşitliliği sağlamak adına bir sonraki nesle geçmesi sağlanmış olmaktadır.

Dördüncü koruma algoritmasında (*iyiden %100*), bir sonraki nesilde korunacak bireylerin tamamı toplam birey sayısının korunacak birey sayısı kadar en iyi konumundaki bireyleri olmaktadır.

Koruma algoritmaları ile belirlenen bireylerin elitizm ile belirlenen bireylerden farkı, koruma algoritması ile bir üst nesle aktarılması planlanan bireylerin mutasyon işlemine tabii tutulma ihtimalleridir. Dolayısı ile koruma algoritmaları ile belirlenen bireylerin değişme olasılıkları bulunmaktadır. Elit bireylerin ise, mutasyonla değişikliğe uğrama olasılığı yoktur.

Çaprazlama :

Çaprazlamada kullanılan yöntemlere göre, seçilen ebeveynlerden çocuklar oluşturulur. Programda çaprazlama yöntemleri olarak uniform, tek noktalı ve iki noktalı çaprazlama algoritmaları kullanılmaktadır. Seçilen çaprazlama algoritması, hem çap hem de eğimle ilgili bireyler için kullanılmaktadır.

Uniform çaprazlamada, bireydeki bit sayısı kadar 0-1 arası rastlantısal sayı üretilmektedir. Her bir sayının 0,50 'ten büyük olup olmadığı araştırılır. Eğer üretilen rastlantısal sayı, 0,5 'ten büyükse veya eşitse, baba ebeveyn olarak seçilen bireyin ilgili bitinden alınan değer 1. çocuk bireyin ilgili bitine, anne ebeveyn olarak seçilen bireyin ilgili bitinden alınan değer 2. çocuk bireyin ilgili bitine yazılmaktadır. Eğer üretilen rastlantısal sayı, 0,5 'ten küçükse, anne ebeveyn olarak seçilen bireyin ilgili bitinden alınan değer 1. çocuk bireyin ilgili bitine, anne ebeveyn olarak seçilen bireyin ilgili bitinden alınan değer 2. çocuk bireyin ilgili bitine yazılmaktadır.

Tek noktalı çaprazlama algoritması, çap veya eğim için ayrı ayrı kendi bit sayılarına göre yapılmaktadır. 1 ile çap veya eğim değerinin bit sayısı değeri arasında kalacak şekilde rastlantısal bir değer seçilmekte ve çaprazlama noktası olarak alınmaktadır. Baba ebeveynde çaprazlama noktasına kadar olan bitler ile, anne ebeveynde çaprazlama noktasından sonraki bitler bir araya getirilerek 1. çocuk birey, anne ebeveynde çaprazlama noktasına kadar olan bitler ile, baba ebeveynde çaprazlama noktasından sonraki bitler bir araya getirilerek 2. çocuk birey oluşturulmaktadır. Her bir çaprazlama işleminde çaprazlama noktası yeniden belirlenmektedir.

İki noktalı çaprazlama algoritması, çap veya eğim için ayrı ayrı kendi bit sayılarına göre yapılmaktadır. 1 ile çap veya eğim değerinin bit sayısı değeri arasında kalacak şekilde rastlantısal iki değer seçilmekte ve çaprazlama noktaları olarak alınmaktadır. Baba ebeveynde 1. çaprazlama noktasına kadar olan bitler, anne ebeveynde 1. çaprazlama noktasından 2.

çaprazlama noktasına kadar olan bitler ile baba ebeveynde 2. çaprazlama noktasından sonraki bitler bir araya getirilerek 1. çocuk birey oluşturulmaktadır. Benzer şekilde anne ebeveynde 1. çaprazlama noktasına kadar olan bitler, baba ebeveynde 1. çaprazlama noktasından 2. çaprazlama noktasına kadar olan bitler ile anne ebeveynde 2. çaprazlama noktasından sonraki bitler bir araya getirilerek 2. çocuk birey oluşturulmaktadır. Her bir çaprazlama işleminde çaprazlama noktaları yeniden belirlenmektedir.

İlave seçim algoritmaları kullanılması istenmişse, çaprazlama ile birlikte gerçekleştirilir.

En iyilerle seçimle, sıralı maliyetlere göre girilen oran kadar üst sırada yer alan bireyler arasında çaprazlama gerçekleştirilir. Bu çaprazlama ile oluşturulan bireyler, çaprazlama oranı içinde düşünülür.

Çaprazlama oranı tamamlanıncaya kadar, çaprazlama yöntemlerinden biri ile seçilen ebeveynlerin genleri çaprazlanır.

Çaprazlama oranı, projeye göre özel olarak belirlenmektedir.

Mutasyon :

Çaprazlama işleminin ardından mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Çap verileri ve eğitim verileri için ayrı ayrı kullanılmak üzere mutasyon sayısı aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$Mutasyon\# = Nesil\# * Bit\# * Mutasyon\% \quad (5.16)$$

Eğimler için kullanılan bit sayısı daha fazla olduğundan, eğimler için mutasyon sayısı daha büyük olacaktır.

Mutasyon sayılarının belirlenmesinden sonra, mutasyona uğratılacak olan bireyin ait olduğu nesil sayısı, hat sayısı ve bireydeki gen yeri rastlantısal olarak belirlenmektedir.

Mutasyon işlemi, bireydeki ikili sayının tersinin alınması işlemidir. Değer 1 ise, mutasyon işlemi ile 0, 0 ise 1 haline getirilmektedir.

Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme :

En uygun değere daha kısa zamanda ulaşabilmek amacıyla tekdüze devam eden nesillerden kurtulmak için, dinamik mutasyon oranı kullanımı denemeleri yapılmıştır. İlk olarak minimum bir mutasyon oranı (örneğin %1) belirlenmiş ve mutasyon oranının arttırılabileceği maksimum bir değer (örneğin %10) seçilmiştir. Optimizasyon programı çalışmaya başladığında kullanılacak olan mutasyon oranı için minimum mutasyon oranını kabul etmektedir.

Tüm nesil hesaplamalarında en uygun değer bir önceki neslin sonucu ile karşılaştırılmaktadır. Eğer üst üste 50 nesil boyunca en uygun değerde ancak %1 'in altında değişme meydana geliyorsa, bu durumda o anda seçili mutasyon oranının %1 arttırılması işlemi yapılmakta ve o andan sonra yapılan mutasyon işlemlerinde bu yeni mutasyon oranı kullanılmaktadır. Üst üste tekdüze devam eden, yani nesilden nesile en uygun değer değişimi %1 'in altında olma durumunun sonuçlarda toplam 50 nesil boyunca devam etmesi koşulu aranmıştır. Eğer 50 nesil kontrolü sırasında herhangi bir aşamada, en uygun değer değişiminde %1 'den fazla oranda değişme meydana gelirse, 50 nesil kontrolü bir sonraki nesilden itibaren baştan başlamaktadır. Böylece neslin tekdüze hale gelmesi durumunda, yapılan yenileme ile yeni bir noktadan hesaplamaların devam etmesi istenmiştir.

Mutasyon oranının artışı, maksimum izin verilen mutasyon değerine kadar gitmektedir. Böylece programda %1 değeri ile kullanılmaya başlayan kullanılan mutasyon oranı, maksimum mutasyon oranı olarak seçilen mutasyon oranı da (örneğin %10) dahil olacak şekilde %1 'er değerde arttırılmaktadır. 50 nesil boyunca hala benzer şekilde neslin tekdüzeliği devam ediyorsa, artık mutasyon oranında bir değişiklik meydana getirilmemektedir. Yani mutasyon oranının izin verilen maksimum mutasyon oranını geçmesine izin verilmemektedir.

Mutasyon oranının artışı sonrasında uygunluk değerinin %1 'den fazla azalması durumunda ise, mutasyon oranı düşürülmeye başlamaktadır. Düşürme oranı, arttırma oranında olduğu gibi %1 'dir. Mutasyon oranının azalması, minimum izin verilen mutasyon oranına (örneğin %1) kadar olmaktadır.

Nesil Yenileme :

En uygun değere daha kısa zamanda ulaşabilmek amacıyla tekdüze devam eden nesillerden kurtulmak için, nesil yenileme denemeleri yapılmıştır. Tüm nesil hesaplamalarında en uygun değer bir önceki neslin sonucu ile karşılaştırılmaktadır. Eğer üst üste seçilen sayıda nesil boyunca en uygun değerde ancak %1 'in altında değişme meydana geliyorsa, bu durumda neslin belirlenen oranda tamamen rastlantısal olarak değişmesi planlanmıştır. Böylece neslin tekdüze hale gelmesi durumunda, yapılan yenileme ile yeni bir noktadan hesaplamaların devam etmesi istenmiştir.

Üst üste tekdüze devam eden, yani nesilden nesile en uygun değer değişimi %1 'in altında olma durumunun sonuçlarda toplam 50 nesil boyunca devam etmesi koşulu aranmıştır. Eğer 50 nesil kontrolü sırasında herhangi bir aşamada, en uygun değer değişiminde %1 'den fazla oranda değişme meydana gelirse, 50 nesil kontrolü bir sonraki nesilden itibaren baştan başlamaktadır.

Nesil yenileme işlemi gerçekleştirildiğinde, belirlenen yenileme oranı kadar bireyin rastlantısal olarak seçilmesi işlemi yapılmaktadır. Yeni oluşturulan bireylerin nesildeki hangi bireylerle yer değiştireceği rastlantısal olarak belirlenmektedir. Ancak bu işlem sırasında, o nesildeki elit bireylerin değiştirilmesine izin verilmemektedir.

Oluşturulan yeni bireyler için, “5.2.3 Hidrolik Hesaplara Göre Çap ve Eğim Değerlerinin Kontrolü” konusunda anlatıldığı şekilde hidrolik hesaplar tekrarlanırlar. Sonuçta bulunan ikili değerler, işlemlerde kullanılacak çap ve eğim bireyleri olarak atanırlar.

Hidrolik Hesap Yenileme :

Çaprazlama ve mutasyonla değişen çap ve eğim verileri için, “5.2.3 Hidrolik Hesaplara Göre Çap ve Eğim Değerlerinin Kontrolü” konusunda anlatıldığı şekilde hidrolik hesaplar tekrarlanırlar.

O anda hesaplanan nesildeki en düşük maliyetli birey, daha sonra yapılacak kontroller için kaydedilir.

5.2.6 İşlem Tekrarı

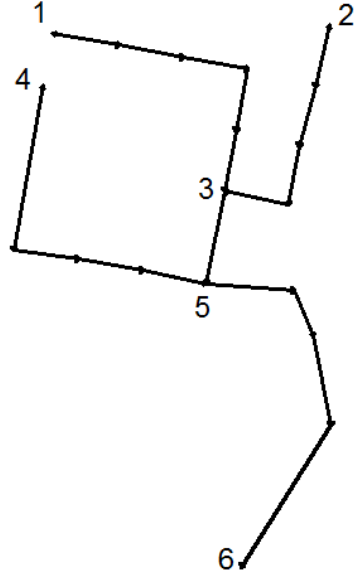
Programın sonlanması “5.2.4 Maliyet Hesabı” ve bu konuda bahsedilen işlemlerin, nesil sayısı kadar tekrar edilmesinden sonra olmaktadır. Bu sayı programa parametre olarak girilmektedir. Yapılan ilk denemelerde nesil sayısı 2000 ve üzeri olarak denenmiştir. Bu denemeler sonucunda, nesil sayısının 1000 ‘den fazla olmasının en uygun değeri elde etme konusunda neredeyse hiçbir katkısının olmadığı görülmüştür. Bu nedenle programla yapılan ve bir sonraki konuda bahsedilecek olan denemelerde nesil sayısı 1000 olarak alınmıştır.

5.2.7 Şebekeyi Bölümlere Ayırıp Çalıştırma Denemesi

Hesabı yapılan şebekenin toplam hat sayısı yüksek olduğunda, yeterli sayıda alternatifi denendiğinden emin olmak için birey sayısının yüksek tutulması gerekmektedir. Birey sayısının yüksek değerde olması ise, hesaplamalarda geçen sürenin artmasına neden olmaktadır. Doktora tezinde programın çalışma süresini kısaltmak için çeşitli yöntemler araştırılmıştır. Bunlardan biride şebekeyi birbirinden bağımsız bölümlere ayırarak hidrolik optimizasyonu çalıştırmaktadır.

Şekil 5.20 ‘de bu duruma uygun bir şebeke örneği gösterilmiştir. Önceki denemelerde tüm şebeke tek bölüm olarak değerlendirmeye alınmış ve sonuçlar tüm hatlar için aynı anda elde edilmiştir. Oysa şebeke incelendiğinde 1-3 noktaları arasındaki hatların hidrolik

optimizasyonuna şebekedeki hiçbir hattın etkisinin olmadığı görülmektedir. Benzer şekilde 2-3 ve 4-5 arasındaki hatlarda da şebekenin başka bir bölgesindeki hattın etkisi yoktur. 3-5 noktaları arasındaki hatları hesaplayabilmek için, 1-3 ve 2-3 arasındaki hatların hesaplanmış olması gerekirken, şebekenin diğer bölgelerindeki hatların yine herhangi bir etkisi yoktur. 5-6 noktaları arasındaki hatları hesaplarken ise, önceki tüm şebeke bölgelerinin hesaplanmış olması gerekmektedir.



Şekil 5.20 Bölümlere ayrılabilir şebeke örneği

Ayrı ayrı hidrolik hesaplamayı yapabilmek amacıyla, veri olarak alınan şebeke hatları incelenmiş ve birbirinden bağımsız hale gelebilecekleri kesişim noktaları belirlenmiştir. Böylece şebekenin farklı kısımlarının ayrı ayrı çalışmasına olanak sağlanmak istenmiştir. Hatlara göre belirlenen hesap sıralaması Çizelge 5.4 'te verilmektedir.

Çizelge 5.4 Şebeke bölümlerine göre hesap sıralaması

Hesap sırası	Nokta1	Nokta2
1	1	3
2	2	3
3	3	5
4	4	5
5	5	6

Dinamik mutasyon oranı belirleme veya nesil yenileme gibi özellikler kullanılmak istendiğinde her bir hat grubu için ayrı kontrol yapılmıştır.

6. OPTİMİZASYON DENEMELERİ

Bu bölümde 5. Bölümde anlatılan hesaplamalara göre, farklı alternatifler denenmiş ve çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

Yön optimizasyonunda kullanılan ilk 4 şebeke yön optimizasyonu programının çalışmasını test etmek için oluşturulmuş olan yapay şebekelere aittir.

Hem yön optimizasyonunda hem de hidrolik optimizasyonda kullanılan örnek şebeke 5 ise Denizli 'nin bir beldesine ait önceden hazırlanmış gerçek bir ayrık sistem kanalizasyon projesinden alınmıştır. Örnek şebeke 5 ile ilgili tüm veriler ve şebekenin önceden klasik programlarla hazırlanmış olan projeleri, proje işleri gerçekleştiren firmadan temin edilmiştir. Şebeke ile ilgili detaylı bilgileri, konusu geldiğinde belirtilmektedir.

Hidrolik optimizasyonda kullanılan örnek şebeke 6, Kıbrıs 'ta bir beldeye ait önceden hazırlanmış gerçek bir ayrık sistem yağmur suyu projesinden alınmıştır. Örnek şebeke 6 ile ilgili tüm veriler ve şebekenin önceden klasik programlarla hazırlanmış olan projeleri, proje işleri gerçekleştiren firmadan temin edilmiştir. Şebeke ile ilgili detaylı bilgileri, konusu geldiğinde belirtilmektedir.

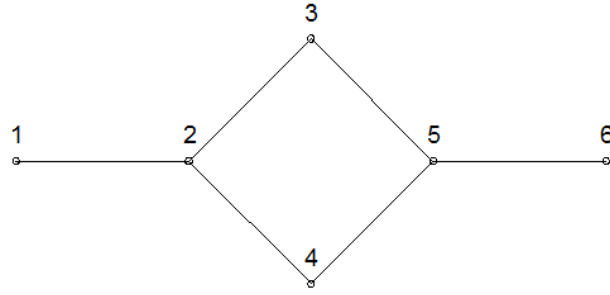
Gerçek projeler, optimizasyon içermeyen projelendirme programlarıyla hazırlanmışlardır. Hesaplar sırasında proje mühendislerinin mühendislik bilgileriyle en uygun maliyetli projenin hazırlanmasına çalışılmıştır. Gerçek projelerin elde edilmiş olan maliyetleri, bu doktora tezi kapsamında hazırlanan çalışma ile elde edilen maliyetlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sırasında gerçek projelerin mühendislerin kararları ile belirlenen maliyet değerleri, "*optimizasyonsuz maliyet değeri*" olarak referans edilecektir.

6.1 Yön Optimizasyonu Denemeleri

Programın denenmesi için, ilk olarak Şekil 6.1 'de gösterilen ve 6 hattın oluşan yapay bir şebeke oluşturulmuştur. Şebeke tasarımında sadece eğimlerin etkisinin incelenebilmesi için, tüm hatların uzunlukları ve her hattın kendi debisi aynı olarak alınmıştır. Yaklaşık maliyet formülüne, çalışma kapsamında ilave edilen ceza bedellerinin etkisi incelenecektir. Bu yapay şebeke ilk 4 örnekte kullanılmaktadır.

Program kontrolü amacı ile kullanılan minik bir şebeke olduğundan, genetik algoritma parametre alternatiflerinin denenmesinden bahsedilmeyecektir.

Programın test edilmesinin ardından, 5. örnek şebekede gerçek bir proje üzerinde tüm genetik algoritma parametreleri ile birlikte deneme gerçekleştirilecektir.



Şekil 6.1 Kontrol amacı ile dikkate alınan yapay şebeke

6.1.1 Örnek Şebeke 1

İlk olarak çok düz araziler için deneme yapılmıştır. Bu amaçla köşe noktalarının zemin kotları Çizelge 6.1 'de verildiği gibi kabul edilmiştir. Tüm hatların boyları 100 m. olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.1 Çok düz arazi örneğinde zemin kotları

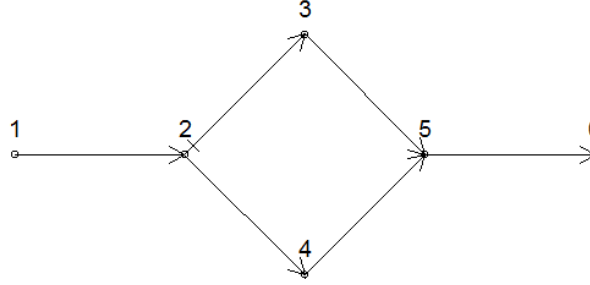
Köşe No	Zemin Kotu
1	100,00
2	99,00
3	98,90
4	98,75
5	98,50
6	98,00

Bunun sonucunda elde edilen arazi eğimleri, Çizelge 6.2 'de verilmektedir.

Çizelge 6.2 Çok düz arazi örneğinde arazi eğimleri

Köşe No1	Köşe No2	Eğim
1	2	1/100
2	3	1/1000
3	5	1/250
2	4	1/400
4	5	1/400
5	6	1/200

Elde edilen sonuç şebeke tasarımı Şekil 6.2 'de verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere 2-4 hattı devam hattı olarak seçilirken, çok düz bir eğime sahip 2-3 hattı başlangıç hattı olarak belirlenmiştir. Böylece 1-2 hattından gelen debinin, ilave kazı derinliği olacak bir hatta girmesi engellenmiş olmaktadır.



Şekil 6.2 Çok düz arazi örneğinde hat yönleri

6.1.2 Örnek Şebeke 2

İkinci olarak tersine eğimli hatların olduğu arazi denenmiştir. Bu amaçla köşe noktalarının zemin kotları Çizelge 6.3 'te verildiği gibi kabul edilmiştir. Tüm hatların daha önce olduğu gibi boyları 100 m. olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.3 Tersine eğimli arazi örneğinde zemin kotları

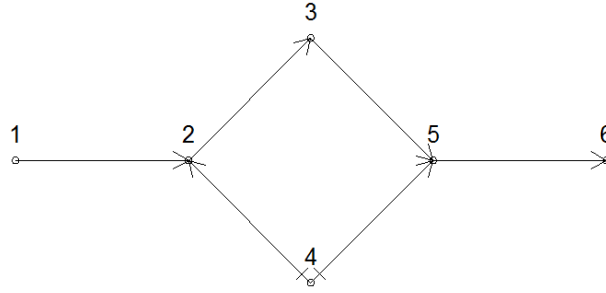
Köşe No	Zemin Kotu
1	100,00
2	99,00
3	100,00
4	101,00
5	99,00
6	98,00

Çizelge 6.4 Tersine eğimli arazi örneğinde arazi eğimleri ve kazı derinliğindeki artış miktarları

Köşe No1	Köşe No2	Eğim	Kazı Derinliğindeki Artış
1	2	1/100	
2	3		1
3	5	1/100	
2	4		2
4	5	1/50	
5	6	1/100	

Bunun sonucunda elde edilen arazi eğimleri ve kazı derinliğindeki artışlar, Çizelge 6.4 'te verilmektedir.

Elde edilen sonuç şebeke tasarımı Şekil 6.3 'te verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, kazı derinliğindeki artışı daha fazla olan 2-4 hattı yerine 2-3 hattı devam hattı olarak seçilmiştir. Böylece 1-2 hattından gelen debinin, ilave kazı derinliği olacak bir hatta girmesi engellenmiş durumda olmaktadır. 4 no.lu nokta, başlangıç noktası olarak belirlenmiş ve 4-2 ile 4-5 hatlarının cazibeli akması sağlanmıştır.



Şekil 6.3 Tersine eğimli arazi örneğinde hat yönleri

6.1.3 Örnek Şebeke 3

Üçüncü olarak, dik eğimli araziler için deneme yapılmıştır. Bu amaçla köşe noktalarının zemin kotları Çizelge 6.5 'te verildiği gibi kabul edilmiştir. Tüm hatların boyları 100 m. olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 6.5 Çok dik arazi örneğinde zemin kotları

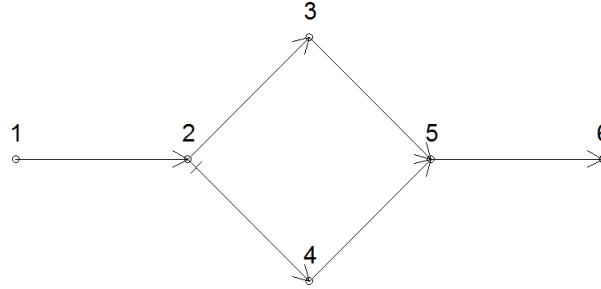
Köşe No	Zemin kotu
1	100,00
2	99,00
3	89,00
4	80,00
5	79,00
6	78,00

Bunun sonucunda elde edilen arazi eğimleri Çizelge 6.6 'da verilmektedir. Çizelge 6.6 'ya göre 2-4 hattında arazi eğimi, izin verilen maksimum eğim 1/8 'den daha dik olan 1/5.26 (yatay / düşey) 'dır.

Çizelge 6.6 Çok dik arazi örneğinde arazi eğimleri

Köşe No1	Köşe No2	Eğim
1	2	1/100
2	3	1/10
3	5	1/10
2	4	1/5.26
4	5	1/100
5	6	1/100

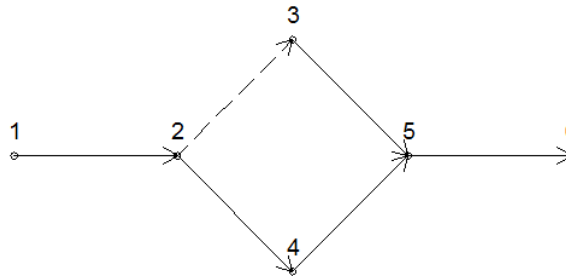
Elde edilen sonuç şebeke tasarımı Şekil 6.4 'te verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, çok dik eğime sahip 2-4 hattı yerine 2-3 hattı devam hattı olarak seçilmiştir. 2-4 hattı başlangıç hattı olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.4 Çok dik arazi örneği için hat yönleri

6.1.4 Örnek Şebeke 4

Dördüncü olarak, farklı kademe hatlar için deneme yapılmıştır. Bu amaçla Şekil 6.5 'te gösterilen ve 2 – 3 noktaları arası hat 2. kademe diğer hatlar 1. kademe kabul edilen şebeke, örnek olarak alınmıştır. Çizimde düz çizgiler 1. kademe hatları ifade ederken, kesikli çizgi ise 2. kademe hattı belirtmektedir.



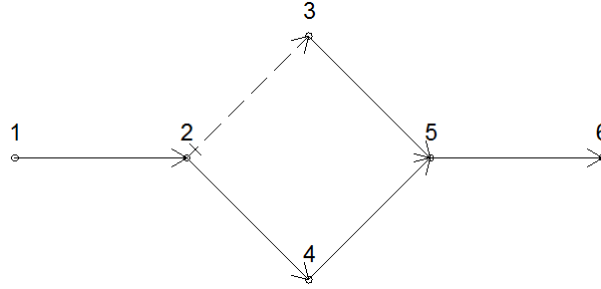
Şekil 6.5 Kademe örneği için şebeke

Köşe noktalarının zemin kotları Çizelge 6.7 'de verildiği gibi kabul edilmiştir. Tüm hatların boyları 100 m. olarak kabul edilmiştir. Kot durumunun hesabı etkilememesi için 3 ve 4 no.lu noktaların kotları aynı değerde kabul edilmiştir.

Çizelge 6.7 Kademe örneğinde zemin kotları

Köşe No	Zemin kotu
1	100,00
2	99,00
3	98,00
4	98,00
5	97,00
6	96,00

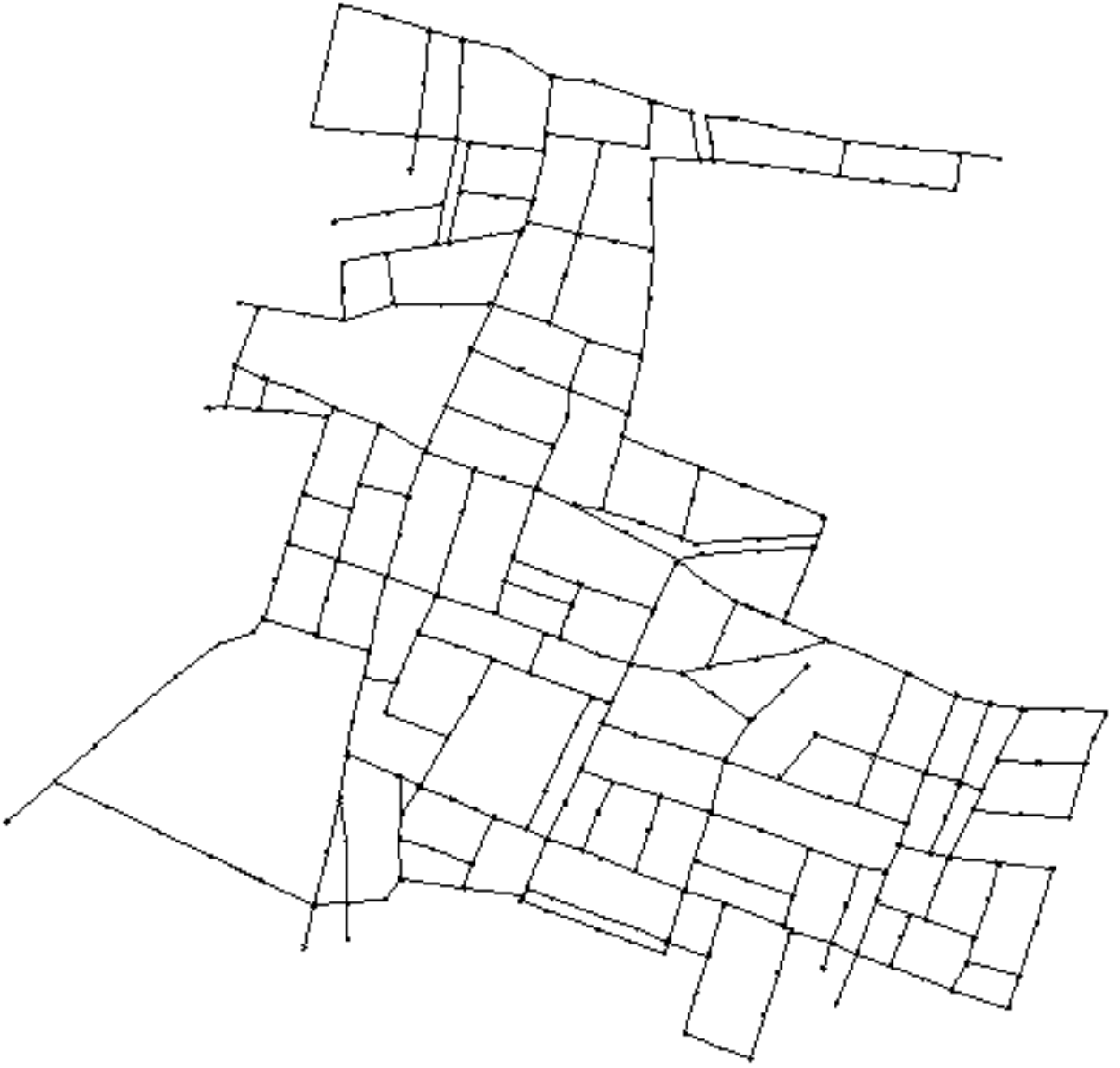
Elde edilen sonuç şebeke tasarımı Şekil 6.6 'da verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, 2. kademe olan 2-3 hattı yerine 2-4 hattı devam hattı olarak seçilmiştir. 2-3 hattı başlangıç hattı olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.6 Kademe örneği için hat yönleri

6.1.5 Örnek Şebeke 5

Programla ilgili denemeler yukarıdaki örneklerle tamamlandıktan sonra, gerçek bir proje üzerinde yön optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla Denizli 'nin bir beldesine ait 17.571 m. uzunluğunda 305 nokta ve 389 hattan oluşan gerçek bir ayrık sistem kanalizasyon projesinin şebekesi dikkate alınmıştır. Şebekenin çizimi Şekil 6.7 'de gösterilmiştir. Şebekeye ait hat bilgileri ise Çizelge 9.1 'de verilmektedir. Şebekeye ait hatları oluşturan köşe noktalarının numaraları, köşe noktalarının kotları, hatların ara mesafeleri ve her hattın kendi debi değerleri (m^3/s) cinsinden bu tabloda gösterilmektedir. Hatlardan geçen toplam debi değerleri ise yön optimizasyonu sonucunda belli olacaktır.



Şekil 6.7 Örnek şebeke – 5 çizimi

“5.1.6 Genetik Algoritmaların Kullanımı” konusundaki Çizelge 5.2 ‘de bahsedilen genetik algoritma parametreleri, Çizelge 6.8 ‘de tekrarlanmaktadır.

Her deneme sırasında, denenen genetik parametre haricindeki diğer parametreler sabit tutularak aralarındaki farkların anlaşılmasına çalışılmıştır. Genetik algoritmanın rastlantısal özelliği nedeniyle, her deneme sonucunda farklı uygunluk değerleri elde edildiğinden, her alternatif beşer kez denenmiştir. Denenen genetik algoritma parametresi tabloda koyu ve eğik olarak yazılarak, diğer alternatiflerden ayrılması sağlanmıştır.

Çizelge 6.8 Yön optimizasyonu için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	20, 40, 60, 80, 100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	Rastlantısal koruma
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%30, %50, %70
Mutasyon oranı	%10

Tüm denemelerde toplam 1000 nesil için deneme yapılmasına rağmen, tüm nesil sayısı sonuçlarının grafik üzerine alınması grafiklerin detaylarının görünmez hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle grafikler üzerine nesil sayısı 100 'e kadar olan sonuçlar alınmış, ancak yorumlar tüm sonuçlar için yapılmıştır.

Tüm denemelerde toplam 1000 nesil için deneme yapılmasına rağmen, tüm nesil sayısı sonuçlarının grafik üzerine alınması grafiklerin detaylarının görünmez hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle grafikler üzerine nesil sayısı 100 'e kadar olan sonuçlar alınmış, ancak yorumlar tüm sonuçlar için yapılmıştır.

Tüm denemelerde en iyi sonuçların bir arada gösterilerek denemelerin karşılaştırıldığı grafiklerin yanında, bütün denemelerin ayrıca tek bir grafik altında birlikte gösterilmesi sağlanmıştır.

Tüm denemelerde, her deneme kendi grubu içinde uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları tablolarda verilmiştir. Böylece sadece en düşük değeri veren grubun özelliğinin genetik parametre olarak seçilmesi yerine, aynı grupta denenen tüm alternatiflerin birbirlerine göre değişim oranlarının da dikkate alınması sağlanmıştır.

6.1.5.1 Birey Sayısı Denemesi

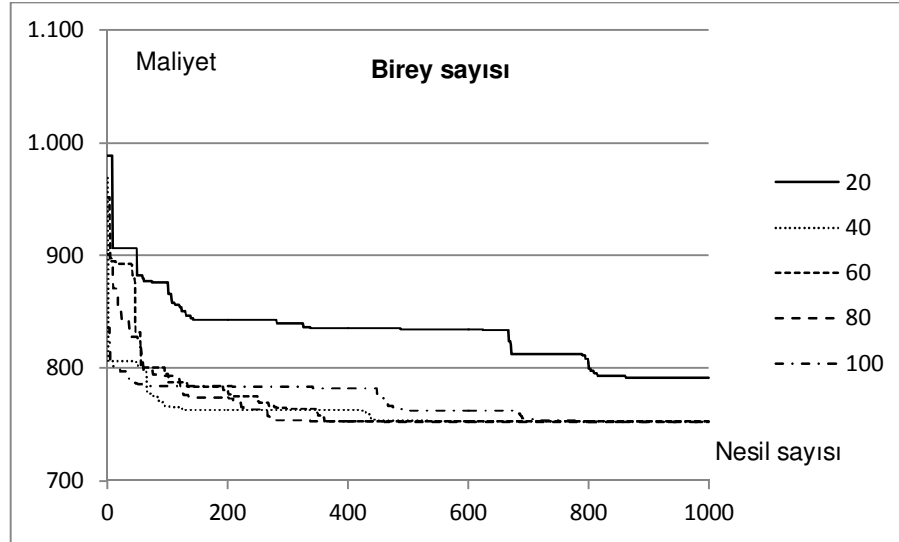
Bu bölümde yön optimizasyonunda genetik algoritma kullanımında birey sayısının önemi araştırılmıştır. Bu amaçla 20, 40, 60, 80 ve 100 adet nesil için beşer deneme yapılmış ve

sonuçta en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.9 'da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Birey sayısı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	20, 40, 60, 80, 100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	Rastlantısal koruma
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%10

Birey sayısı 20, 40, 60, 80 ve 100 değerleri için sonuçlar Şekil 9.1 'den 9.5 'e kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği

Denenen her birey sayısının, uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.8 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde, hesaplamaların sonunda birey sayısı 20 olan alternatif dışındaki tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu ancak sonuca ulaşma sırasında farklı eğilimlere sahip oldukları anlaşılmaktadır. Tüm sonuçlar arasında en uygun maliyetli değerin nesil sayısının 100 olması durumunda elde edildiği görülmektedir. Ayrıca birey sayısının 100 olması durumunda, en uygun değere daha çabuk ulaşıldığı görülmektedir.

Kontrol edilen tüm birey sayısı alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmek istenmiş ve bu amaçla Şekil 9.6 oluşturulmuştur.

Çizelge 6.10 Her birey sayısı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Birey sayısı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
20	1	837,77	791,74	5,49%
	2	791,74		0,00%
	3	856,09		7,52%
	4	794,17		0,31%
	5	796,07		0,54%
40	1	763,81	752,82	1,44%
	2	753,19		0,05%
	3	752,82		0,00%
	4	792,48		5,00%
	5	773,68		2,70%
60	1	773,38	752,52	2,70%
	2	782,55		3,84%
	3	762,07		1,25%
	4	752,52		0,00%
	5	753,89		0,18%
80	1	761,88	751,94	1,30%
	2	782,92		3,96%
	3	752,04		0,01%
	4	751,94		0,00%
	5	764,17		1,60%
100	1	751,87	751,87	0,00%
	2	753,75		0,25%
	3	752,19		0,04%
	4	763,04		1,46%
	5	773,07		2,74%

Birey sayısı denemelerinde elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmıştır. Denenen her birey sayısı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri kendi grubunun en iyisi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.10 'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, en uygun sonucun birey sayısı 100 olan alternatifte elde edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir alternatif için yapılan beşer deneme incelenmiş, beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren birey sayısının yine 100 olduğu görülmüştür.

Birey sayısı 80 ile 100 alternatifleri sonuçları birbirleriyle kıyaslandığında, aralarında fazla bir fark olmadığı görülmektedir. Birey sayısının artmasının sonuçlar üzerinde olumlu bir etki oluşturmayacağı düşünülerek, birey sayısı 100 'den fazla bir değer için deneme yapılmamıştır.

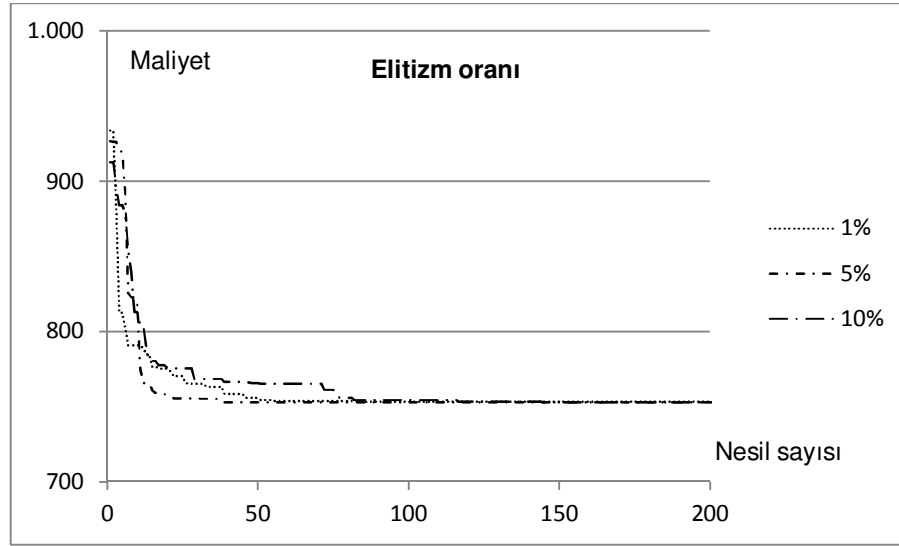
6.1.5.2 Elitizm Oranı Denemesi

Elitizm parametre kontrolünde %1, %5 ve %10 oranları denenmiştir. Her elitizm değeri için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Tez kapsamında anlatılan denemeler öncesinde yapılan çalışmalarda elitizmden yararlanmamanın olumsuz etkileri görüldüğünden elitizm kullanılmaması durumuna, deneme kapsamında yer verilmemiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.11 'de verilmiştir.

Çizelge 6.11 Elitizm oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1, %5, %10
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	İyiden %100
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%10

Üç ayrı elitizm oranı için sonuçlar Şekil 9.7 'den 9.9 'a kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 6.9 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği

Çizelge 6.12 Her elitizm oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Elitizm oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
1%	1	751,67	750,99	0,09%
	2	751,30		0,04%
	3	752,08		0,14%
	4	751,29		0,04%
	5	750,99		0,00%
5%	1	751,15	750,99	0,02%
	2	750,99		0,00%
	3	752,45		0,19%
	4	752,36		0,18%
	5	751,26		0,04%
10%	1	751,80	751,8	0,00%
	2	764,64		1,68%
	3	752,11		0,04%
	4	753,08		0,17%
	5	752,74		0,12%

Grafikler incelendiğinde aslında her elitizm oranında hemen hemen aynı sonucun elde edildiği görülmektedir. %1 ve %5 elitizm oranları için birebir aynı sonuç elde edilmiştir. Kendi aralarında karşılaştırıldığında %1 elitizm oranında en uygun sonucun daha erken nesil sayısında elde edildiği, %5 elitizm oranında ise, uygun değerlerin yüksek nesil sayılarında anca elde edilebildiği görülmektedir. %1 elitizm oranında denenen tüm alternatiflerde birbirine yakın sonuçlar elde edilirken, diğer oranlarda alternatiflerde sonuçlar arasında fark olmaktadır.

Denenen her elitizm oranının uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.9 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu, aralarındaki farkların hangi nesilde elde edilmeleri olduğu görülmüştür.

Kontrol edilen tüm elitizm oranları boyutu alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmiş ve bu amaçla Şekil 9.10 oluşturulmuştur.

Denenen her elitizm oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.12 'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, en düşük uygunluk değerinin düşük elitizm oranları uygulandığında elde edildiği görülmektedir. Bu sonucun elde edilmesinde iyiden %100 koruma yapılmış olmasının da etkisi göz ardı edilmemelidir. Her alternatifin denemeleri arasında sonuçlarının kendi aralarında kıyaslanmasına bakıldığında, %1 elitizm oranının en uygun sonuç olduğu görülmektedir.

6.1.5.3 Turnuva Oranı Denemesi

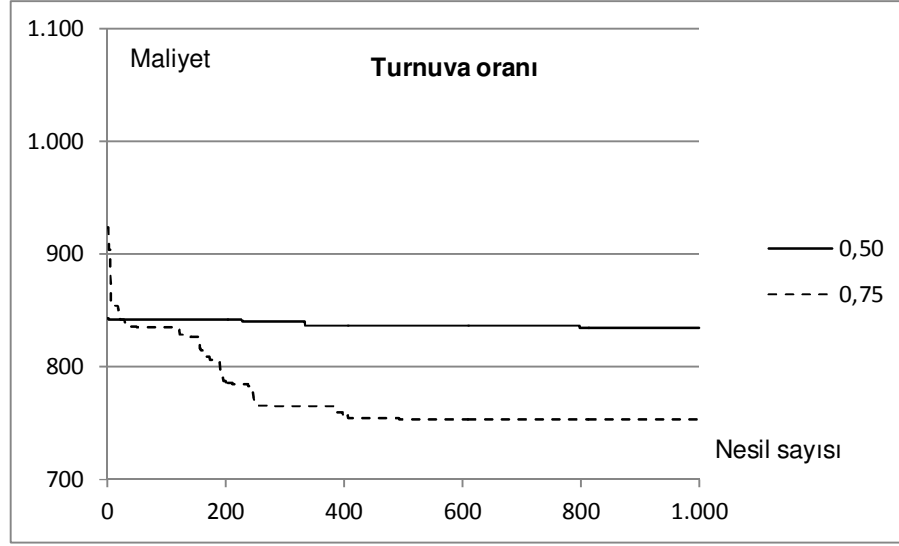
Ebeveyn seçiminde kullanılan turnuva yönteminde turnuva oranı için %50 ve %75 olmak üzere iki farklı değerde deneme yapılmıştır. Turnuva sayısı her iki denemede de 2 'dir. Her iki turnuva oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.13 'te verilmiştir.

Çizelge 6.13 Turnuva oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,5 , 0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

İki farklı turnuva oranı değeri için sonuçlar Şekil 9.11 'den 9.12 'ye kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her iki turnuva oranı için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.10 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde turnuva oranının 0,75 olması durumunda çok daha uygun sonuç elde edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.10 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği

Kontrol edilen turnuva oranı alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında, Şekil 9.13 'te incelenmiştir.

Çizelge 6.14 Her turnuva oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Turnuva Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
0,50	1	795,40	795,40	0,00%
	2	856,17		7,10%
	3	847,11		6,10%
	4	847,82		6,18%
	5	834,13		4,64%
0,75	1	763,81	752,82	1,44%
	2	753,19		0,05%
	3	752,82		0,00%
	4	792,48		5,00%
	5	773,68		2,70%

Denenen her turnuva oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.14 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, tüm denemeler arasında en uygun maliyetli değerin ve beş denemede birbirine en yakın sonuçların turnuva oranı 0,75 olduğunda gerçekleştiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde turnuva oranı 0,75 olarak kabul edilmiştir.

6.1.5.4 İlave Seçim Algoritmaları Denemesi

Turnuva yöntemi ile ebeveyn seçim işlemine ilave olarak, farklı seçim algoritmalarının kullanılmasının en uygun değerin daha hızlı bir şekilde elde edilmesine katkıları araştırılmıştır. Bu amaçla turnuva yöntemi ile birlikte kullanılmak üzere “*en iyilerle (%10)*” olarak adlandırılan bir seçme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu seçme işleminde en uygun değer sıralamasında toplam birey sayısının %10 'u kadar sayıda ilk sırada olan bireylerin, kendi aralarında çaprazlanması sağlanmıştır. Çaprazlamaya gönderilecek diğer bireyler turnuva yöntemi ile seçilmiştir. Bu algoritma, sadece turnuva yöntemi ile seçim yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.15 'te verilmiştir.

Çizelge 6.15 İlave seçim algoritmaları için denenen genetik algoritma parametreleri

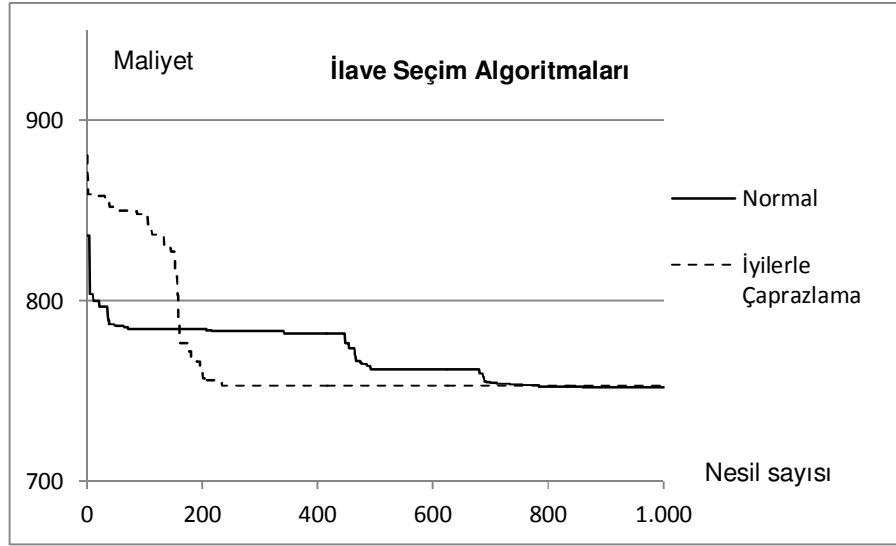
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
<i>İlave seçim yöntemi</i>	<i>Hiç yok, En iyilerle(%10)</i>
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%10

İlave seçim algoritması kullanımı ile ilgili yapılan iki alternatifin sonuçları Şekil 9.14 ve 9.15 'te verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

En iyilerle (%10) algoritması kullanmanın da herhangi bir faydasının olmadığı görülmüştür. Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu ile kıyaslandığında yaklaşık

aynı sonuçların elde edildiği anlaşılmaktadır. Her ne kadar bu algoritma ile en iyi bireylerin seçilmesinin sağlanıp, ardından kendi aralarında çaprazlama işlemine tabii tutuluyor olmaları, yeni üretilen neslinde iyi olacağını sağlamadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle hesaplarda kullanılmasına gerek olmayacaktır.

Denenen tüm ilave seçim algoritmaları için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.11 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Ancak normal yöntemin çok az farkla da olsa daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır.



Şekil 6.11 İlave seçim algoritmaları için minimum değerlerin grafiği

Çizelge 6.16 Her ilave seçim algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri

İlave Seçim Algoritması	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Sade	1	751,87	751,87	0,00%
	2	753,75		0,25%
	3	752,19		0,04%
	4	763,04		1,46%
	5	773,07		2,74%
En Düşük Değer		752,98	752,98	0,00%
		764,00		1,44%
		753,53		0,07%
		762,59		1,26%
		753,37		0,05%

Kontrol edilen ilave seçim algoritmaları ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmesi amacıyla Şekil 9.16 oluşturulmuştur.

Denenen her ilave seçim algoritması için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.16 'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, tüm denemeler arasında en uygun maliyetli değerin ilave seçim algoritması kullanılmaması durumunda ve beş denemede birbirine en yakın sonuçların ise “*en iyilerle %10*” algoritmasının kullanılması durumunda gerçekleştiği görülmüştür.

6.1.5.5 Koruma Yöntemi Denemesi

Çizelge 6.17 Koruma oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	40
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	Rastlantısal koruma, %50 iyiden, %90 iyiden, %100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

Bu deneme ile sadece çaprazlanacak bireylerinin seçiminin değil, aynı zamanda bir üst nesle çaprazlama yapılmadan aktarılabacak bireylerin seçimi konusu araştırılmıştır. Bu amaçla 4 deneme yapılmıştır :

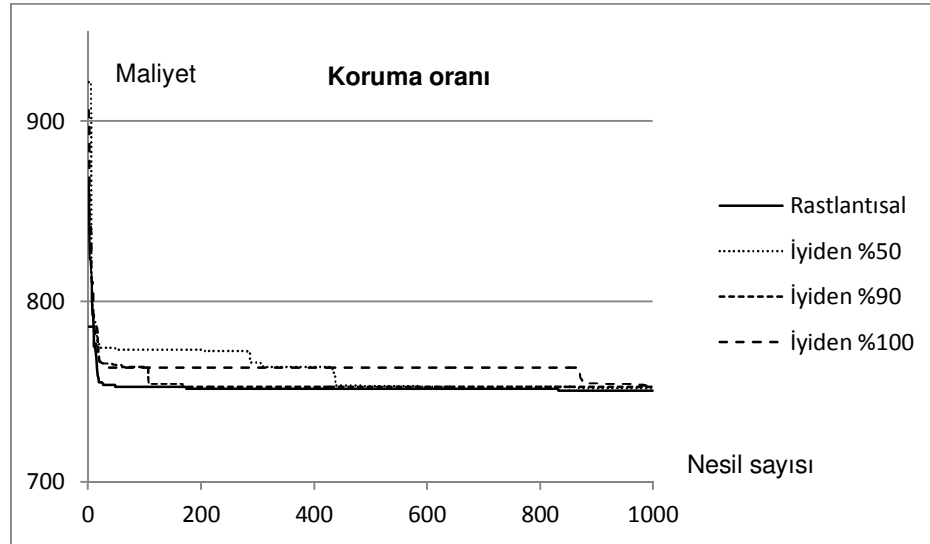
1. Nesilde korunacak bireyler *rastlantısal* olarak belirlenmiştir.
2. “%50 iyiden koruma” algoritmasında, nesilde korunacak bireylerin (n) %50 ‘si en uygundan en kötüye doğru sıralı olan uygunluk değerlerine göre ilk sıradaki n/2 adet bireyin ve ikinci yarıdaki n/2 adet bireyin seçilmesi şeklinde belirlenmiştir.
3. “%90 iyiden koruma” algoritmasında, nesilde korunacak bireylerin (n) %90 ‘ı en uygundan en kötüye doğru sıralı olan uygunluk değerlerine göre ilk sıradaki n*%90 adet bireyin ve ikinci yarıdaki n*%10 adet bireyin seçilmesi şeklinde belirlenmiştir.

4. “%100 iyiden koruma” algoritmasında, nesilde korunacak bireylerin tamamı (n) en uygundan en kötüye doğru sıralı olan uygunluk değerlerine göre ilk sıradaki n adet bireyin seçilmesi şeklinde belirlenmiştir.

Her bir deneme beşer kez tekrarlanmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.17 ‘de verilmiştir.

Dört ayrı koruma yöntemi için sonuçlar Şekil 9.17 ‘den 9.20 ‘ye kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her koruma oranı uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.12 oluşturulmuştur.



Şekil 6.12 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği

Kontrol edilen tüm koruma yöntemleri alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmek istenmiş ve bu amaçla Şekil 9.21 oluşturulmuştur.

Koruma oranı denemelerinde elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmak istenmiştir. Denenen her koruma yöntemi için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.18 ‘de verilmiştir. Bu tabloya göre rastlantısal koruma yönteminin en düşük sonucu verdiği görülmektedir. Sonuçların sıralaması tablodaki gibi *rastlantısal koruma* algoritması en uygun algoritma, *iyiden (%100)* koruma algoritması ise en kötü alternatif olarak belirlenmiştir. Her alternatifi, sonuçlarının birbirlerine göre değişim % ‘leri incelendiğinde de, en iyi sonucu

rastlantısal koruma algoritmasının verdiği görülmektedir. Tablodaki verilerden, rastlantısalılık oranı ne kadar artarsa sonucun o kadar iyi hale geldiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.18 Her koruma yöntemi için denemeler arası değişim yüzdeleri

Koruma Yöntemi	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Rastlantısal	1	750,66	750,66	0,00%
	2	751,58		0,12%
	3	751,93		0,17%
	4	752,04		0,18%
	5	751,19		0,07%
İyiden %50	1	753,33	751,89	0,19%
	2	763,90		1,57%
	3	762,65		1,41%
	4	775,16		3,00%
	5	751,89		0,00%
İyiden %90	1	764,21	752,56	1,52%
	2	752,56		0,00%
	3	791,39		4,91%
	4	763,37		1,42%
	5	773,11		2,66%
İyiden %100	1	763,41	752,91	1,38%
	2	752,91		0,00%
	3	783,77		3,94%
	4	784,07		3,97%
	5	773,02		2,60%

6.1.5.6 Çaprazlama Oranları Denemeleri

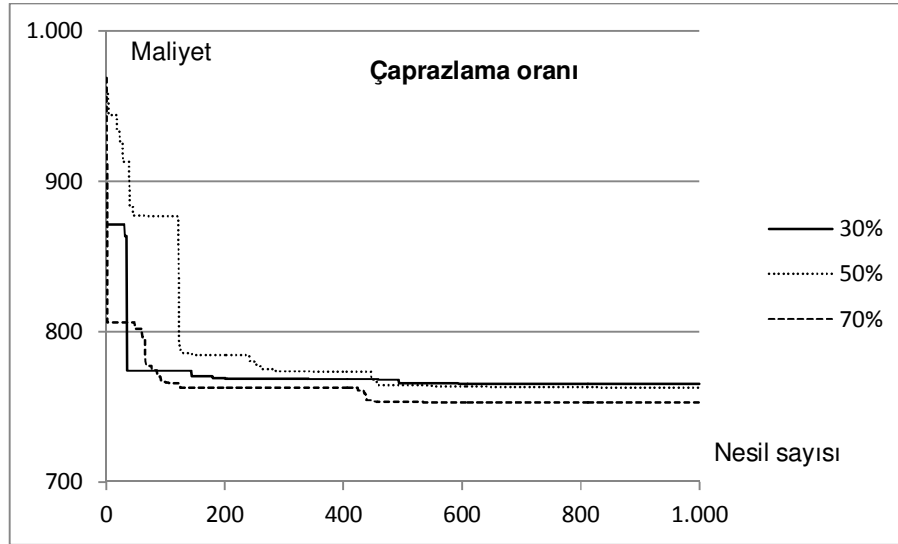
Hesaplamalarda kullanılmak üzere, çaprazlama oranları ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. %30, %50 ve %70 değerlerinde çaprazlama oranları denenmiştir. Her çaprazlama oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.19 'da verilmiştir.

Üç ayrı çaprazlama oranı için sonuçlar Şekil 9.22 'den 9.24 'e kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir. %30 ve %50 çaprazlama oranlarına göre sonuçların birbirlerine yakın oldukları, %70 çaprazlama oranında ise en uygun sonucun

elde edildiği görülmektedir. %30 çaprazlamada en uygun alternatif dışındaki sonuçlar, en uygun alternatif sonucundan oldukça yüksek olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6.19 Çaprazlama oranları için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	40
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%30, %50, %70
Mutasyon oranı	%1



Şekil 6.13 Her çaprazlama oranı için minimum değerlerin grafiği

Denenen her çaprazlama oranı için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.13 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde %30 ve %50 çaprazlama oranı sonuçlarının birbirlerine yakın, %70 çaprazlama oranı sonucunun ise daha uygun değere sahip olduğu görülmüştür.

Kontrol edilen tüm çaprazlama oran alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında şekil 9.25 'te incelenmiştir. Denemelerde genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Denenen her çaprazlama oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları izelge 6.20 'de verilmiştir. Bu izelge incelendiğinde, en uygun sonucun %70 çaprazlama oranı ile elde edildiği, beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren çaprazlama oranının ise %50 olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.20 Her aprazlama oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Çaprazlama Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
%30	1	826,80	765,30	7,44%
	2	858,38		10,84%
	3	835,99		8,46%
	4	828,95		7,68%
	5	765,30		0,00%
%50	1	765,80	762,68	0,41%
	2	762,68		0,00%
	3	783,47		2,65%
	4	763,40		0,09%
	5	773,87		1,45%
%70	1	763,81	752,82	1,44%
	2	753,19		0,05%
	3	752,82		0,00%
	4	792,48		5,00%
	5	773,68		2,70%

6.1.5.7 Mutasyon Oranı Denemesi

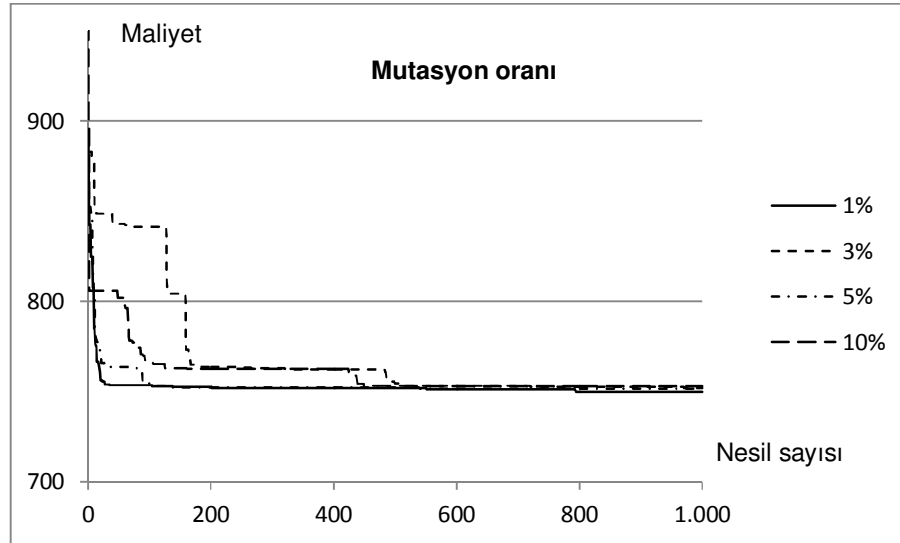
Mutasyon oranlarının hesaplara etkisinin araştırılması için, %1, %3, %5 ve %10 değerleri denenmiştir. Her mutasyon oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Tez kapsamında anlatılan denemeler öncesinde yapılan çalışmalarda, mutasyon işlemine kullanmamanın olumsuz etkileri görüldüğünden, mutasyon kullanılmaması durumuna deneme kapsamında yer verilmemiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler izelge 6.21 'de verilmiştir.

Çizelge 6.21 Mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1, %3, %5, %10

Dört ayrı mutasyon oranı değeri için sonuçlar Şekil 9.26 'dan 9.29 'a kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her mutasyon denemesi uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.14 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde %1 ve %5 mutasyon oranı sonuçlarının hemen hemen aynı eğilimde ilerlediği ve birbirlerine çok yakın sonuca vardığı görülmektedir. %3 ve %10 mutasyon oranı kullanımında ise, daha yüksek değerler elde edilmiş ve kendi uygun değerlerine ulaşması için epeyce nesil sayısı ilerlenmesi gerekmiştir.

**Şekil 6.14 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği**

Kontrol edilen tüm koruma oranları boyutu alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenerek Şekil 9.30 oluşturulmuştur. Denemelerin genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Denenen her mutasyon oranları için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.22 'de verilmiştir.

Çizelge 6.22 Her mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Mutasyon Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
%1	1	751,07	749,85	0,16%
	2	751,89		0,27%
	3	750,09		0,03%
	4	749,85		0,00%
	5	752,79		0,39%
%3	1	752,00	752,00	0,00%
	2	763,12		1,46%
	3	764,44		1,63%
	4	762,91		1,43%
	5	762,63		1,39%
%5	1	751,86	751,69	0,02%
	2	752,47		0,10%
	3	752,45		0,10%
	4	751,84		0,02%
	5	751,69		0,00%
%10	1	763,81	752,82	1,44%
	2	753,19		0,05%
	3	752,82		0,00%
	4	792,48		5,00%
	5	773,68		2,70%

Bu tabloya göre %1 'lik mutasyon oranı en iyi sonuçları vermiştir. %10 'luk mutasyon oranı, diğer sonuçlarla karşılaştırıldığında daha kötü sonuç vermiştir. Beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren mutasyon oranının ise %5 olduğu görülmüştür. Tüm denemelerin sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırıldığında yakın değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

6.1.5.8 Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme Denemesi

En uygun değere daha kısa zamanda ulaşabilmek için uygunluk değerlerinin sonucuna ve nesiller arasındaki değişim oranına göre mutasyon oranının dinamik olarak değişmesi ile ilgili denemeler yapılmıştır. Bu amaçla başlangıç için minimum bir mutasyon oranı (%1) belirlenmiş ve mutasyon oranının arttırılabileceği maksimum bir değer (%12) seçilmiştir. Nesiller arası uygunluk değerinin değişim oranı incelenmiş ve üst üste 50 nesil boyunca değişim oranının %1 'in altında kalması durumunda mutasyon oranı %1 değerinde arttırılmıştır. Üst üste 50 nesil kontrolü, değişen bireylere uyum sağlama imkanı vermek için yapılmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.23 'te verilmiştir.

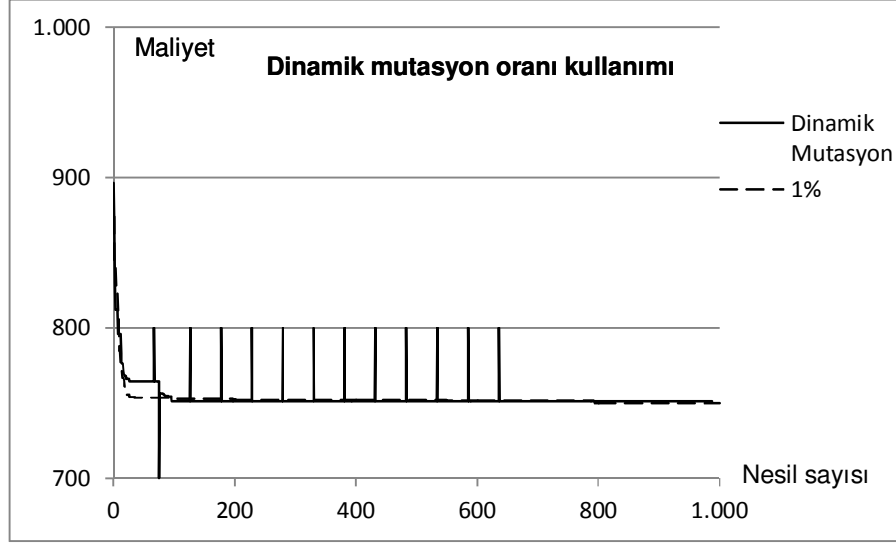
Çizelge 6.23 Dinamik mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	389
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Özel çaprazlamalar	En düşük değerle (1 adet)
Mutasyon oranı	%1 (Minimum), %12 (Maksimum) (Uygunluk değeri değişiminin %1 'in altında 50 nesil boyunca üst üste devam etmesi durumunda mutasyon oranı %1 artar)

Dinamik mutasyon oranı değiştirme işlemi için tüm deneme sonuçları Şekil 9.31 verilmektedir.

Grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir. “6.1.5.7 Mutasyon Oranı Denemesi” konusundaki mutasyon oranı denemelerinin en uygun sonucu olan %1 mutasyon oranı denemesi ile ilgili sonuçlar ve dinamik mutasyon oranı denemesinin en uygun sonucunun karşılaştırılması için Şekil 6.15 'te bir arada verilmiştir. Bu şekilde dinamik mutasyonla ilgili yukarı ve aşağı doğru çıkan bazı çizgiler görülmektedir. Bu noktalarda mutasyon oranının artmakta veya azalmaktadır. Artış veya azalış, şekil üzerinde yukarı veya aşağı doğru olan çizgilerle ifade edilmiştir. İlk olarak mutasyon oranı 0,01 artmış ve 0,02 değerini almıştır. Ardından bir süre sonra tekrar 0,01 'e düşmüştür. Sonrasında mutasyon oranı %12 'ye kadar

artmıştır. Bu grafik incelendiğinde dinamik mutasyon kullanılması ile sabit %1 mutasyon oranı kullanılması durumunda sonuçların birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 6.15 Dinamik mutasyon oranı grafiği

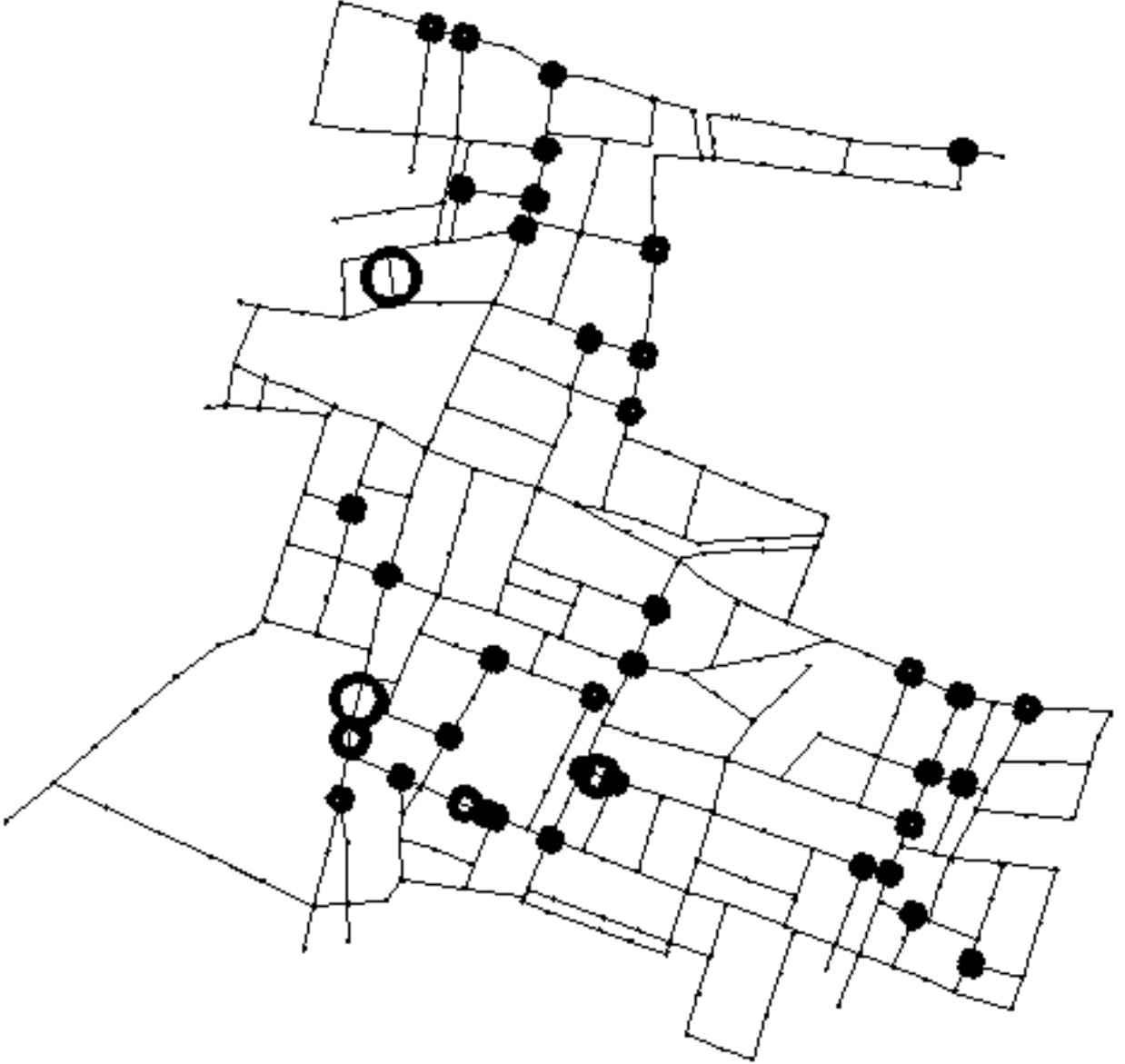
Denenen dinamik mutasyon oranı değişimi ile %1 mutasyon oranı denemesi uygunluk değerleri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.24 'te verilmiştir.

Çizelge 6.24 Dinamik mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri ve karşılaştırma

Mutasyon Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Dinamik mutasyon	1	760,63	750,94	1,27%
	2	750,94		0,00%
	3	751,21		0,04%
	4	751,98		0,14%
	5	752,62		0,22%
%1	1	751,07	749,85	0,16%
	2	751,89		0,27%
	3	750,09		0,03%
	4	749,85		0,00%
	5	752,79		0,39%

Bu çizelge incelendiğinde, sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Her ne kadar %1 mutasyon oranı kullanımında daha uygun sonuç elde edilmiş olsa bile, problemin çözümünde en uygun mutasyon oranının bulunması için birden fazla deneme yapma zorunluluğu nedeniyle, bu denemeler yerine dinamik mutasyon oranı kullanımının daha uygun olacağı görülmektedir.

Bundan sonraki yön optimizasyonu problemlerinde mutasyon oranı araştırması yapma yerine, dinamik mutasyon kullanılması tercih edilecektir.



Şekil 6.16 Yön optimizasyonu ile elde edilen şebeke tasarımı

6.1.5.9 Yön Optimizasyonu Sonucu

Yön optimizasyon işlemi sonucunda örnek şebeke 5 için genetik algoritma parametrelerinde birey sayısının 100, elitizm oranının %1, ebeveyn seçimi için kullanılan turnuva yöntemindeki turnuva oranının %75 olduğu, bir sonraki nesle değişmeden geçecek bireylerin rastlantısal olarak belirlenmesi gerektiği, çaprazlama oranının %70, mutasyon oranının ise %1 olduğu belirlenmiştir.

Denemeler sonucunda %1 mutasyon oranı kullanımında daha uygun sonuç elde edilmiş olsa bile, problemin çözümünde en uygun mutasyon oranının bulunması için birden fazla deneme yapma zorunluluğu nedeniyle, bu denemeler yerine dinamik mutasyon oranı kullanımının daha uygun olacağı anlaşılmıştır. Bu amaçla daha sonra yapılacak olan yön optimizasyonu problemlerinde, dinamik mutasyon kullanılması tercih edilecektir.

Örnek şebeke 5 'e uygulanan yön optimizasyonu sonucunda elde edilen şebeke Şekil 6.16 'da verilmektedir. Optimizasyonsuz şebeke hesabındaki şebeke tasarımı ile yön optimizasyonu sonucunda elde edilen şebeke tasarımı karşılaştırıldığında 6 hattın yönünün farklı olduğu görülmüştür. Farklı yönlü hatlar şekil üzerinde tüm hattı kapsayacak şekilde çizilen dairelerle gösterilmiştir. Ayrıca 35 noktada başlangıç hattı seçimi farklı olarak belirlenmiştir. Başlangıç hattı farklı olan noktalar küçük dairelerle ayırt edilebilmektedir.

6.2 Hidrolik Optimizasyon Denemeleri

Hidrolik optimizasyonu ile ilgili geliştirilen bilgisayar programı, çeşitli şebekeler üzerinde denenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir. "5.2.5 Genetik Algoritmaların Kullanımı" konusundaki Çizelge 5.3 'te bahsedilen genetik algoritma parametreleri, Çizelge 6.25 'te tekrarlanmaktadır.

Her deneme sırasında, denenen genetik parametre haricindeki diğer parametreler sabit tutularak aralarındaki farkların anlaşılmasına çalışılmıştır. Genetik algoritmanın rastlantısal özelliği nedeniyle, her deneme sonucunda farklı uygunluk değerleri elde edildiğinden, her alternatif beşer kez denenmiştir. Denenen genetik algoritma parametresi tabloda koyu ve eğik olarak yazılarak, diğer alternatiflerden ayrılması sağlanmıştır.

Tüm denemelerde toplam 1000 nesil için deneme yapılmasına rağmen, tüm nesil sayısı sonuçlarının grafik üzerine alınması grafiklerin detaylarının görünmez hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle grafikler üzerine nesil sayısı 100 'e kadar olan sonuçlar alınmış, ancak yorumlar tüm sonuçlar için yapılmıştır.

Çizelge 6.25 Hidrolik optimizasyon için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	60, 80, 100, 120, 140
Elitizm oranı	0, %1, %2, %5, %10
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,50 , 0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet), En iyilerle(%10), Hepsi bir arada
Koruma oranı	Rastlantısal koruma, %50 iyiden, %90 iyiden, %100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Uniform, Tek noktalı, İki noktalı
Uniform	Rastlantısal sayıya göre her bit, çocuk1 veya çocuk2 'ye
Tek noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan
İki noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen iki noktadan
Çaprazlama oranı	%30, %50, %70, %90
Mutasyon oranı	0, %1, %2, %3, %5, %7, %10
Dinamik Mutasyon Oranı Kullanımı	Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü oranı (<%1) Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü nesil sayısı (50)
Dinamik Mutasyon Oranları	Minimum mutasyon oranı (%1) Maksimum mutasyon oranı (%11)
Nesil Yenileme	Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü oranı (<%1) Uygunluk oranı tekdüzelik kontrolü nesil sayısı (50)
Nesil Yenileme oranı	%10, %30, %50

Tüm denemelerde en iyi sonuçların bir arada gösterilerek denemelerin karşılaştırıldığı grafiklerin yanında, bütün denemelerin ayrıca tek bir grafik altında birlikte gösterilmesi sağlanmıştır.

Tüm denemelerde, her deneme kendi grubu içinde uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları tablolarda verilmiştir. Böylece sadece en düşük değeri veren grubun özelliğinin genetik parametre olarak seçilmesi yerine, aynı grupta denenen tüm alternatiflerin birbirlerine göre değişim oranlarının da dikkate alınması sağlanmıştır.

Programın denemesi sırasında farklı özellikli şebekelerle çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir. Seçilen ilk örnek, "6.1.5" konusunda yön optimizasyonunda kullanılan kanalizasyon şebekesidir. Yön optimizasyonu sonucunda elde edilen veriler, hidrolik

optimizasyon programına girdi olarak alınarak, proje çözümünün tamamlanması sağlanmıştır. Seçilen ikinci örnek ise bir yağmur suyu projesine aittir. Bu denemede yağmur suyu projesinin seçilme nedeni, yağmur suyu hesaplarında daha çeşitli çap değerlerinin kullanılıyor olmasıdır. “6.2.1” konusundaki denemede olduğu gibi kanalizasyon projelerinde hatlar arası çap değişimine daha az karşılaşıldığından, hidrolik optimizasyon programının sonuçlarının tam olarak anlaşılabilmesi için ikinci deneme yağmur suyu projesi olarak alınmıştır.

6.2.1 Örnek Şebeke 5

“6.1.5” konusunda yön optimizasyonu için kullanılan 17.571 m. uzunluğunda 305 nokta ve 389 hattan oluşan örnek şebeke 5 için çeşitli denemeler sonucunda, en uygun yön seçimi yapılmıştır. Şekil 6.16 ‘da şebeke tasarım sonucu bulunmaktadır. Belirlenen bu yön değerleri ile hatlar, hidrolik optimizasyonuna girdi verisi olarak alınmıştır. Şebekeye ait hat bilgileri Çizelge 9.1 ‘de verilmişti. Bu tabloda, şebekeye ait hatları oluşturan köşe noktalarının numaraları, köşe noktalarının kotları, hatların ara mesafeleri ve her hattın kendi debi değerleri (m^3/s) cinsinden bu tablodan gösterilmiştir. Hatlardan geçen toplam debi değerleri ise yön optimizasyonu sonucunda belli olmuştur.

Çizelge 6.26 Hidrolik optimizasyon için kullanılan genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%10
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%1 (Minimum), %11 (Maksimum) (Uygunluk değeri değişiminin %1 ‘in altında 50 nesil boyunca üst üste devam etmesi durumunda mutasyon oranı %1 artar)

Şebekeye ait optimizasyonsuz proje incelendiğinde, çap açısından minimum özellikler taşıdığı görülmektedir. Çap değerinin fazla değişmeyecek olması nedeniyle alternatifli genetik algoritma parametreleri araştırmak yerine, doktora çalışması kapsamında denenmiş olan tüm

hidrolik optimizasyon genetik algoritma parametreleri fikir edinmek amacıyla gözden geçirilmiştir. Bu bilgiler ışığında genetik algoritma parametrelerine karar verilerek hidrolik optimizasyon programı çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar gerçek proje verileri ile karşılaştırılmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.26 'da verilmiştir.

Projede kullanılabilecek çap değerleri ve bu çaplara ait izin verilen minimum ve maksimum eğim değerleri Çizelge 6.27 'de verilmektedir. Optimizasyonla çap belirlenmesi sırasında, sadece bu listede yer alan çap değerleri kullanılabilir. Eğim belirlenirken, seçilen çap değerine ait minimum ve maksimum eğim değeri arasında bir eğim değeri belirlenebilir.

Çizelge 6.27 Örnek şebeke - 5 'e ait kullanılabilecek çap bilgileri ve eğimleri

Çap (mm)	Minimum Eğim (1/)	Maksimum Eğim (1/)
φ200	7	300
φ300	7	500

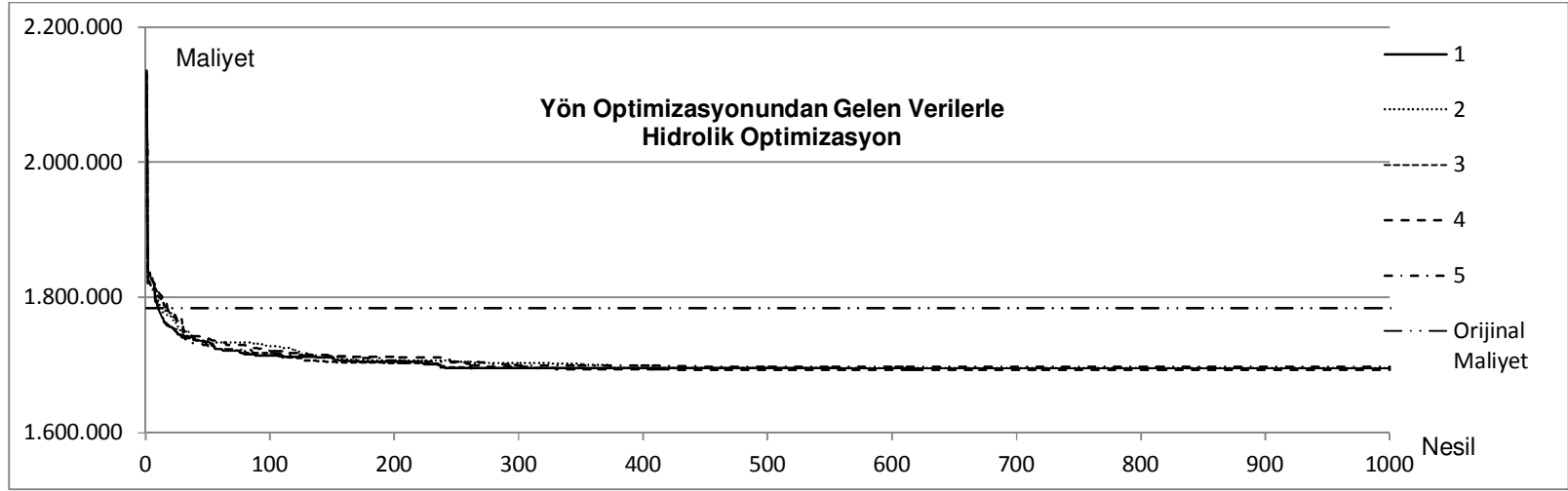
Projenin klasik programlar kullanılarak gerçekleştirilmesi sonucunda, optimizasyonsuz maliyet değerinin 1.784.600,- TL olarak bulunduğu görülmüştür. Hidrolik hesap optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, proje optimizasyonsuz maliyetinin altına inildiği yani daha iyi sonuçlar bulunabildiği görülmektedir.

Elde edilen tüm sonuçlar, optimizasyonsuz maliyet değeri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.17 'de verilmektedir. Şekil 6.18 ve 6.19 'da bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, hesaplamaların sonunda tüm sonuçların birbirlerine yakın değerler ürettiği ve optimizasyonsuz maliyet değerinden çok daha az olduğu görülmektedir.

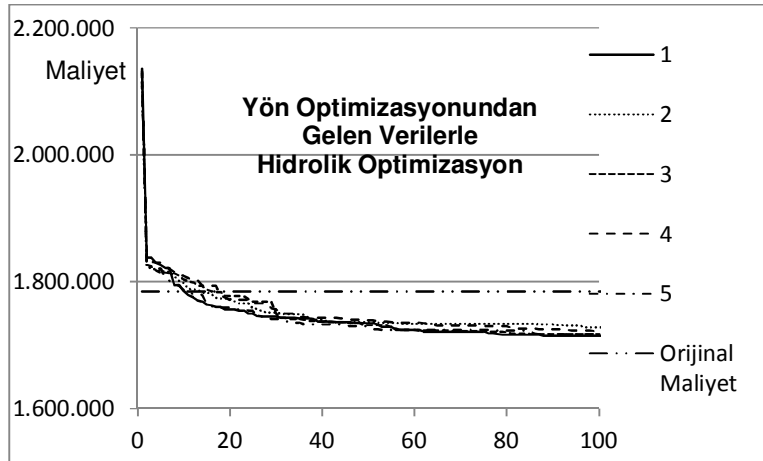
Denenen 5 alternatiften en uygun değere ait sonuçlar, dinamik mutasyon noktaları ile birlikte optimizasyonsuz maliyet değeri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.20 'den 6.22 'ye kadar verilmektedir.

Çizelge 6.28 Elde edilen maliyetlerle optimizasyonsuz maliyetlerin karşılaştırması

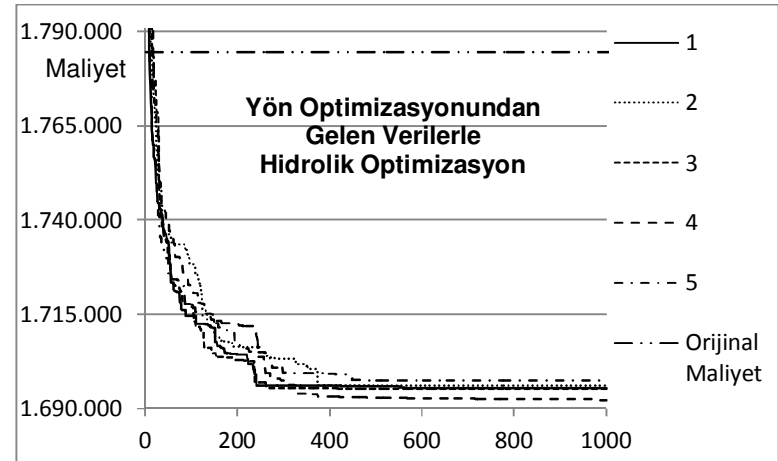
Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı	Optimizasyonsuz Maliyet	% Değişim Oranı
1	1.695.349,51	1.692.224,71	0,18%	1.784.600,00	-5,26%
2	1.695.989,03		0,22%		-5,22%
3	1.695.158,00		0,17%		-5,28%
4	1.692.224,71		0,00%		-5,46%
5	1.697.436,97		0,31%		-5,13%



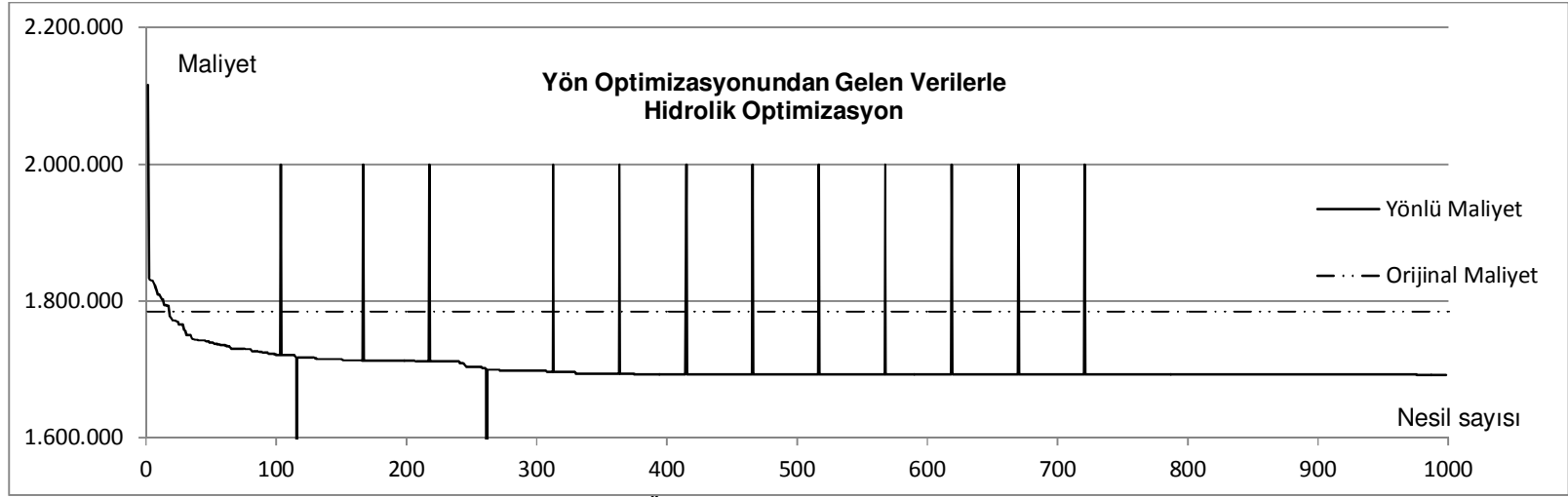
Şekil 6.17 Örnek şebeke 5 en uygun maliyetler grafiği



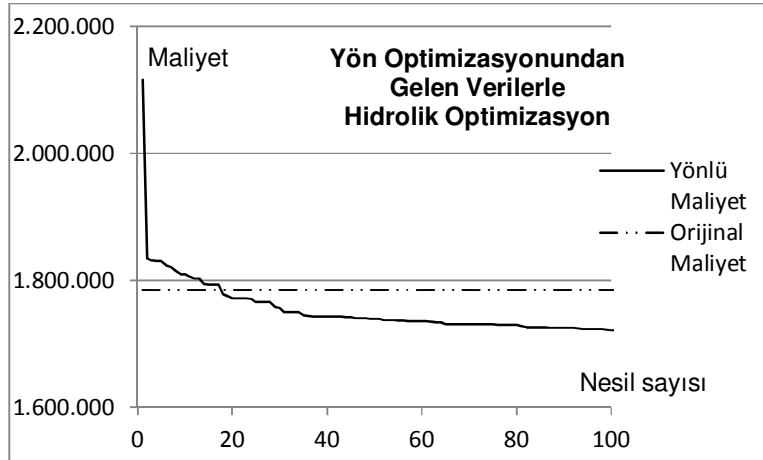
Şekil 6.18 Örnek şebeke 5 en uygun maliyetler grafiği detay-1



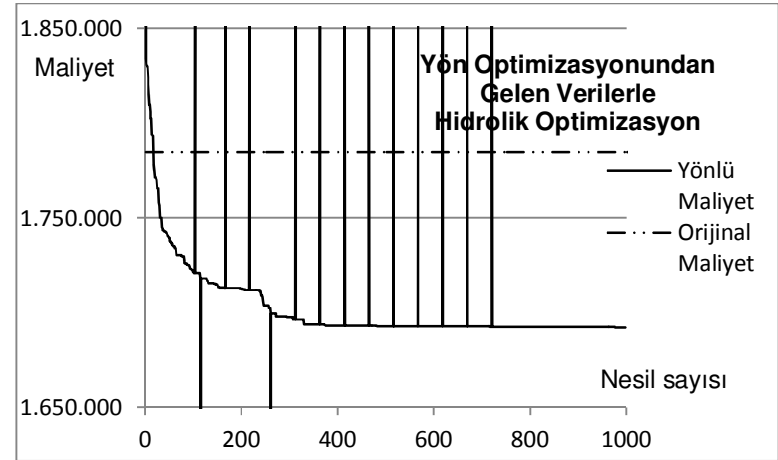
Şekil 6.19 Örnek şebeke 5 en uygun maliyetler grafiği detay-2



Şekil 6.20 Örnek şebeke 5 en uygun değer grafiği



Şekil 6.21 Örnek şebeke 5 en uygun değer grafiği detay-1



Şekil 6.22 Örnek şebeke 5 en uygun değer grafiği detay-2

Elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmak istenmiştir. Denenen her birey sayısı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri kendi grubunun en iyisi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.28 'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde 5 deneme sonucunda da birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Elde edilen maliyet değerlerinin optimizasyonsuz maliyet değeri ile karşılaştırılması sonucunda ise, %5 – 5.5 arasında daha uygun değere sahip oldukları görülmektedir.

Yön optimizasyonu ile belirlenen yönlerin hidrolik hesap optimizasyonuna veri olarak verilmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, optimizasyonsuz projede yaklaşık 33.000 m³ kazı miktarı olduğu ve optimizasyon sonucunda elde edilen projede yaklaşık 208 m³ daha az kazı çıktığı görülmektedir. Çaplar incelendiğinde de optimizasyonsuz projede ϕ 300 'lük çap çıkan bazı hatlarda ϕ 200 'lük çapın yeterli geldiği anlaşılmıştır.

Yön optimizasyonu ile belirlenen yönlerin hidrolik hesap optimizasyonuna veri olarak verilmesi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, proje optimizasyonsuz maliyetinin yaklaşık %5 altına inildiği yani daha iyi sonuçlar bulunabildiği görülmektedir. Çap değişiminin çok az olduğu bir kanalizasyon projesinde bile bu kadar fark elde edilmesi, doktora tezi kapsamında üzerinde çalışılan algoritmanın ve hazırlanan programın amacına ulaştığını göstermektedir.

6.2.2 Örnek Şebeke 6

Hidrolik optimizasyonda çap ve eğim değişimin etkisinin daha iyi görülebilmesi amacıyla başka bir şebeke üzerinde program denenmiştir. Bu amaçla Kıbrıs 'ta bir beldeye ait yaklaşık 15.318 m. uzunluğunda 193 nokta ve 192 hattın oluşan gerçek bir ayırık sistem yağmur suyu projesinin şebekesi dikkate alınmıştır. Şebekenin çizimi Şekil 5.3 'te gösterilmiştir. Yağmur suyu şebekelerinin yapıları gereği, çap değişimleri daha hızlı ve çok miktarda olmaktadır. Bu şebekenin yapısı ağaç yapısında olduğundan, yön optimizasyonu programına ihtiyaç olmadan tasarım belirlenebilmektedir. Bu nedenle sadece hidrolik optimizasyon hesapları verilecektir.

Şebekeye ait hat bilgileri Çizelge 9.2 'de verilmektedir. Şebekeye ait hatları oluşturan köşe noktalarının numaraları, köşe noktalarının kotları, hatların ara mesafeleri ve her hattın toplam debi değerleri (m³/s) cinsinden bu tablodan gösterilmiştir.

Projede kullanılabilecek çap değerleri ve bu çaplara ait izin verilen minimum ve maksimum eğim değerleri Çizelge 6.29 'da verilmektedir. Optimizasyonla çap belirlenmesi sırasında, sadece bu listede yer alan çap değerleri kullanılabilir. Eğim belirlenirken, seçilen çap değerine ait minimum ve maksimum eğim değeri arasında bir eğim değeri belirlenebilir.

Çizelge 6.29 Örnek şebeke 6 'ya ait kullanılabilir çap bilgileri ve eğimleri

Çap (mm)	Minimum Eğim (1/)	Maksimum Eğim (1/)
φ500	15	500
φ600	15	500
φ700	50	1000
φ800	50	1000
φ1000	75	3000
φ1200	75	3000
φ1400	75	3000
φ1600	75	3000
φ1800	75	3000
φ2000	75	3000
φ2200	75	3000
φ2400	75	3000
φ2600	75	3000
φ2800	75	3000

Bu şebeke ile ilgili hidrolik optimizasyon için ilk etapta bazı kabuller yapılmış ve bu kabullere göre hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamaların sonucunda kesinleşen parametrelere göre ikinci grup deneme yapılmıştır. Her iki denemelere ait sonuçlar, ilgili konular altında sadece tablolar ve seçilen parametre değerinin grafiği olarak verilmiştir. Diğer parametre değerlerine ait grafikler 9. Ekler başlığı altında sunulmuştur.

Projenin klasik programlar kullanılarak gerçekleştirilmesi sonucunda, optimizasyonsuz maliyet değeri 5.827.500,- TL olarak bulunduğu görülmüştür. Hidrolik hesap optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, proje optimizasyonsuz maliyetinin altına inildiği yani daha iyi sonuçlar bulunabildiği görülmektedir.

6.2.2.1 Birey Sayısı Denemesi - 1

Bu bölümde hidrolik optimizasyonda genetik algoritma kullanımında birey sayısının önemi araştırılmıştır. Bu amaçla 60, 80, 100, 120 ve 140 adet nesil için beşer deneme yapılmış ve sonuçta en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.30 'da verilmiştir.

Birey sayısı 60, 80, 100, 120 ve 140 değerleri için sonuçlar Şekil 9.32 'den 9.46 'ya kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 6.30 Birey sayısı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	60, 80, 100, 120, 140
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

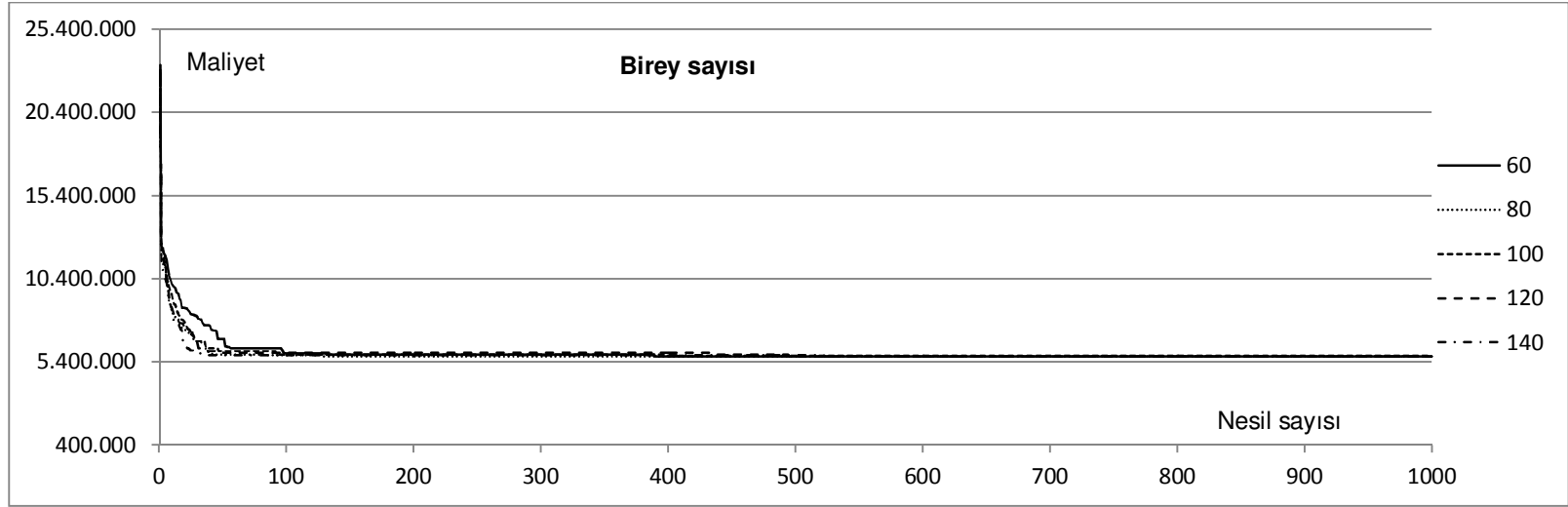
Tüm sonuçlar arasında en uygun maliyetli değer nesil sayısının 140 olması durumunda elde edildiği görülmektedir. Birey sayısı 100 'den büyük olan alternatifler incelendiğinde, uygunluk değerlerinin uzun süre aynı seyir izlemesine rağmen, nesil sayısı ilerlediğinde ve 400 'e geldiğinde keskin düşüş gösterdiği görülmektedir. Birey sayısı 80 dışındaki alternatiflerde, denemelerde elde edilen sonuçlar ve minimum değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Denenen her birey sayısının uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.23 oluşturulmuştur. Şekil 6.24 ve 6.25 'te bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, hesaplamaların sonunda tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu ancak sonuca ulaşma sırasında farklı eğilimlere sahip oldukları anlaşılmaktadır. Birey sayısının 80 olması durumunda ise, en uygun değere en az hesaplama ile yaklaşıldığı görülmektedir.

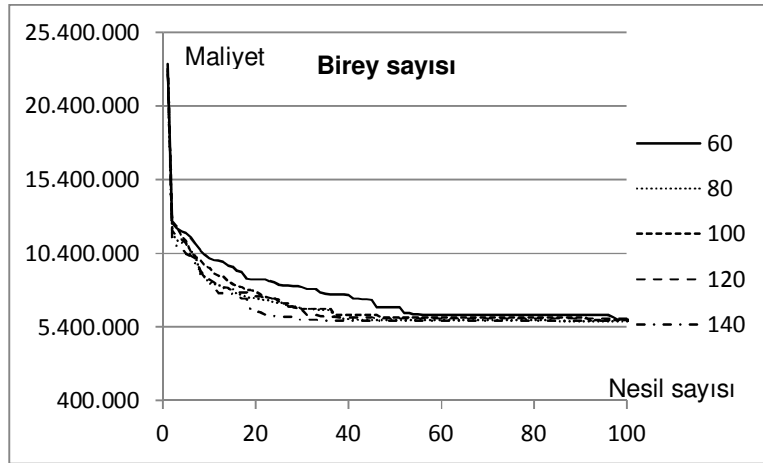
Kontrol edilen tüm birey sayısı alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmek amacıyla Şekil 9.47 'den 9.49 'a kadar oluşturulmuştur.

Birey sayısı denemelerinde elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmak istenmiştir. Denenen her birey sayısı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri kendi grubunun en iyisi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.31 'de verilmiştir.

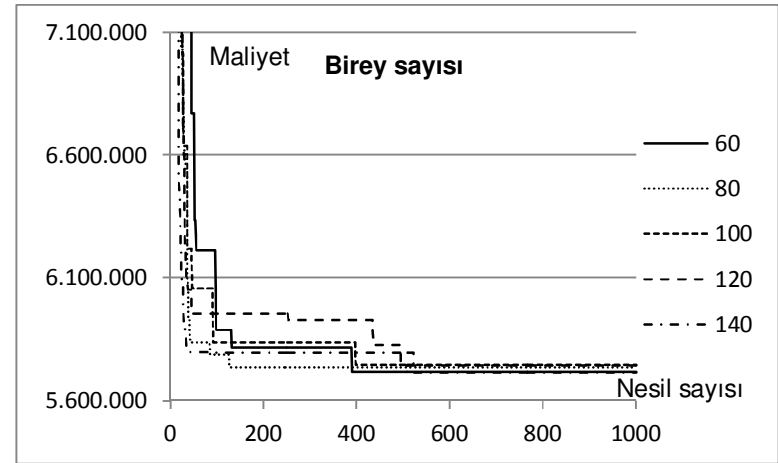
Bu çizelge incelendiğinde, en uygun sonucun birey sayısı 140 olan alternatifte elde edildiği görülmüştür. Ancak her bir alternatif için yapılan beşer deneme incelenmiş, beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren birey sayısının 80 olduğu görülmüştür.



Şekil 6.23 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.24 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.25 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.31 Her birey sayısı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Birey sayısı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
60	1	5.817.841,64	5.715.252,27	1,76%
	2	5.905.256,07		3,22%
	3	5.899.770,77		3,13%
	4	5.775.761,08		1,05%
	5	5.715.252,27		0,00%
80	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%
100	1	5.892.072,69	5.746.707,61	2,47%
	2	5.790.808,00		0,76%
	3	5.746.707,61		0,00%
	4	5.780.321,39		0,58%
	5	5.893.120,87		2,48%
120	1	5.766.630,94	5.743.155,19	0,41%
	2	5.743.155,19		0,00%
	3	5.786.709,23		0,75%
	4	5.834.151,49		1,56%
	5	5.838.925,14		1,64%
140	1	5.714.631,14	5.714.631,14	0,00%
	2	5.880.322,89		2,82%
	3	5.848.106,19		2,28%
	4	5.834.714,73		2,06%
	5	5.762.849,76		0,84%

6.2.2.2 Elitizm Oranı Denemesi - 1

Elitizm parametre kontrolünde 0, %1, %3, %5 ve %10 oranları denenmiştir. Her elitizm değeri için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.32 'de verilmiştir.

Çizelge 6.32 Elitizm oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	0, %1, %3, %5, %10
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

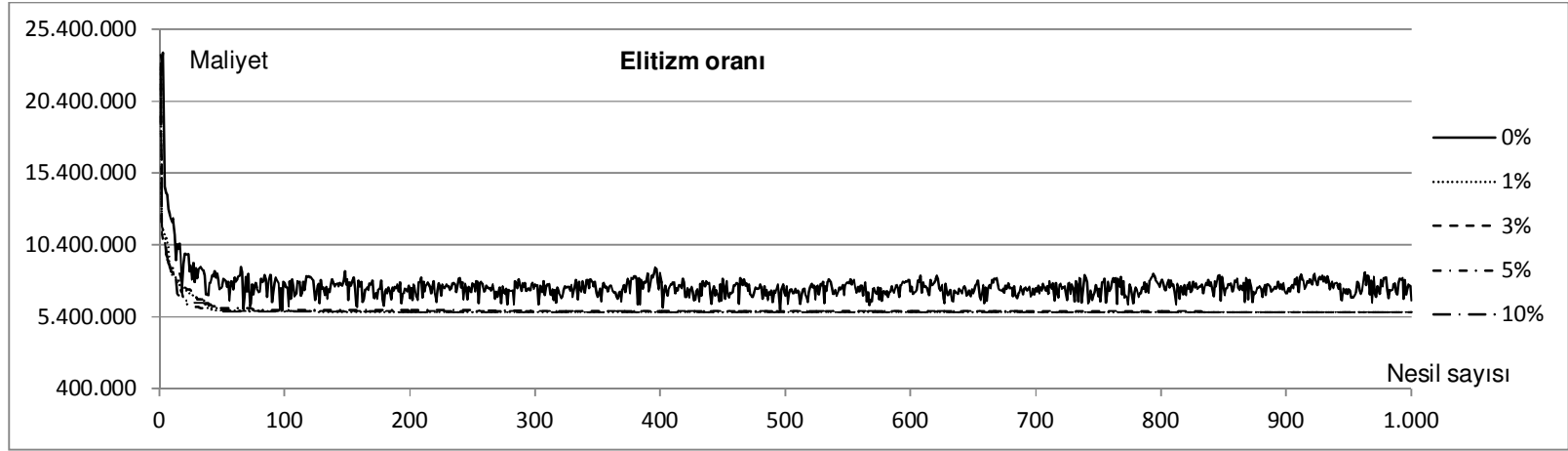
Beş ayrı elitizm oranı için sonuçlar Şekiller 9.50 'den 9.64 'e kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Elitizm oranı %0 olarak alındığında yani elitizm kullanılmadığında, uygunluk değerlerinin yeterince düşürülemediği görülmektedir. Değerin düşmemesinin yanında ayrıca, elitizm kullanılmadığında bir nesildeki en iyi alternatifin çaprazlama veya mutasyon işlemleri sırasında değişebilmesi nedeniyle korunamayabildiği anlaşılmaktadır. Şekil 9.50 'den 9.52 'ye kadar olan grafikler incelendiğinde nesiller arası uygunluk değerinin sürekli değişkenlik gösterdiği yer yer arttığı yer yer azaldığı görülmektedir. Elitizm olmadığında uygunluk değerinde düşme eğiliminin korunamadığı anlaşılmaktadır. Nesil sayısının yeri geldiğinde daha düşürülerek hesap yapılması durumunda uygun olmayan sonuçlar elde edilebileceği görülmektedir. Böylece elitizm kullanmanın önemi ortaya çıkmaktadır

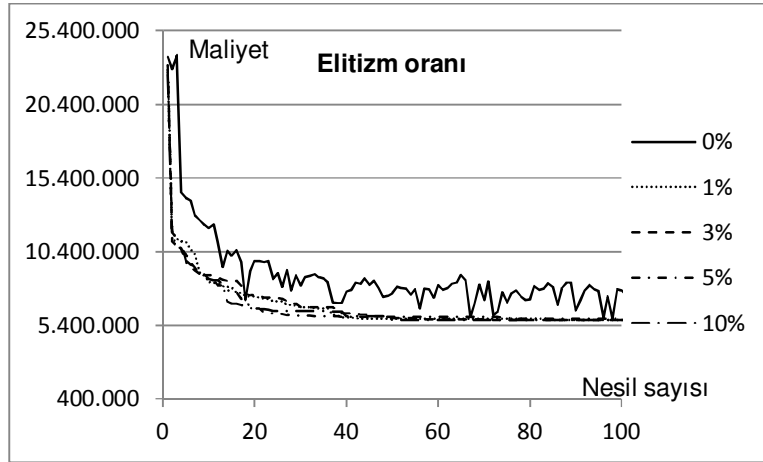
%5 ve %10 gibi yüksek oranda elitizm kullanıldığında ise, uygunluk değerleri oldukça düşük değerlere kadar inmektedir.

Her alternatifin denemelerinin kendi arasında değişimleri grafikler üzerinde incelendiğinde, %1 elitizm oranında en uygun sonucun daha erken nesil sayısında elde edildiği %5 elitizm oranında ise, uygun değerlerin yüksek nesil sayılarında anca elde edilebildiği görülmektedir.

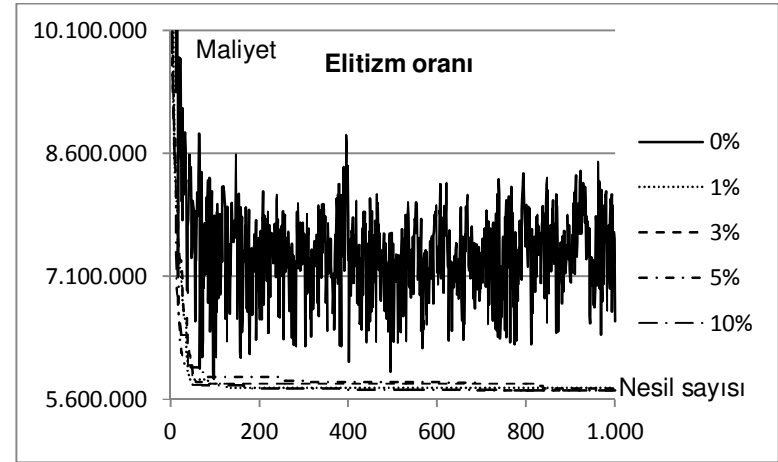
Denenen her elitizm oranının uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.26 oluşturulmuştur. Şekil 6.27 ve 6.28 'de bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 6.26 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.27 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.28 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2

Kontrol edilen tüm elitizm oranları boyutu alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmesi amacıyla Şekil 9.65 'ten 9.67 'e kadar oluşturulmuştur.

Denenen her elitizm oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.33 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, en düşük uygunluk değerinin yüksek elitizm oranları uygulandığında elde edildiği görülmektedir. Özellikle %10 elitizm kullanıldığında tüm denemeler arasında en düşük değer elde edilmiştir. Her alternatifin denemeleri arasında sonuçlarının kendi aralarında kıyaslanmasına bakıldığında, %1 ve %5 elitizm oranlarının daha uygun olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.33 Her elitizm oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Elitizm oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
0%	1	7.031.398,55	6.550.816,24	6,83%
	2	7.552.269,53		13,26%
	3	6.550.816,24		0,00%
	4	7.228.280,78		9,37%
	5	7.391.167,16		11,37%
1%	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%
3%	1	5.781.174,99	5.727.205,21	0,93%
	2	5.727.205,21		0,00%
	3	5.776.579,35		0,85%
	4	5.749.541,61		0,39%
	5	5.767.142,21		0,69%
5%	1	5.762.440,26	5.710.030,08	0,91%
	2	5.740.219,66		0,53%
	3	5.734.309,42		0,42%
	4	5.710.030,08		0,00%
	5	5.741.326,57		0,55%
10%	1	5.706.568,98	5.703.904,28	0,05%
	2	5.704.744,86		0,01%
	3	5.703.904,28		0,00%
	4	5.810.138,61		1,83%
	5	5.758.757,56		0,95%

Her ne kadar Çizelge 6.33 'te % değişim oranları cinsinden %1 ve %5 benzer sonuçları vermiş olsalar da, Şekil 9.53 ve 9.55 arasındaki grafiklerle Şekil 9.59 ve 9.61 arasındaki grafikler karşılaştırıldığında %1 elitizm oranında en uygun sonucun daha erken nesil sayısında elde edildiği görülmektedir. %5 elitizm oranında ise, uygun değerlerin yüksek nesil sayılarında anca elde edilebildiği anlaşılmaktadır.

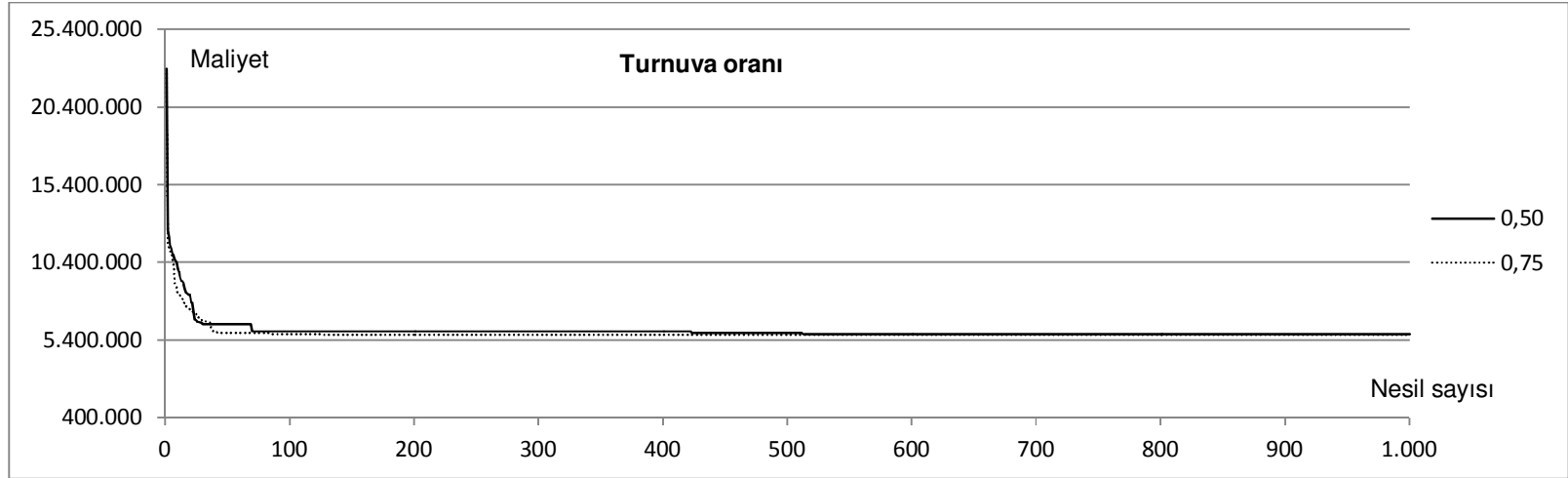
Programla en uygun maliyetli sonucun elde edilmesinin yanında, farklı denemelerde de birbirine yakın sonuçlar elde edilmiş olması, uygun maliyetin en erken nesil sayısında elde edilmesi gibi kriterlerde dikkate alınmıştır. Elitizm oranları sonuçları incelendiğinde, yağmur suyu ve kanalizasyon şebeke hesaplarının yapısı gereği iyi bireylerin korunmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Ancak aynı alternatife ait farklı denemelerde minimum sonuca göre değişim oranının yüksek olması, bazı durumlarda yerel optimum çözümlere takılma konusunu akıllara getirmektedir. Bu da kullanılan diğer genetik algoritma parametrelerin çözüme etkisi olarak gösterilmiştir.

6.2.2.3 Turnuva Oranı Denemesi - 1

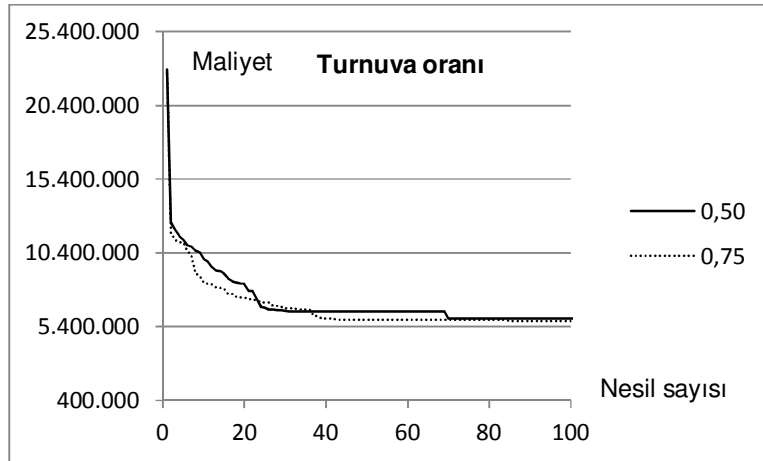
Ebeveyn seçiminde kullanılan turnuva yönteminde turnuva oranı için iki farklı değerde deneme yapılmıştır : %50 ve %75. Turnuva sayısı her iki denemede de 2 'dir. Her iki turnuva oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.34 'te verilmiştir.

Çizelge 6.34 Turnuva oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

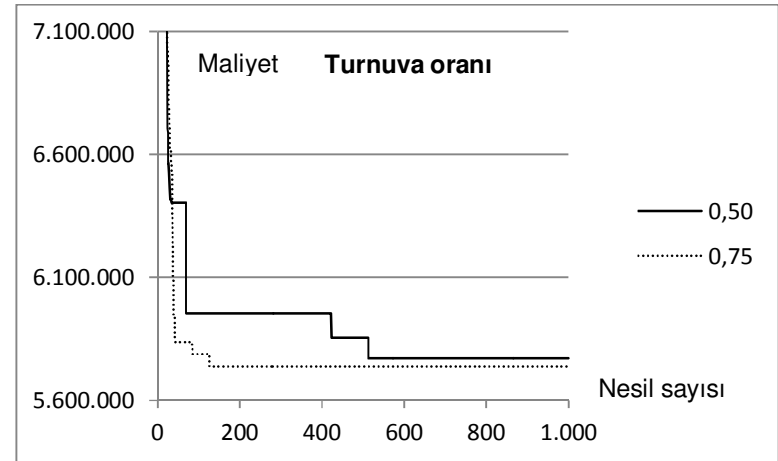
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,5 , 0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1



Şekil 6.29 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.30 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.31 Her iki turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2

İki farklı turnuva oranı değeri için sonuçlar Şekil 9.68 – 9.73 arasında verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her iki turnuva oranı için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.29 oluşturulmuştur. Şekil 6.30 ve 6.31 'de bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Ancak turnuva oranının 0,75 olması durumunda sonuca daha hızlı ulaştığı anlaşılmıştır.

Kontrol edilen turnuva oranı alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenerek Şekil 9.74 'ten 9.76 'ya kadar oluşturulmuştur.

Denenen her turnuva oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.35 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, tüm denemeler arasında en uygun maliyetli değer ve beş denemede birbirine en yakın sonuçların turnuva oranı 0,75 olduğunda gerçekleştiği görülmüştür.

Çizelge 6.35 Her turnuva oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Turnuva Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
0,50	1	5.804.993,24	5.769.427,31	0,61%
	2	5.915.164,39		2,46%
	3	5.819.372,15		0,86%
	4	5.945.123,16		2,96%
	5	5.769.427,31		0,00%
0,75	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%

6.2.2.4 İlave Seçim Algoritmaları Denemesi - 1

Turnuva yöntemi ile ebeveyn seçim işlemine ilave olarak, farklı seçim algoritmalarının kullanılmasının en uygun değer için daha hızlı bir şekilde elde edilmesine katkıları araştırılmak istenmiştir. Bu amaçla turnuva yöntemi ile birlikte kullanılmak üzere çeşitli özel seçim algoritmaları denenmiştir. Bu amaçla 4 deneme yapılmıştır.

1. İlk deneme ebeveyn seçiminde sadece turnuva yöntemi kullanılmış ve ilave seçim algoritmaları kullanılmamıştır.

2. Turnuva yöntemine ilave olarak “*en düşük değerle seçim*” olarak adlandırılan bir seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu özel seçim işlemi ile, tüm bireylerde en düşük maliyete sahip hatlar seçilerek yeni bir birey oluşturulmuştur. Bu algoritma ile sonuçta tek bir birey meydana gelmektedir. Bu bireyin bir sonraki nesle, çaprazlama veya mutasyon işlemleri ile değişikliğe uğramasına izin vermeden doğrudan aktarılması sağlanmıştır.
3. Turnuva yöntemine ilave olarak “*en iyilerle (%10)*” olarak adlandırılan bir seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu seçim işleminde en uygun değer sıralamasında toplam birey sayısının %10 ‘u kadar sayıda ilk sırada olan bireylerin, kendi aralarında çaprazlanması sağlanmıştır. Çaprazlamaya gönderilecek diğer bireyler turnuva yöntemi ile seçilmiştir.
4. Son olarak, hem “*en düşük değerle seçim*” algoritması hem de “*en iyilerle (%10)*” algoritması aynı anda kullanılmıştır.

Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.36 ‘da verilmiştir.

Çizelge 6.36 İlave seçim algoritmaları için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
<i>İlave seçim yöntemi</i>	<i>Hiç yok, En düşük değerle (1 adet), En iyilerle(%10), Hepsi bir arada</i>
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

Özel çaprazlama yöntemleri ile ilgili yapılan dört alternatifin sonuçları Şekil 9.77 – 9.88 arasında verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Tüm alternatifler arasında hiçbir ilave seçim algoritması kullanılmaması durumunda en kötü sonucun elde edildiği görülmektedir. Bu amaçla ilave seçim algoritmasının gerekliliği bir kez daha ortaya konmaktadır.

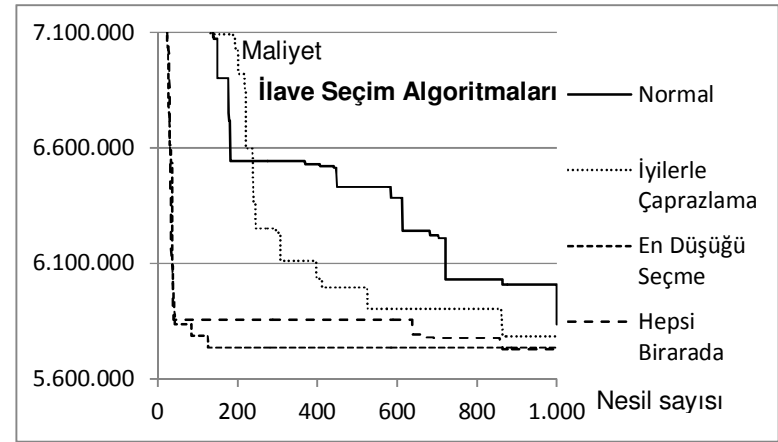
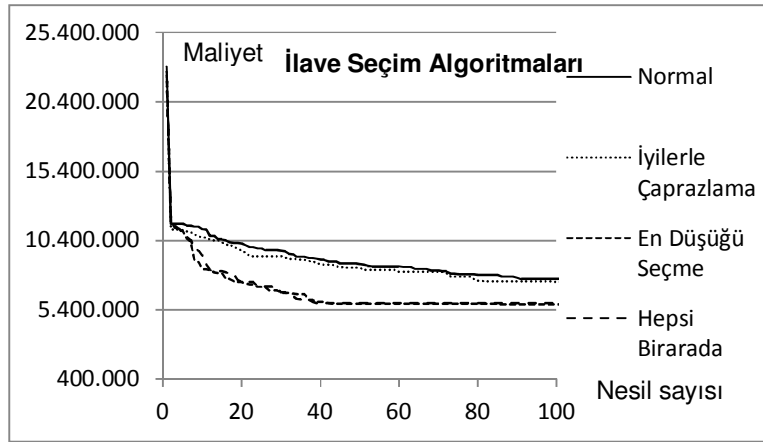
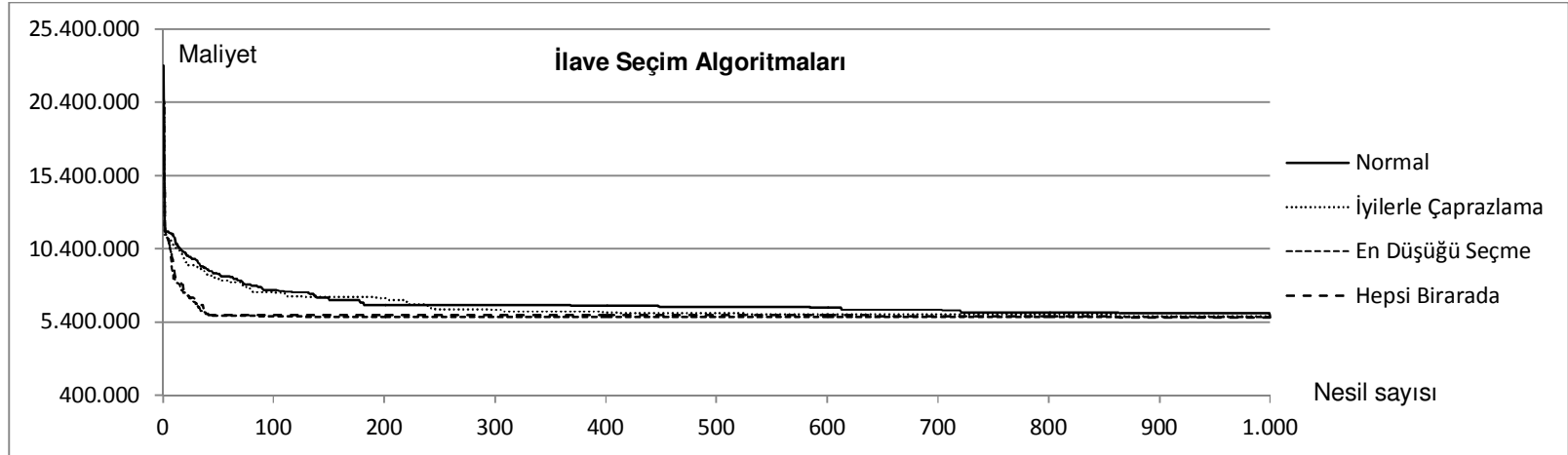
En düşük değer seçimi ile algoritması kullanıldığında elde edilen sonuçlar incelenmiş ve her nesilde oluşturulan bu özel bireyin, her zaman bir sonraki nesilde yine düşük maliyetli

bireyler arasında yer aldığı görülmüştür. Ayrıca bu algoritmanın kullanılması durumunda 4 alternatif arasında en iyi sonuç elde edilmektedir.

En iyilerle (%10) algoritması kullanmak, hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu ile kıyaslandığında bir miktar daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak *en düşük değer seçimi* algoritması ile karşılaştırıldığında daha kötü olduğu anlaşılmaktadır. Her ne kadar bu algoritma ile en iyi bireylerin seçilmesinin sağlanıp, ardından kendi aralarında çaprazlama işlemine tabii tutuluyor olmaları, yeni üretilen neslinde iyi olacağını sağlamadığı anlaşılmıştır. Elbette bu sonuçlarda, koruma oranının *%100 iyiden* olarak seçilmiş olmasının etkisi de reddedilemez.

Çizelge 6.37 Her ilave seçim algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri

İlave Seçim Algoritması	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Sade	1	5.862.613,52	5.837.633,06	0,43%
	2	5.971.946,97		2,30%
	3	6.087.875,90		4,29%
	4	5.837.633,06		0,00%
	5	5.924.969,45		1,50%
En İyilerle (%10)	1	5.939.560,74	5.785.841,92	2,66%
	2	5.944.444,15		2,74%
	3	5.785.841,92		0,00%
	4	5.804.917,29		0,33%
	5	5.979.555,23		3,35%
En Düşük Değer	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,94%
Hepsi Bir Arada	1	5.878.158,54	5.726.568,92	2,65%
	2	5.849.225,17		2,14%
	3	5.730.294,22		0,07%
	4	5.739.391,05		0,22%
	5	5.726.568,92		0,00%



Bir alternatif olarak ta, hem *en düşük değer seçimi* ve *en iyilerle (%10)* algoritmasının bir arada kullanılması incelenmiştir. Her iki algoritmanın bir arada kullanıldığı denemelerde elde edilen sonuçlar en düşük değerle seçim algoritmasından daha iyi olsa da, bekleneneği gibi çok daha uygun sonuçlar elde edilmemiştir. Sonuçların yeterince iyileşmemesi nedeniyle, kullanılmayabileceği anlaşılmaktadır.

Denenen tüm ilave seçim algoritmaları için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.32 oluşturulmuştur. Şekil 6.33 ve 6.34 'te bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde *en düşük değer seçimi* algoritması içeren alternatiflerin en iyi ve birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Kontrol edilen ilave seçim algoritmaları ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenerek Şekil 9.89 – 9.91 oluşturulmuştur.

Denenen her ilave seçim algoritması için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.37 'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, tüm denemeler arasında en uygun maliyetli değerin ve beş denemede birbirine en yakın sonuçların iki algoritmanın da bir arada kullanıldığı durumda gerçekleştiği görülmüştür.

6.2.2.5 Koruma Yöntemi Denemesi - 1

Çizelge 6.38 Koruma oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

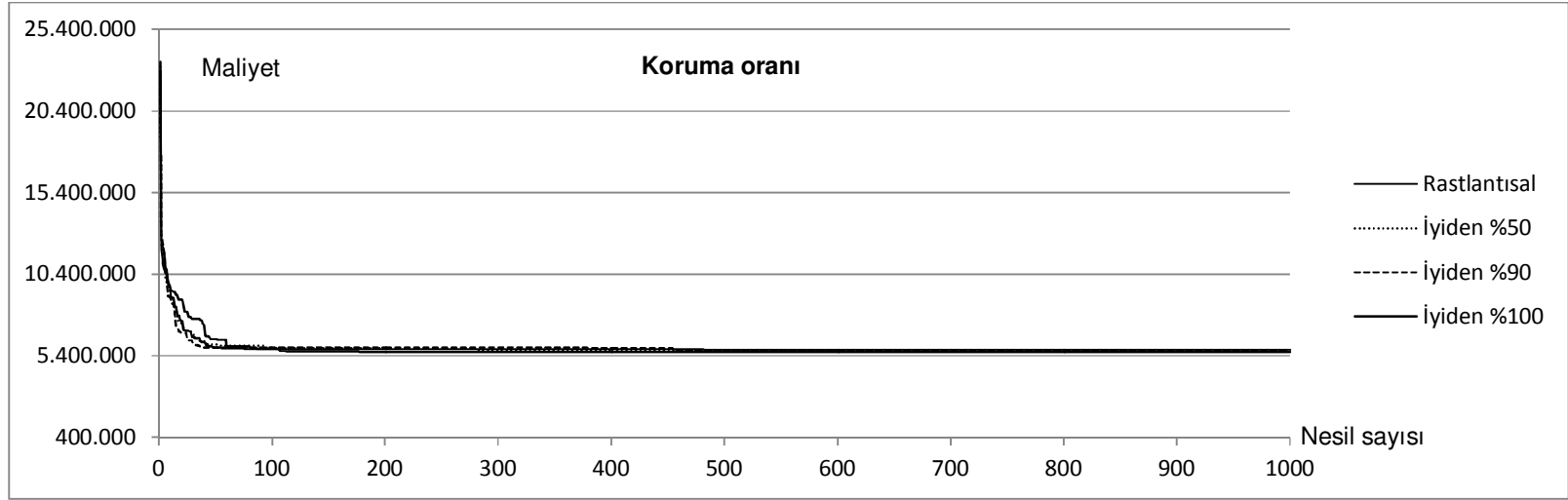
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal koruma, %50 iyiden, %90 iyiden, %100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

Bu deneme ile sadece çaprazlanacak bireylerinin seçiminin değil, aynı zamanda bir üst nesle çaprazlama yapılmadan aktarılabacak bireylerin seçimi konusu araştırılmıştır. Bu amaçla 4 deneme yapılmıştır :

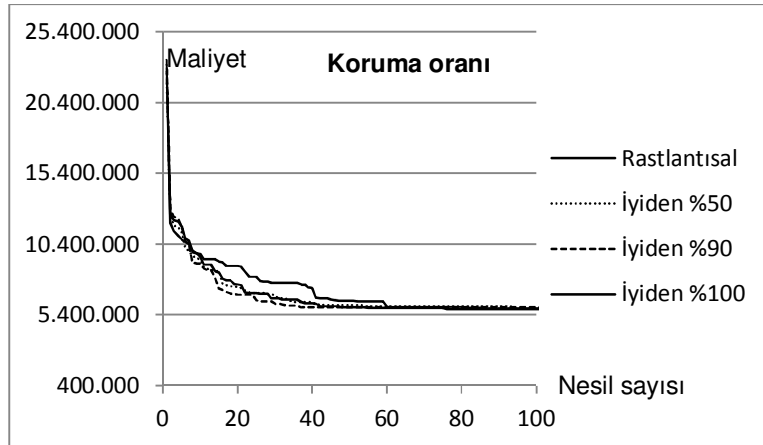
1. Nesilde korunacak bireyler *rastlantısal* olarak belirlenmiştir.
2. “%50 iyiden koruma” algoritmasında, nesilde korunacak bireylerin (n) %50 ‘si en uygundan en kötüye doğru sıralı olan uygunluk değerlerine göre ilk sıradaki n/2 adet bireyin ve ikinci yarıdaki n/2 adet bireyin seçilmesi şeklinde belirlenmiştir.
3. “%90 iyiden koruma” algoritmasında, nesilde korunacak bireylerin (n) %90 ‘ı en uygundan en kötüye doğru sıralı olan uygunluk değerlerine göre ilk sıradaki n*%90 adet bireyin ve ikinci yarıdaki n*%10 adet bireyin seçilmesi şeklinde belirlenmiştir.
4. “%100 iyiden koruma” algoritmasında, nesilde korunacak bireylerin tamamı (n) en uygundan en kötüye doğru sıralı olan uygunluk değerlerine göre ilk sıradaki n adet bireyin seçilmesi şeklinde belirlenmiştir.

Çizelge 6.39 Her koruma yöntemi için denemeler arası değişim yüzdeleri

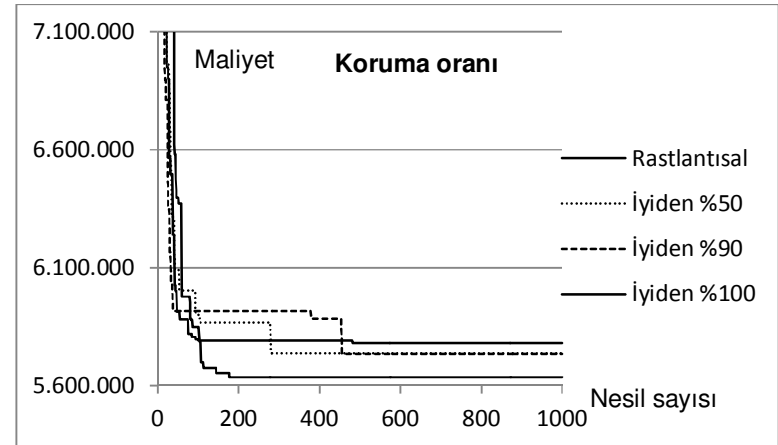
Koruma Yöntemi	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Rastlantısal	1	5.838.883,76	5.635.323,54	3,49%
	2	5.635.323,54		0,00%
	3	5.660.854,80		0,45%
	4	5.662.565,97		0,48%
	5	5.651.722,52		0,29%
İyiden %50	1	5.737.643,21	5.737.643,21	0,00%
	2	5.761.400,48		0,41%
	3	5.822.004,40		1,45%
	4	5.798.283,40		1,05%
	5	5.825.338,11		1,51%
İyiden %90	1	5.894.346,16	5.735.659,91	2,69%
	2	5.735.659,91		0,00%
	3	5.835.882,70		1,72%
	4	5.866.723,90		2,23%
	5	5.789.593,79		0,93%
İyiden %100	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%



Şekil 6.35 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.36 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.37 Koruma yöntemleri için minimum değerlerin grafiği detay-2

Her bir deneme beşer kez tekrarlanmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.38 'de verilmiştir.

Dört ayrı koruma yöntemi için sonuçlar Şekil 9.92 'den 9.103 'e kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her koruma oranı uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.35 oluşturulmuştur. Şekil 6.36 ve 6.37 'de bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde, daha geç uygun maliyeti elde etmiş olsa da, *rastlantısal koruma* yöntemi ile en uygun maliyetin elde edildiği görülmüştür.

Kontrol edilen tüm koruma yöntemleri alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenerek Şekil 9.104 – 9.106 oluşturulmuştur.

Koruma oranı denemelerinde elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmak istenmiştir. Denenen her koruma yöntemi için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.39 'da verilmiştir. Bu tabloya göre *rastlantısal koruma* yönteminin en düşük sonucu verdiği görülmektedir. *İyiden %50, %90 ve %100 koruma* algoritmalarında sonuçlar birbirlerine oldukça yakın ve hatta neredeyse aynı sonuçlar çıkmıştır. Her alternatifin, sonuçlarının birbirlerine göre değişim % 'leri incelendiğinde ise, en iyi sonucu *iyiden %100 koruma* algoritmasının verdiği görülmektedir.

6.2.2.6 Çaprazlama Algoritmaları Denemeleri – 1

Çaprazlama işlemlerinde farklı algoritmaların etkisi denenmek istenmiştir. Bu amaçla uniform, tek noktadan ve iki noktadan çaprazlama algoritmaları kullanılmıştır. Her çaprazlama yöntemi için beşer deneme yapılmış ve en düşük sonuçlar grafiğe alınmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.40 'ta verilmiştir.

Üç ayrı çaprazlama yöntemi için sonuçlar Şekil 9.107 – 9.115 arasında verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Uniform çaprazlama grafiği incelendiğinde denemelerin sonuçları arasında farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır. Bazı denemelerinde tekdüze olarak giden uygun maliyet değerinin keskin düşüşler gösterdiği görülmektedir. Uniform çaprazlama için yapılan denemelerden birinde kendi denemelerinin içinde en uygun maliyetle karşılaşmış, ancak bu değer nesil sayısı 600 'lere doğru yaklaştığında elde edilebilmiştir.

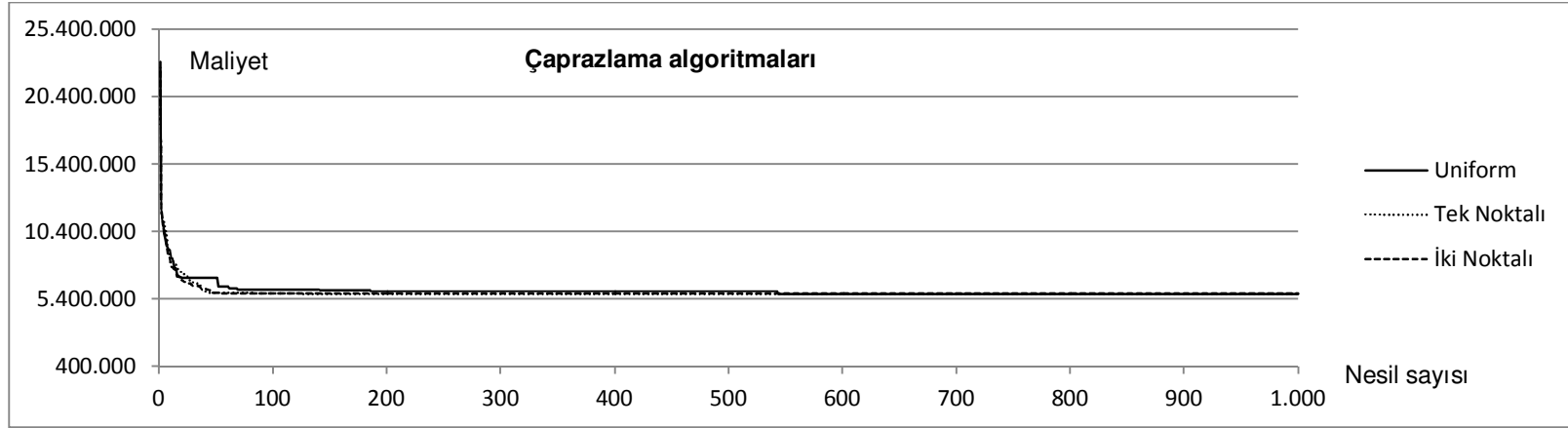
Tek noktalı çaprazlama grafiği incelendiğinde, maliyet değerlerinde hızlı bir düşme eğilimi yakaladığı görülmektedir. Bazı alternatiflerde yüksek nesil sayılarında düşüşler görülmüş olsa da, düşü miktarlarının diğer alternatiflere göre az olması bu algoritmayı tercih edilir hale getirmiştir.

Çizelge 6.40 Çaprazlama yöntemleri için denenen genetik algoritma parametreleri

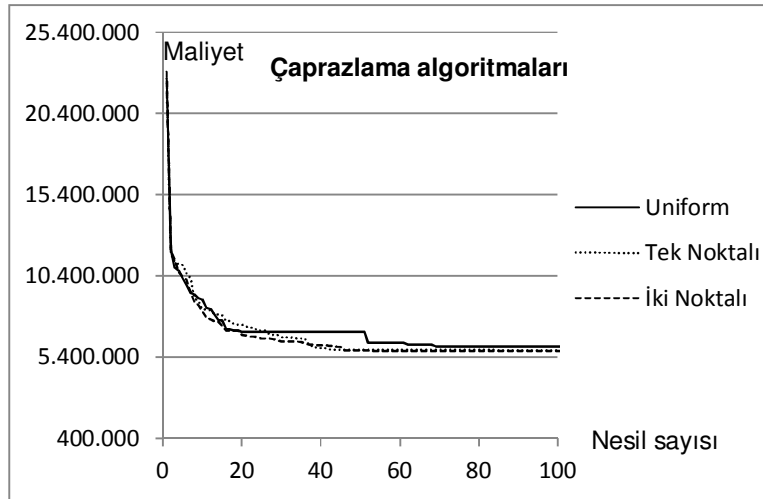
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Uniform, Tek noktalı, İki noktalı
Uniform	Rastlantısal sayıya göre her bit, çocuk1 veya çocuk2 'ye
Tek noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan
İki noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen iki noktadan
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%1

Çizelge 6.41 Her çaprazlama algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri

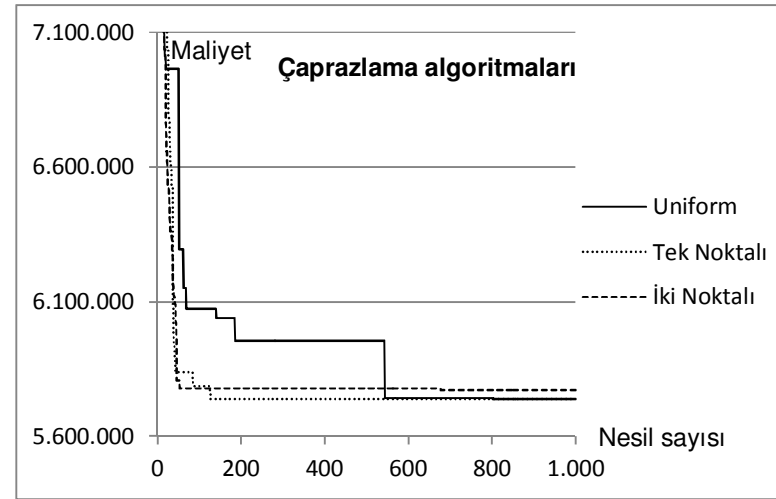
Çaprazlama Algoritması	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Uniform	1	5.738.385,76	5.738.385,76	0,00%
	2	5.887.895,59		2,54%
	3	5.800.259,39		1,07%
	4	5.939.836,21		3,39%
	5	5.822.341,22		1,44%
Tek Noktalı	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%
İki Noktalı	1	5.793.901,42	5.771.609,26	0,38%
	2	5.820.010,35		0,83%
	3	5.839.395,84		1,16%
	4	5.771.609,26		0,00%
	5	5.984.767,18		3,56%



Şekil 6.38 Her çaprazlama algoritması için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.39 Her çaprazlama algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.40 Her çaprazlama algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-2

İki noktalı çaprazlama grafiği incelendiğinde, bazı alternatiflerde yüksek nesil sayılarında büyük düşüşler olduğu görülmüştür. Ayrıca her ne kadar bir denemede en düşük maliyet yakalanmış olsa da, bir deneme de diğer denemelerle kıyaslandığında oldukça yüksek bir maliyet değerinin elde edildiği anlaşılmaktadır.

Denenen her çaprazlama algoritması uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.38 oluşturulmuştur. Şekil 6.39 ve 6.40 'da bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Kontrol edilen tüm çaprazlama algoritmaları alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenerek Şekil 9.116 'dan 9.118 'e kadar oluşturulmuştur. Denemelerde genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Denenen her çaprazlama algoritması için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.41 'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, çaprazlama algoritmaları arasında en uygun maliyeti tek noktalı çaprazlama algoritmasının, en kötü sonucu ise iki noktalı çaprazlama algoritmasının verdiği görülmektedir. Her alternatifin beşer denemesi incelendiğinde birbirine en yakın sonuçları veren çaprazlama algoritmasının yine tek noktalı çaprazlama olduğu anlaşılmaktadır.

6.2.2.7 Çaprazlama Oranları Denemeleri - 1

Çizelge 6.42 Çaprazlama oranları için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%30, %50, %70, %90
Mutasyon oranı	%1

Hesaplamalarda kullanılmak üzere, çaprazlama oranları ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. %30, %50, %70 ve %90 değerlerinde çaprazlama oranları denenmiştir. Her çaprazlama oranı

için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.42 'de verilmiştir.

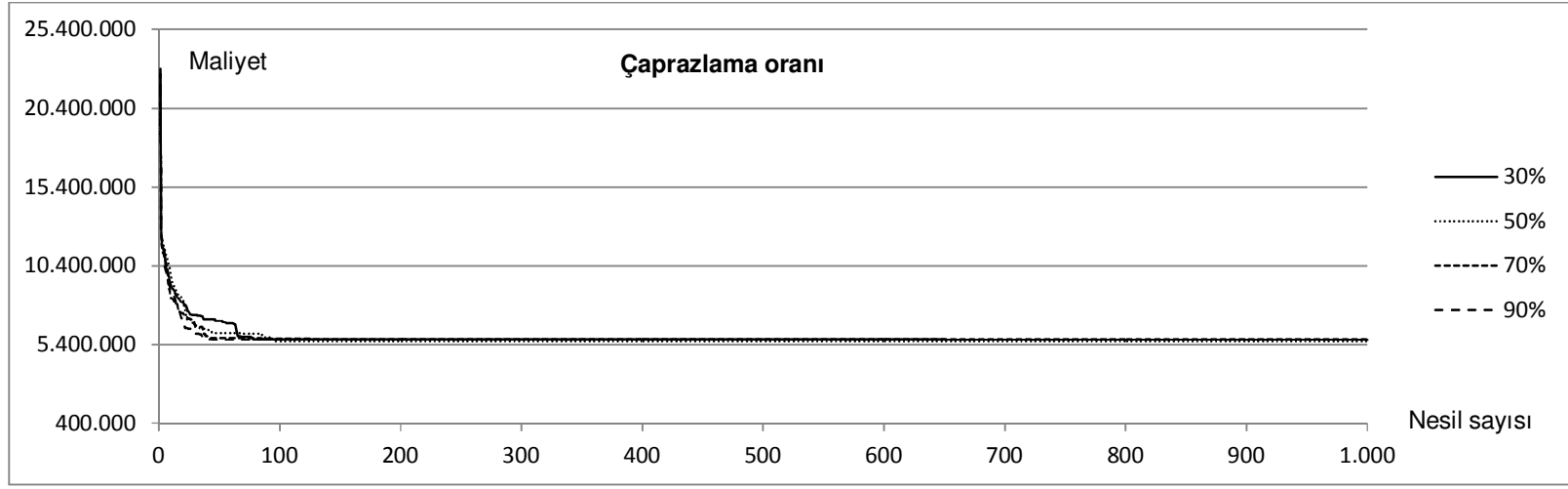
Dört ayrı çaprazlama oranı için sonuçlar Şekil 9.119 – 9.130 arasında verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her çaprazlama oranı için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.41 oluşturulmuştur. Şekil 6.42 ve 6.43 'te bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu ama en uygun maliyetin %50 çaprazlama oranı ile elde edildiği görülmüştür.

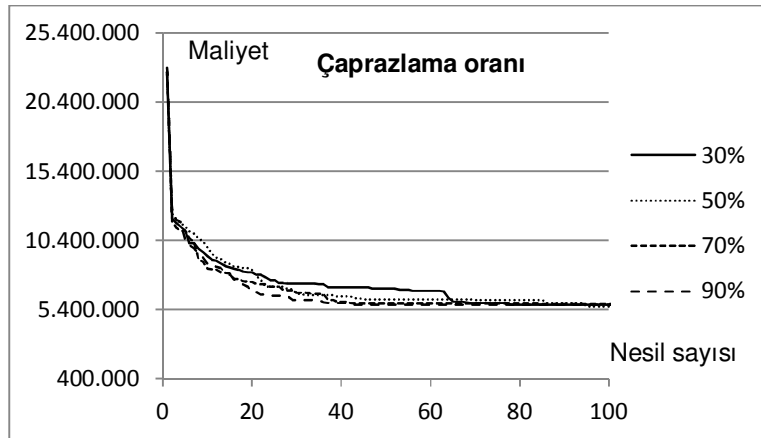
Kontrol edilen tüm çaprazlama oran alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmesi amacıyla Şekil 9.131 'den 9.133 'e kadar oluşturulmuştur. Denemelerde genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 6.43 Her çaprazlama oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

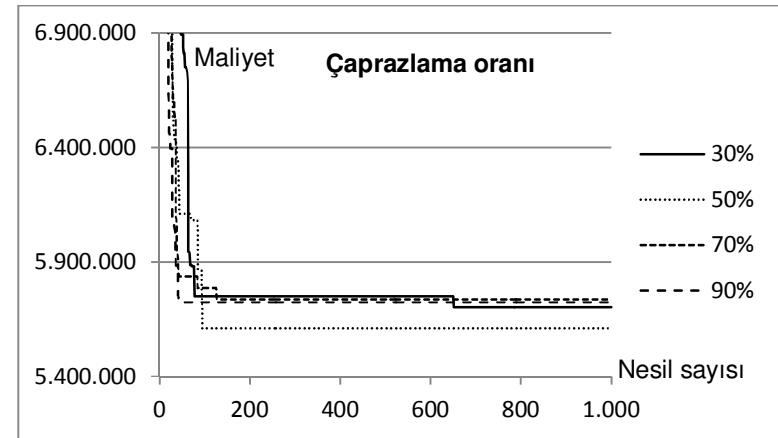
Çaprazlama Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
%30	1	5.911.982,53	5.704.253,22	3,51%
	2	5.741.260,44		0,64%
	3	5.780.375,14		1,32%
	4	5.735.172,93		0,54%
	5	5.704.253,22		0,00%
%50	1	5.612.204,01	5.612.204,01	0,00%
	2	5.816.228,96		3,51%
	3	5.879.689,07		4,55%
	4	5.858.767,12		4,21%
	5	5.831.847,12		3,77%
%70	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%
%90	1	5.811.342,32	5.723.022,01	1,52%
	2	5.787.490,09		1,11%
	3	5.839.080,12		1,99%
	4	5.723.022,01		0,00%
	5	5.780.403,87		0,99%



Şekil 6.41 Çaprazlama oranları için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.42 Çaprazlama oranları için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.43 Çaprazlama oranları için minimum değerlerin grafiği detay-2

Denenen her çaprazlama oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.43 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren çaprazlama oranının %50 olduğu görülmüştür. Aynı alternatifte denemeler arası yüzde değişim oranları açısından, en benzer sonuçlar %70 çaprazlama oranında elde edilmiştir.

6.2.2.8 Mutasyon Oranı Denemesi - 1

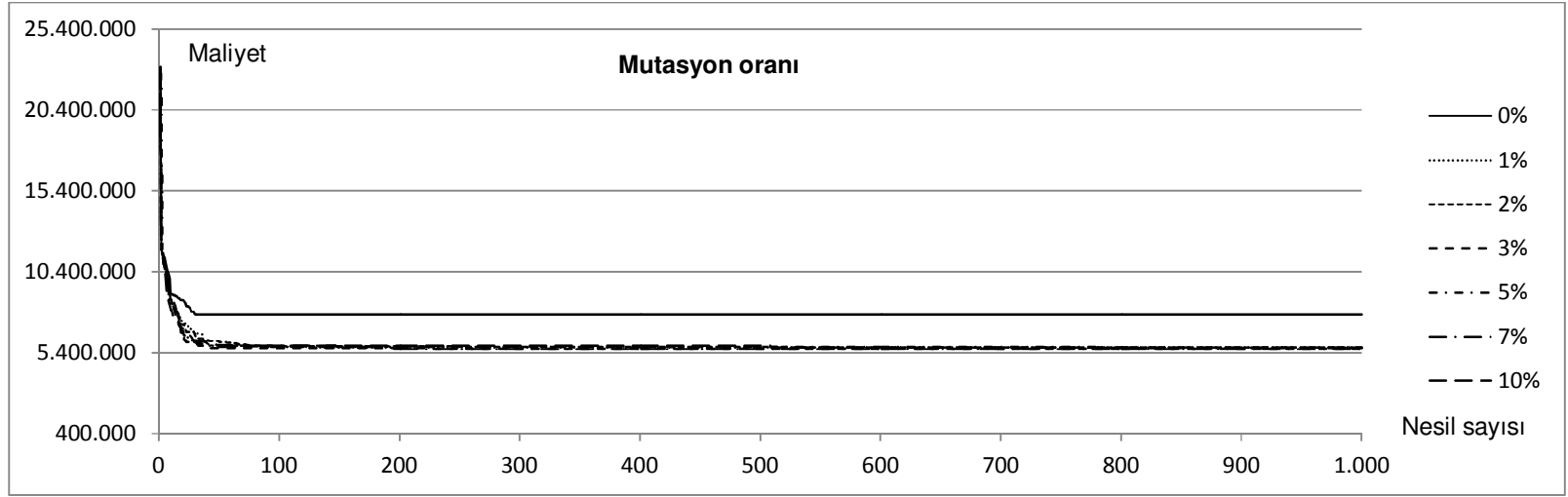
Mutasyon oranlarının hesaplara etkisinin araştırılması için, %0, %1, %2, %3, %5, %7 ve %10 değerleri denenmiştir. Her mutasyon oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.44 'te verilmiştir.

Çizelge 6.44 Mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

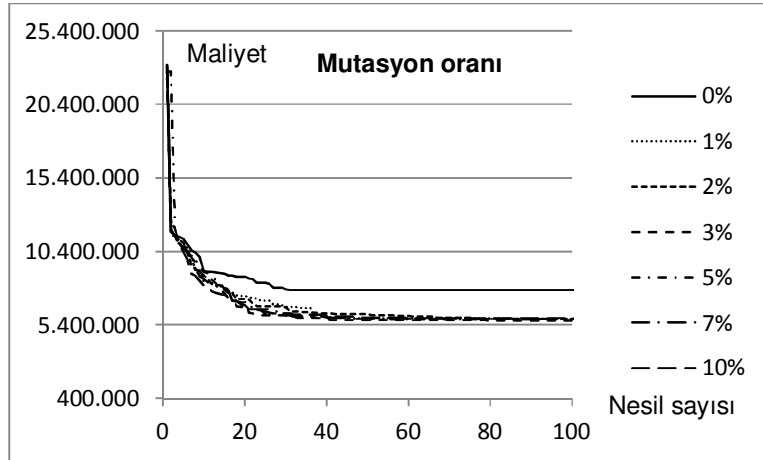
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	0, %1, %2, %3, %5, %7, %10

Yedi ayrı mutasyon oranı değeri için sonuçlar Şekil 9.134 – 9.154 arasında verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

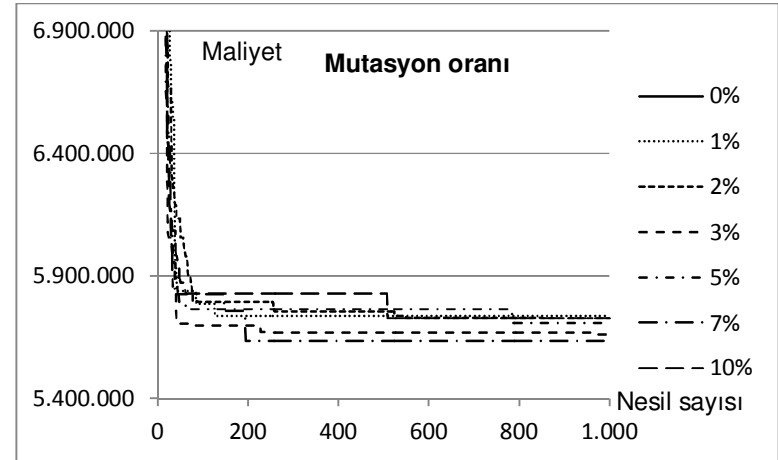
Mutasyon olmaması grafiği Şekil 9.134 – 9.136 'da gösterilmiştir. Mutasyon kullanılmıyor olsa da özel çaprazlama algoritması ve elitizm kullanıldığından, uygunluk değerinin diğer grafiklerde olduğu gibi azaldığı görülmektedir. Ancak tüm denemelerden elde edilen sonuçlar, mutasyon kullanılan denemelerin yakınına bile yaklaşamamıştır. Ayrıca denemelerin uygunluk değerleri arasında fark diğer tüm denemelerde elde edilenlere göre oldukça fazladır. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere, hidrolik optimizasyonu genetik algoritmasında mutasyon kullanılması çok önemlidir.



Şekil 6.44 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.45 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.46 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.45 Her mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Mutasyon Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Yok	1	9.236.941,75	7.752.656,93	16,07%
	2	8.956.399,02		13,44%
	3	7.752.656,93		0,00%
	4	8.867.953,68		12,58%
	5	9.912.581,82		21,79%
%1	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%
%2	1	5.788.282,45	5.727.181,03	1,06%
	2	5.749.359,76		0,39%
	3	5.816.818,38		1,54%
	4	5.727.181,03		0,00%
	5	5.757.839,82		0,53%
%3	1	5.703.306,71	5.661.269,68	0,74%
	2	5.661.269,68		0,00%
	3	5.738.585,24		1,35%
	4	5.743.351,33		1,43%
	5	5.788.608,29		2,20%
%5	1	5.743.333,75	5.707.589,02	0,62%
	2	5.766.189,49		1,02%
	3	5.818.182,69		1,90%
	4	5.707.589,02		0,00%
	5	5.779.137,49		1,24%
%7	1	5.702.243,83	5.634.234,04	1,19%
	2	6.020.418,41		6,41%
	3	5.754.043,47		2,08%
	4	5.899.495,43		4,50%
	5	5.634.234,04		0,00%
%10	1	5.788.529,57	5.726.826,10	1,07%
	2	5.845.502,38		2,03%
	3	5.775.581,43		0,84%
	4	5.726.826,10		0,00%
	5	5.879.693,79		2,60%

Denenen her mutasyon denemesi uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.44 oluşturulmuştur. Şekil 6.45 ve 6.46 'da bu grafiğin farklı detay görüntüleri verilmektedir. Bu grafikler incelendiğinde mutasyon kullanılmayan deneme haricinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Kontrol edilen tüm koruma oranları boyutu alternatifleri ve beşer denemeleri ayrıca tek bir grafik altında incelenmesi amacıyla Şekil 9.155 'ten,– 9.157 'ye kadar oluşturulmuştur. Mutasyon yapılmaması haricinde denemelerde genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Denenen her mutasyon oranları için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.45 'te verilmiştir. Bu tabloya göre %7 'lik mutasyon oranları en iyi sonuçları vermiştir. %10 'luk mutasyon oranı, %7 'lik sonuçla karşılaştırıldığında daha kötü sonuç vermiştir. Yüksek mutasyon oranı kullanıldığında, beklenenin aksine uygun sonuçlar vermeyebilir. Mevcut kalan iyi bireylerinde değişmesine ve bozulmalara neden olabilmektedir. Aynı alternatifteki farklı denemelerin o alternatifin en uygun maliyet değerine göre % değişim oranları incelendiğinde, %1 mutasyon oranı ile birbirine en yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.

6.2.2.9 Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme Denemesi – 1

Çizelge 6.46 Dinamik mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	80
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	%100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Özel çaprazlamalar	En düşük değerle (1 adet)
Mutasyon oranı	%1 (Minimum), %11 (Maksimum) (Uygunluk değeri değişiminin %1 'in altında 50 nesil boyunca üst üste devam etmesi durumunda mutasyon oranı %1 artar)

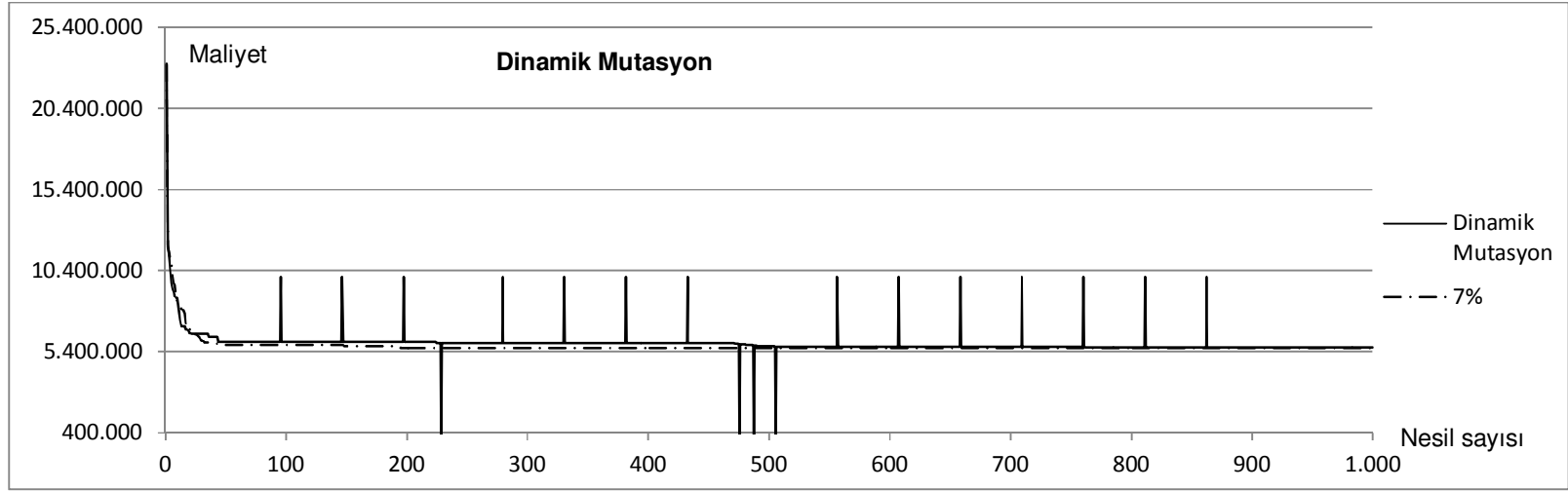
En uygun değere daha kısa zamanda ulaşabilmek için uygunluk değerlerinin sonucuna ve nesiller arasındaki değişim oranına göre mutasyon oranının dinamik olarak değişmesi ile ilgili denemeler yapılmıştır. Bu amaçla başlangıç için minimum bir mutasyon oranı (%1) belirlenmiş ve mutasyon oranının artırılabilceği maksimum bir değer (%11) seçilmiştir. Nesiller arası uygunluk değerinin değişim oranı incelenmiş ve üst üste 50 nesil boyunca değişim oranının %1 'in altında kalması durumunda mutasyon oranı %1 değerinde artırılmıştır. Üst üste 50 nesil kontrolü, değişen bireylere uyum sağlama imkanı vermek için yapılmıştır.

Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.46 'da verilmiştir.

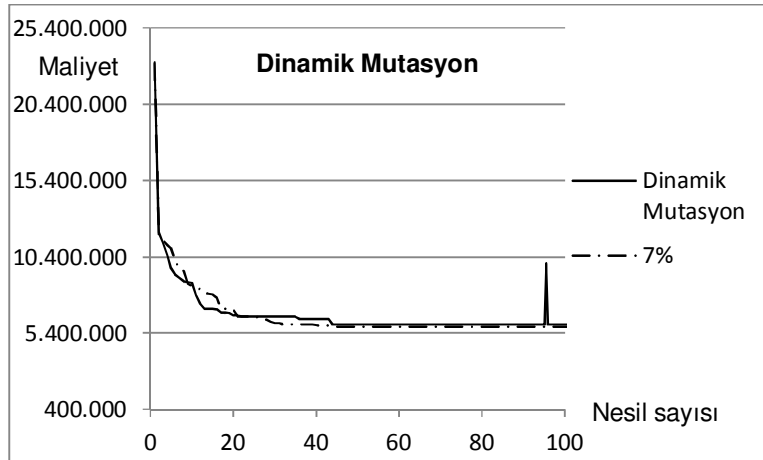
Dinamik mutasyon oranı değiştirme işlemi için deneme sonuçları Şekil 9.158 – 9.160 'ta verilmektedir. Denenen dinamik mutasyon oranı değişimi ile %7 mutasyon oranı denemesi bir araya getirilerek Şekil 6.47 – 6.49 oluşturulmuştur. Bu şekilde dinamik mutasyonla ilgili yukarı ve aşağı doğru çıkan bazı çizgiler görülmektedir. Bu noktalarda mutasyon oranının artmakta veya azalmaktadır. Artış veya azalış, şekil üzerinde yukarı veya aşağı doğru olan çizgilerle ifade edilmiştir.

Grafik incelendiğinde hesaplamalarda nesil sayısı 200 'lere kadar mutasyon oranı 3 kere artmış ve %4 değerine ulaştığı görülmüştür. Nesil sayısı 220 'lere geldiğinde maliyet değerinin azalması sonucunda mutasyon oranı azalmış ve %3 değerine inmiştir. Sonrasında nesil sayısı 450 'lere kadar olan bölümde maliyet değerindeki değişim nedeniyle mutasyon 4 kere artarak oranı %7 'ye çıkmıştır. Nesil sayısı 510 'a kadar maliyet değerinde bir iyileşme görülmüş ve mutasyon oranı 3 kere azalarak %4 'e düşmüştür. Devamında hesaplamaların sonuna kadar maliyet değerinde fazla bir düzelme olmadığından mutasyon oranı 7 kere artarak %11 'e çıkmıştır. Mutasyon oranı %11 yani belirlenen maksimum mutasyon oranına ulaştıktan sonra, daha fazla artış meydana gelmemiştir. Ayrıca grafik incelendiğinde dinamik mutasyon kullanılması ile sabit %7 mutasyon oranı kullanılması durumunda sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

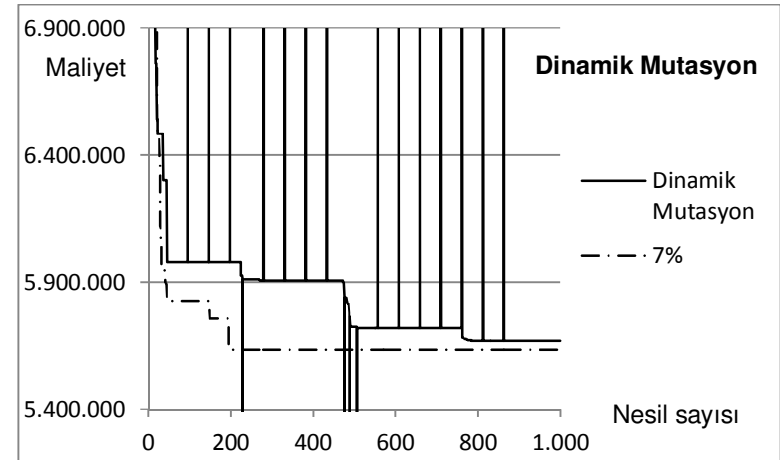
Denenen dinamik mutasyon oranı değişimi ile %7 mutasyon oranı denemesi uygunluk değerleri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.47 'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Her ne kadar %7 mutasyon oranı kullanımında daha uygun sonuç elde edilmiş olsa bile, problemin çözümünde en uygun mutasyon oranının bulunması için birden fazla deneme yapma zorunluluğu nedeniyle, bu denemeler yerine dinamik mutasyon oranı kullanımının daha uygun olacağı görülmektedir.



Şekil 6.47 Dinamik mutasyon için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.48 Dinamik mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.49 Dinamik mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.47 Mutasyon oranı belirleme yöntemleri için denemeler arası değişim yüzdeleri

Mutasyon Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Dinamik mutasyon	1	5.804.993,24	5.769.427,31	0,61%
	2	5.915.164,39		2,46%
	3	5.819.372,15		0,86%
	4	5.945.123,16		2,96%
	5	5.769.427,31		0,00%
%7	1	5.774.876,18	5.736.312,98	0,67%
	2	5.736.312,98		0,00%
	3	5.780.556,55		0,77%
	4	5.743.320,15		0,12%
	5	5.790.385,32		0,93%

6.2.2.10 2. Grup Deneme

Birinci grup denemelerde en uygun maliyeti verdiği belirlenen genetik algoritma parametreleri referans alınarak aynı şebeke üzerinde ikinci grup deneme yapılmıştır.

Birinci grup hidrolik optimizasyon denemeleri sonucunda genetik algoritma parametrelerinde birey sayısının 140, elitizm oranının %10, ebeveyn seçimi için kullanılan turnuva yöntemindeki turnuva oranının %75 olduğu, ilave seçim algoritması olarak *en düşük değer seçimi* ve *en iyilerle (%10)* algoritmalarının her ikisinin de bir arada kullanılması gerektiği, bir sonraki nesle değişmeden geçecek bireylerin rastlantısal olarak belirlenmesi gerektiği, çaprazlama algoritması olarak tek noktalı çaprazlama kullanılırken çaprazlama oranının %50, mutasyon oranının ise %7 olduğu belirlenmiştir.

Denemeler sonucunda %7 mutasyon oranı kullanımında daha uygun sonuç elde edilmiş olsa bile, problemin çözümünde en uygun mutasyon oranının bulunması için birden fazla deneme yapma zorunluluğu nedeniyle, bu denemeler yerine dinamik mutasyon oranı kullanımının daha uygun olacağı anlaşılmıştır. Bu amaçla daha sonra yapılacak olan yön optimizasyonu problemlerinde, dinamik mutasyon kullanılması tercih edilecektir.

Yine birinci grup denemelerde olduğu gibi her bir alternatif için beşer deneme yapılmış ve bu beş denemenin minimum maliyetli olanı seçilmiştir. Birinci grup denemeler sırasında genetik algoritma parametreleri ile ilgili grafikler detaylı olarak kimisi konu içinde kimisi de Ek 'lerde verilmişti. İkinci grup denemelerde ise, konu içinde sadece en uygun maliyetli alternatif denemesine ait sonuçlar gösterilecektir.

6.2.2.11 Birey Sayısı Denemesi – 2

Bu bölümde hidrolik optimizasyonda genetik algoritma kullanımında birey sayısının önemi araştırılmıştır. Bu amaçla 60, 80, 100, 120 ve 140 adet nesil için beşer deneme yapılmış ve sonuçta en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.48 'de verilmiştir.

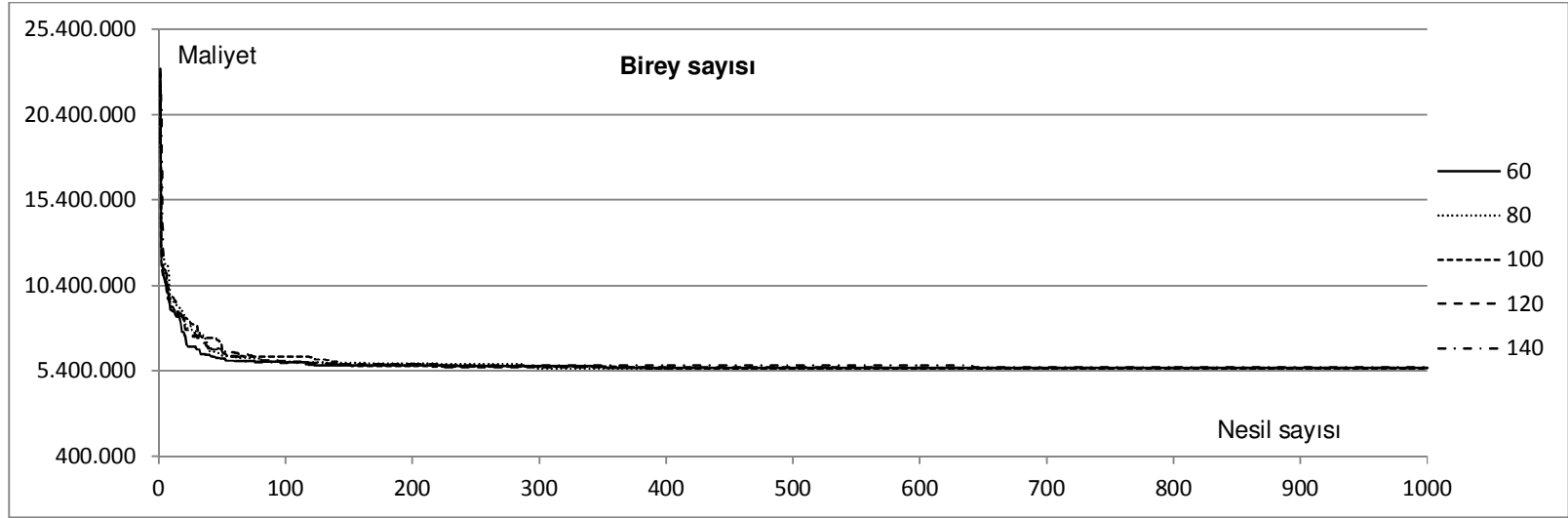
Çizelge 6.48 Birey sayısı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	60, 80, 100, 120, 140
Elitizm oranı	%10
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%7

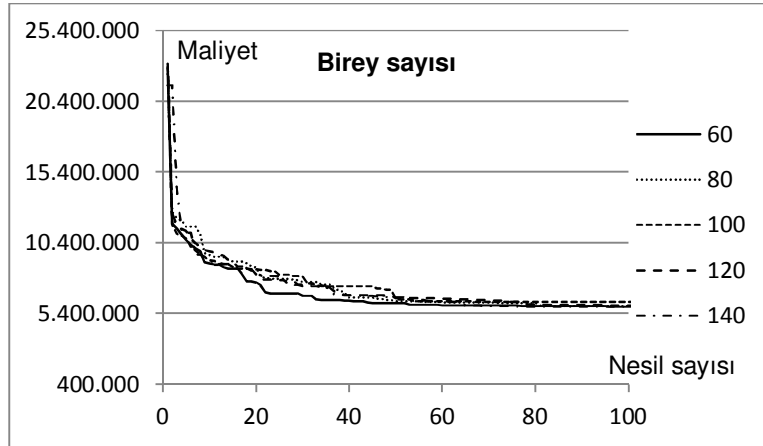
Denenen her birey sayısının uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.50 – 6.52 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde, hesaplamaların sonunda tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu ancak sonuca ulaşma sırasında farklı eğilimlere sahip oldukları anlaşılmaktadır. Tüm sonuçlar arasında en uygun maliyetli değerlerin nesil sayısının 100 olması durumunda elde edildiği görülmektedir.

Birey sayısı denemelerinde elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmak istenmiştir. Denenen her birey sayısı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri kendi grubunun en iyisi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.49 'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, en uygun sonucun birey sayısı 100 olan alternatifte elde edildiği görülmüştür. Ayrıca her bir alternatif için yapılan beşer deneme incelenmiş, beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren birey sayısının da 100 olduğu görülmüştür.

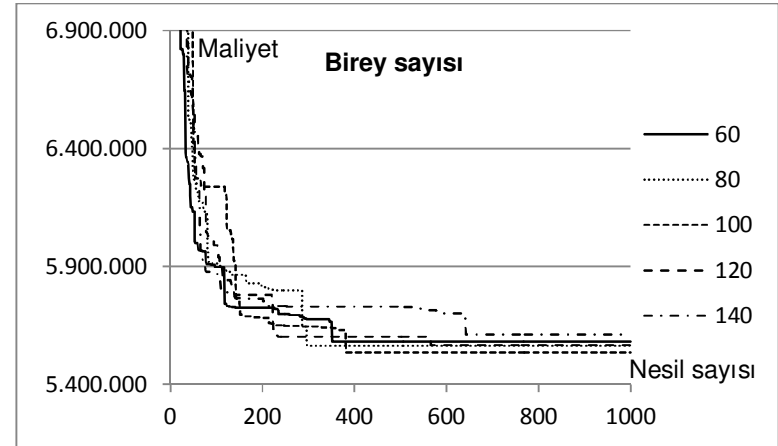
Bu şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde birey sayısı varsayılan değer 100 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.50 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.51 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.52 Her birey sayısı için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.49 Her birey sayısı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Birey sayısı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
60	1	5.681.330,01	5.580.318,12	1,78%
	2	5.750.572,71		2,96%
	3	5.591.225,97		0,20%
	4	5.580.318,12		0,00%
	5	5.641.923,73		1,09%
80	1	5.706.032,04	5.562.511,13	2,52%
	2	5.632.570,38		1,24%
	3	5.706.032,04		2,52%
	4	5.632.570,38		1,24%
	5	5.562.511,13		0,00%
100	1	5.579.604,26	5.534.495,83	0,81%
	2	5.594.544,11		1,07%
	3	5.604.460,75		1,25%
	4	5.573.104,95		0,69%
	5	5.534.495,83		0,00%
120	1	5.605.244,81	5.566.617,55	0,69%
	2	5.692.481,37		2,21%
	3	5.566.617,55		0,00%
	4	5.845.871,52		4,78%
	5	5.654.265,93		1,55%
140	1	5.612.853,54	5.612.853,54	0,00%
	2	5.717.325,62		1,83%
	3	5.658.891,4		0,81%
	4	5.650.701,48		0,67%
	5	5.661.356,52		0,86%

6.2.2.12 Elitizm Oranı Denemesi - 2

Elitizm parametre kontrolünde %1, %3, %5 ve %10 oranları denenmiştir. 1. grup denemede elitizm kullanılmamasının olumsuz sonuçları görüldüğünden 2. grup denemeler arasına elitizm kullanılmaması seçeneği dahil edilmemiştir. Her elitizm değeri için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.50 'de verilmiştir.

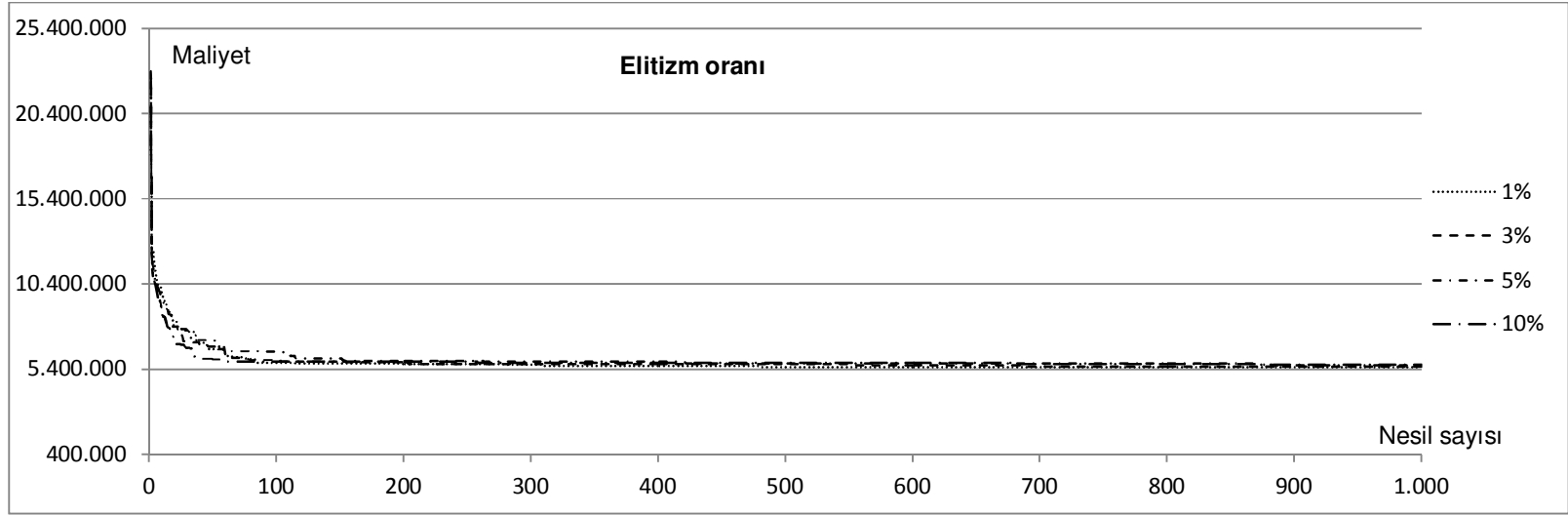
Çizelge 6.50 Elitizm oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1, %3, %5, %10
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%7

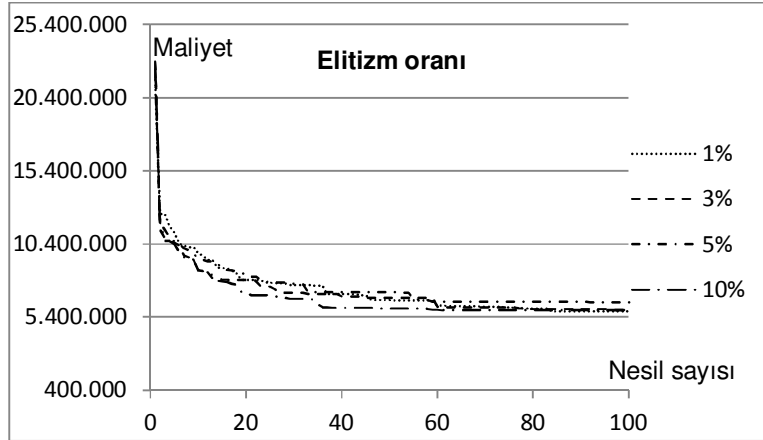
Denenen her elitizm oranının uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.53 – 6.55 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Elitizm oranı %1 ve %3 olduğunda en uygun maliyetler elde edilmiştir. Ancak grafikten bu en uygun maliyet değerlerinin nesil sayısının sonlarına doğru elde edildiği görülmektedir.

Denenen her elitizm oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.51 'de verilmiştir. İlk grup denemelerle kıyaslandığında, birinci grup denemelerde yüksek elitizm oranında uygun maliyetlerin elde edildiği, ikinci grup denemelerde ise düşük elitizm oranlarında elde edildiği görülmektedir. Bu durum, varsayılan değeri farklı olarak kabul edilen diğer genetik algoritma parametrelerinden ileri gelmektedir.

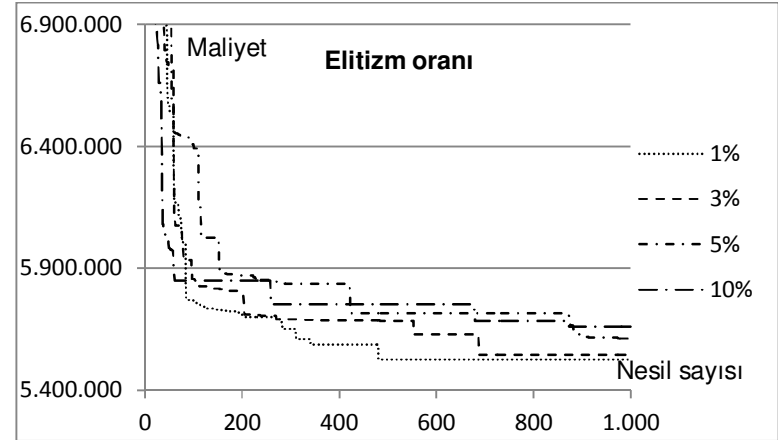
Bu şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde elitizm oranı için varsayılan değer olarak %1 kabul edilmiştir.



Şekil 6.53 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.54 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.55 Her elitizm oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.51 Her elitizm oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Elitizm oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
1%	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%
3%	1	5.595.799,29	5.545.076,18	0,91%
	2	5.545.076,18		0,00%
	3	5.614.569,03		1,24%
	4	5.656.163,84		1,96%
	5	5.659.291,25		2,02%
5%	1	5.654.246,11	5.611.457,82	0,76%
	2	5.611.457,82		0,00%
	3	5.617.183,43		0,10%
	4	5.747.851,79		2,37%
	5	5.734.817,81		2,15%
10%	1	5.854.932,80	5.661.036,75	3,31%
	2	5.687.287,74		0,46%
	3	5.777.778,24		2,02%
	4	5.661.036,75		0,00%
	5	5.934.852,11		4,61%

6.2.2.13 Turnuva Oranı Denemesi - 2

Ebeveyn seçiminde kullanılan turnuva yönteminde turnuva oranı için iki farklı değerde deneme yapılmıştır : %50 ve %75. Turnuva sayısı her iki denemede de 2 'dir. Her iki turnuva oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.52 'de verilmiştir.

Denenen her iki turnuva oranı için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.56 – 6.58 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Ancak turnuva oranının 0,75 olması durumunda sonuca daha erken ve hızlı ulaşıldığı anlaşılmıştır.

Çizelge 6.52 Turnuva oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

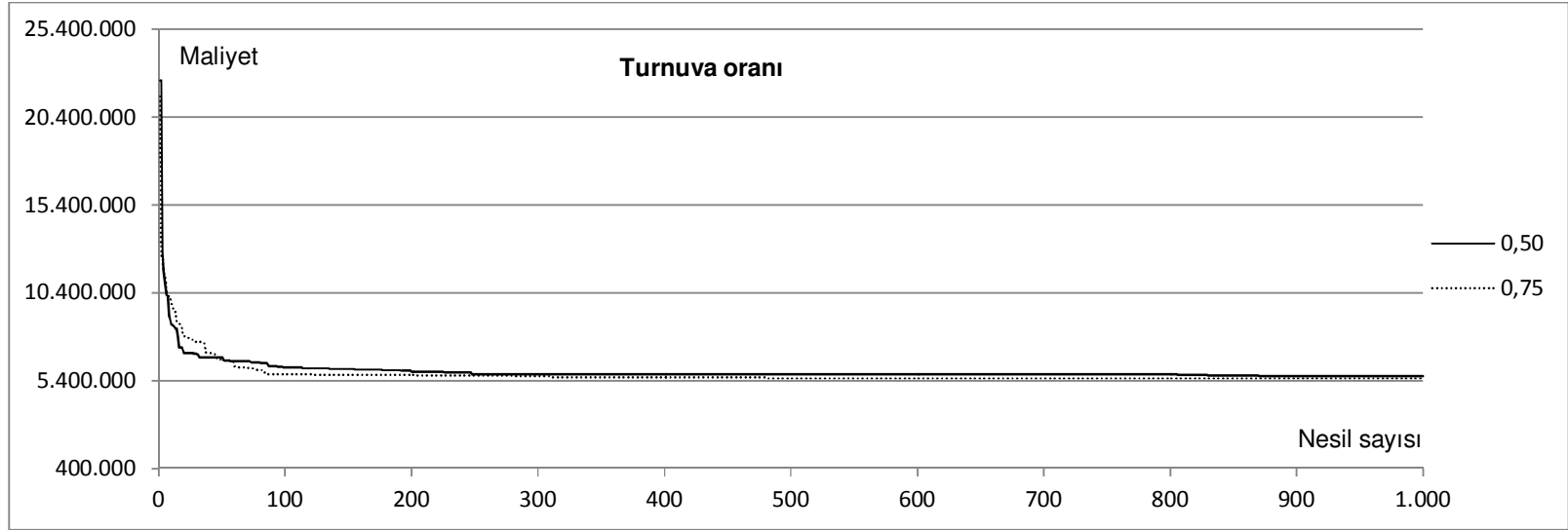
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,5 , 0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%70
Mutasyon oranı	%7

Denenen her turnuva oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.53 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, tüm denemeler arasında en uygun maliyetli değer ve beş denemede birbirine en yakın sonuçların turnuva oranı 0,75 olduğunda gerçekleştiği görülmüştür.

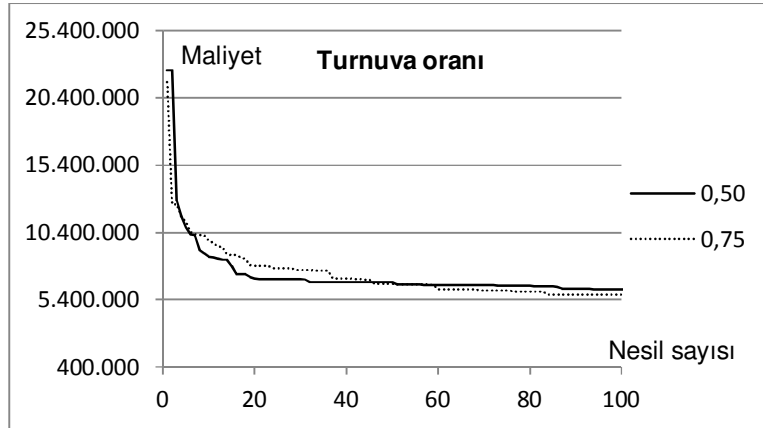
Çizelge 6.53 Her turnuva oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Turnuva Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
0,50	1	5.547.055,93	5.547.055,93	0,00%
	2	5.629.179,12		1,46%
	3	5.819.372,15		4,68%
	4	5.629.179,12		1,46%
	5	5.660.652,27		2,01%
0,75	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%

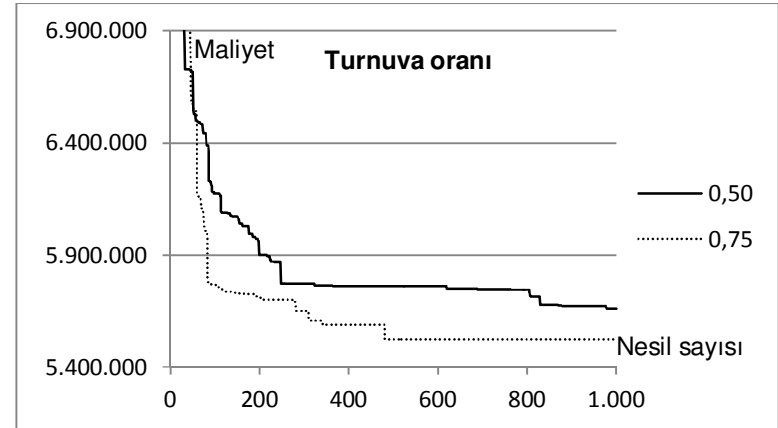
Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde turnuva oranı 0,75 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.56 Her turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.57 Her turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.58 Her turnuva oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2

6.2.2.14 İlave Seçim Algoritmaları Denemesi - 2

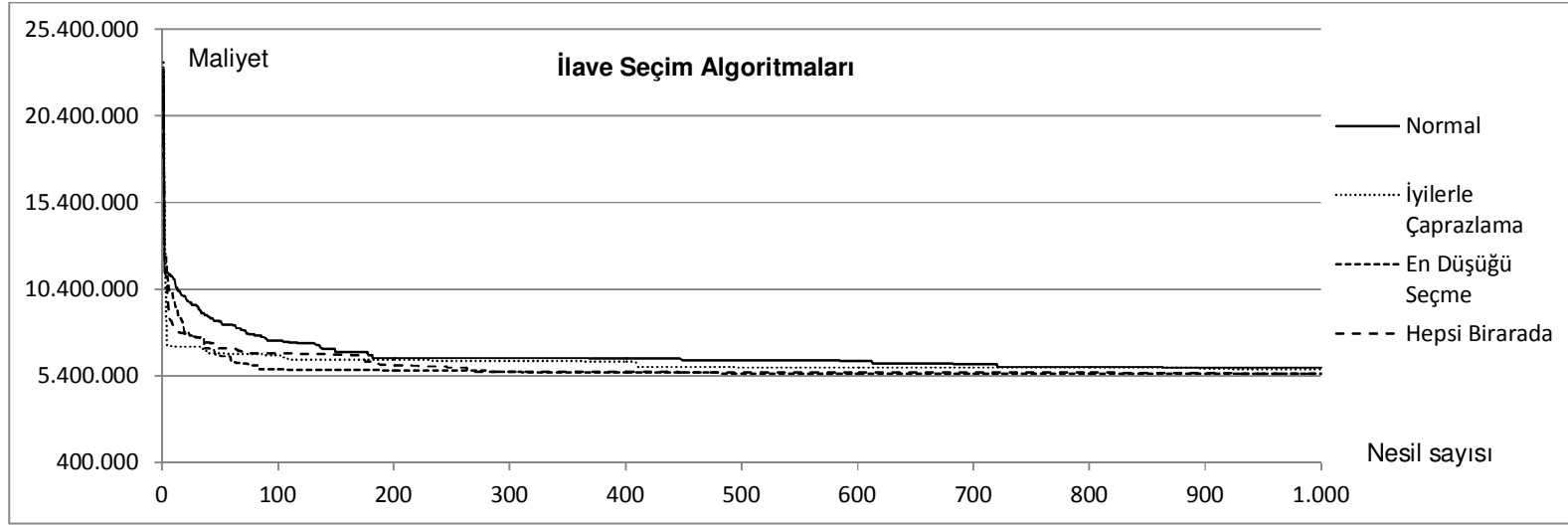
Turnuva yöntemi ile ebeveyn seçim işlemine ilave olarak, farklı seçim algoritmalarının kullanılmasının en uygun değerini daha hızlı bir şekilde elde edilmesine katkıları araştırılmak istenmiştir. Bu amaçla turnuva yöntemi ile birlikte kullanılmak üzere çeşitli özel seçim algoritmaları denenmiştir. Bu amaçla 4 deneme yapılmıştır. İlk olarak ebeveyn seçiminde sadece turnuva yöntemi kullanılmış ve ilave seçim algoritmaları kullanılmamıştır. Sonrasında turnuva yöntemine ilave olarak “*en düşük değerle seçim*” ve “*en iyilerle (%10)*” seçme işlemleri önce tek başlarına sonra bir arada kullanılmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.54 ‘te verilmiştir.

Çizelge 6.54 İlave seçim algoritmaları için denenen genetik algoritma parametreleri

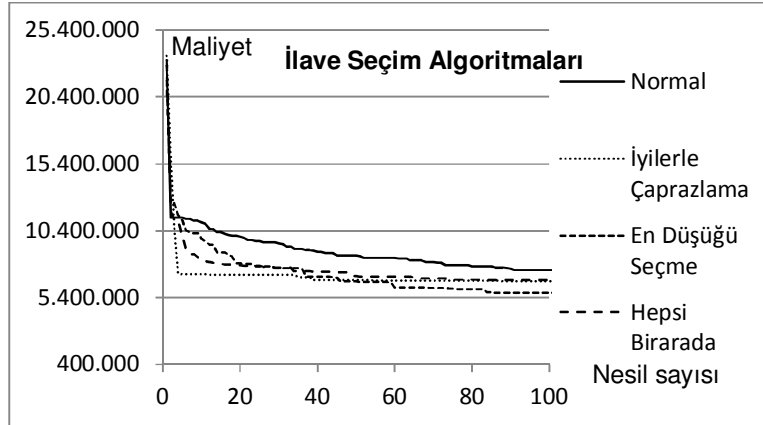
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
<i>İlave seçim yöntemi</i>	<i>Hiç yok, En düşük değerle (1 adet), En iyilerle(%10), Hepsi bir arada</i>
Koruma oranı	%Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%7

Denenen tüm ilave seçim algoritmaları için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.59 – 6.61 oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Ancak *en düşük değer seçimi* algoritmasının en düşük sonucu verdiği görülmüştür.

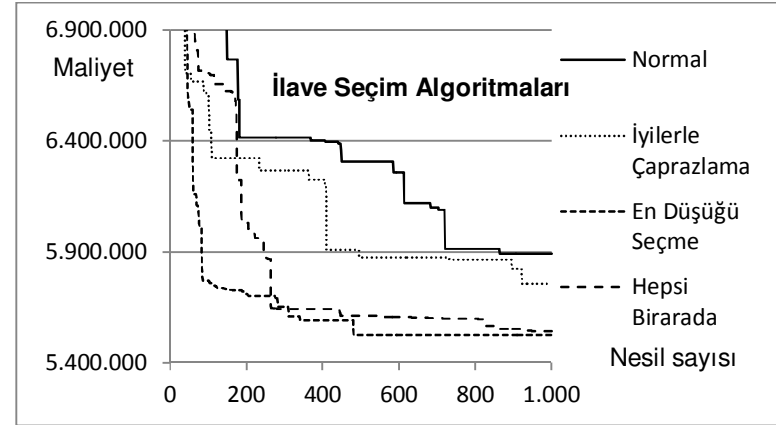
Hiçbir ilave seçim algoritması kullanılmaması durumunda, uygunluk değerinin optimizasyonsuz maliyet değerinin altına indiği görülse de yeterince düşemediği ve tüm alternatif yöntemler arasında en kötü sonucu verdiği görülmektedir. Bu amaçla ilave seçim algoritmasının gerekliliği bir kez daha ortaya konmaktadır.



Şekil 6.59 Her ilave seçim algoritması için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.60 Her ilave seçim algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.61 Her ilave seçim algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-2

En düşük değer seçimi ile algoritması kullanıldığında elde edilen sonuçlar incelenmiş ve her nesilde oluşturulan bu özel bireyin, her zaman bir sonraki nesilde yine düşük maliyetli bireyler arasında yer aldığı görülmüştür. Tüm alternatifler arasında en uygun maliyet değerini üretmiştir.

En iyilerle (%10) algoritması kullanıldığında, hiçbir ilave seçim algoritması kullanılmaması durumuna göre daha iyi sonuç ürettiği ama *en düşük değer seçimi* algoritmasından kötü durumda olduğu görülmüştür.

Bir alternatif olarak ta, hem *en düşük değer seçimi* ve *en iyilerle (%10)* algoritmasının bir arada kullanılması incelenmiştir. *En düşük değer seçimi* algoritmasının tek başına kullanılmasına kıyasla daha kötü sonuçlar ürettiği, *en iyilerle (%10)* algoritmasının tek başına kullanılmasına kıyasla ise daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir.

Çizelge 6.55 Her ilave seçim algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri

İlave Seçim Algoritması	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Sade	1	5.793.829,59	5.793.829,59	0,00%
	2	5.829.790,88		0,62%
	3	5.849.135,67		0,95%
	4	5.891.922,40		1,66%
	5	5.808.793,58		0,26%
En İyilerle (%10)	1	5.870.430,09	5.756.314,82	1,94%
	2	5.756.314,82		0,00%
	3	5.832.455,72		1,31%
	4	5.843.064,33		1,48%
	5	5.885.389,01		2,19%
En Düşük Değer	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%
Hepsi Bir Arada	1	5.539.317,18	5.539.317,18	0,00%
	2	5.593.133,06		0,96%
	3	5.608.873,42		1,24%
	4	5.579.644,49		0,72%
	5	5.655.475,86		2,05%

Denenen her ilave seçim algoritması için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.55 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, tüm denemeler arasında en uygun maliyetli değerin *en düşük değer seçimi* algoritması ve beş denemede birbirine en yakın sonuçların ise ilave hiç bir seçim algoritmasının kullanılmadığı seçenek olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde ilave seçim algoritması olarak *en düşük değer seçimi* algoritması kabul edilmiştir.

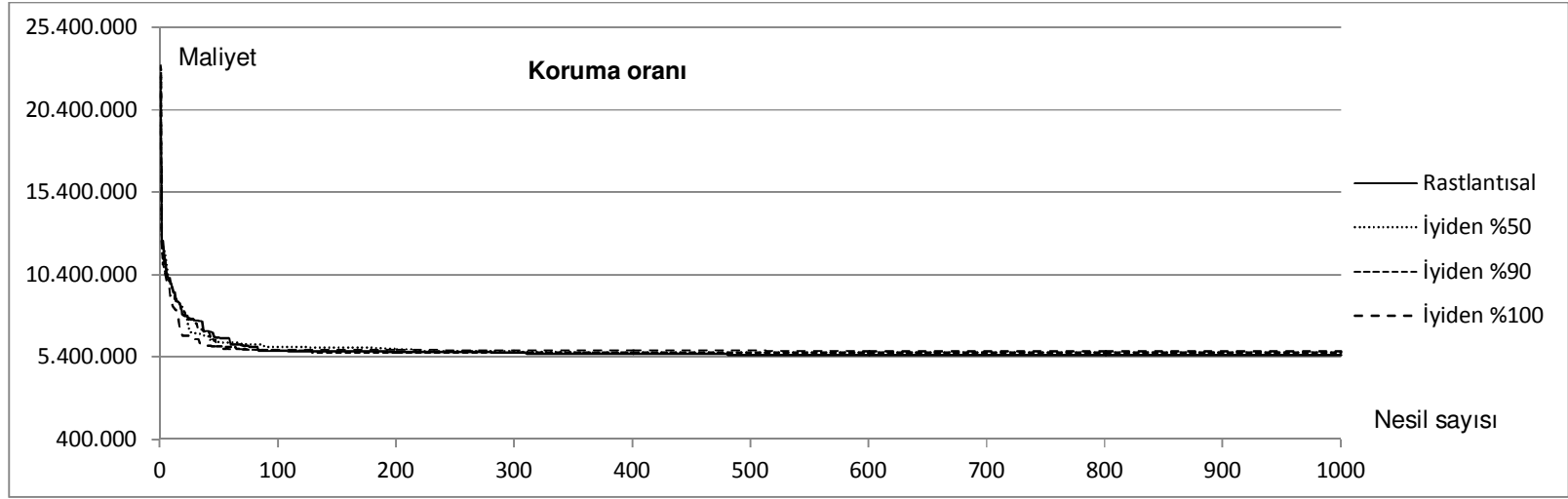
6.2.2.15 Koruma Yöntemi Denemesi – 2

Bu deneme ile sadece çaprazlanacak bireylerinin seçiminin değil, aynı zamanda bir üst nesle çaprazlama yapılmadan aktarılabacak bireylerin seçimi konusu araştırılmıştır. Bu amaçla 4 deneme yapılmıştır. Nesilde korunacak bireyler *rastlantısal*, “%50 iyiden koruma”, “%90 iyiden koruma” ve “%100 iyiden koruma” algoritmalarına göre belirlenmiştir. Her bir deneme beşer kez tekrarlanmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir.

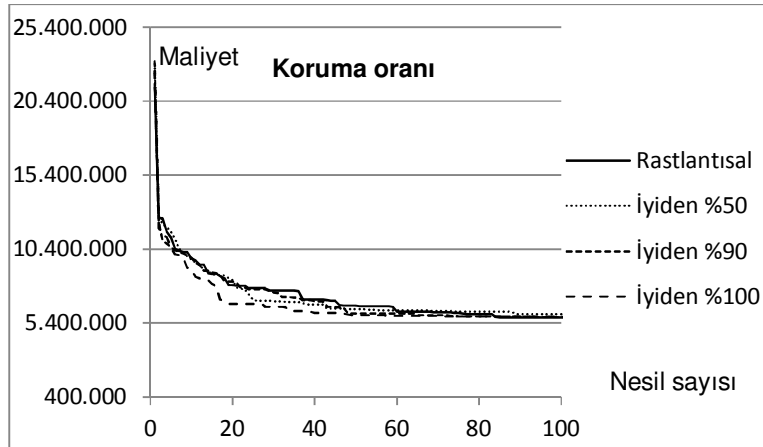
Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.56 'da verilmiştir.

Çizelge 6.56 Koruma oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

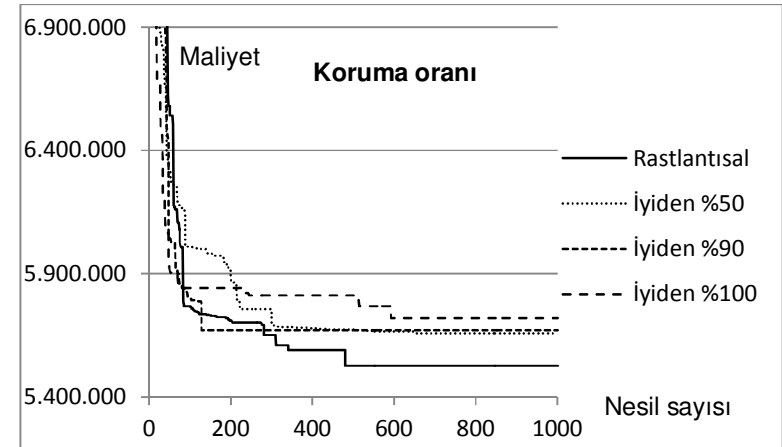
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal koruma, %50 iyiden, %90 iyiden, %100 iyiden
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%7



Şekil 6.62 Her koruma oranı algoritması için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.63 Her koruma oranı algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.64 Her koruma oranı algoritması için minimum değerlerin grafiği detay-2

Denenen her koruma oranı uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.62 'den 6.64 'e kadar olan grafikler oluşturulmuştur. Grafikler incelendiğinde, geç nesil sayısında elde edilmiş olsa da *rastlantısal koruma* uygulandığında en uygun maliyetin elde edildiği görülmektedir.

Koruma oranı denemelerinde elde edilen sonuçlar üzerinde farklı açıdan bir değerlendirme yapılmak istenmiştir. Denenen her koruma yöntemi için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.57 'de verilmiştir.

Çizelge 6.57 Her koruma yöntemi için denemeler arası değişim yüzdeleri

Koruma Yöntemi	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Rastlantısal	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%
İyiden %50	1	5.762.189,51	5.657.366,12	1,82%
	2	5.668.261,02		0,19%
	3	5.801.981,93		2,49%
	4	5.668.261,02		0,19%
	5	5.657.366,12		0,00%
İyiden %90	1	5.772.274,02	5.671.312,43	1,75%
	2	5.814.350,32		2,46%
	3	5.926.878,06		4,31%
	4	5.814.350,32		2,46%
	5	5.671.312,43		0,00%
İyiden %100	1	5.769.313,84	5.718.084,48	0,89%
	2	5.735.506,78		0,30%
	3	5.718.084,48		0,00%
	4	5.769.313,84		0,89%
	5	6.108.813,42		6,40%

Bu tabloya göre *rastlantısal koruma* yönteminin en düşük sonucu verdiği görülmektedir. *İyiden %50* ve *%90 koruma* algoritmalarında sonuçlar birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. En kötü sonucu ise *iyiden %100* algoritması vermiştir. Her alternatifin, sonuçlarının birbirlerine göre

değişim % 'leri incelendiğinde ise, en iyi sonucu *iyiden %50 koruma* algoritmasının verdiği görülmektedir.

Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde koruma yöntemi olarak *rastlantısal koruma* kullanımı kabul edilmiştir.

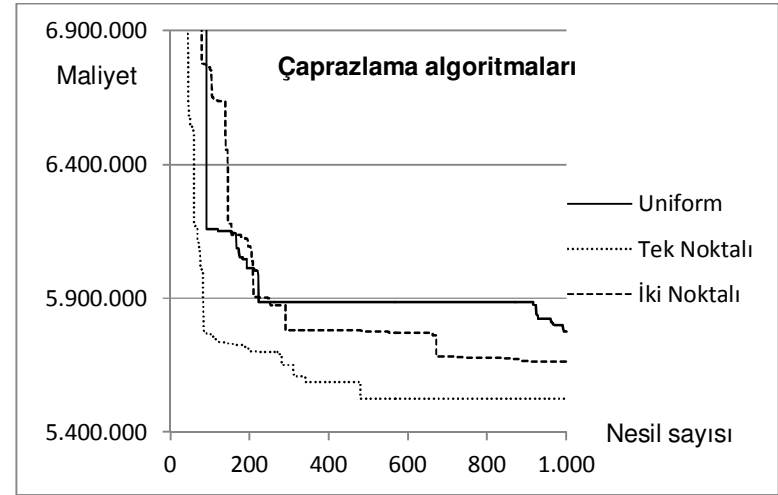
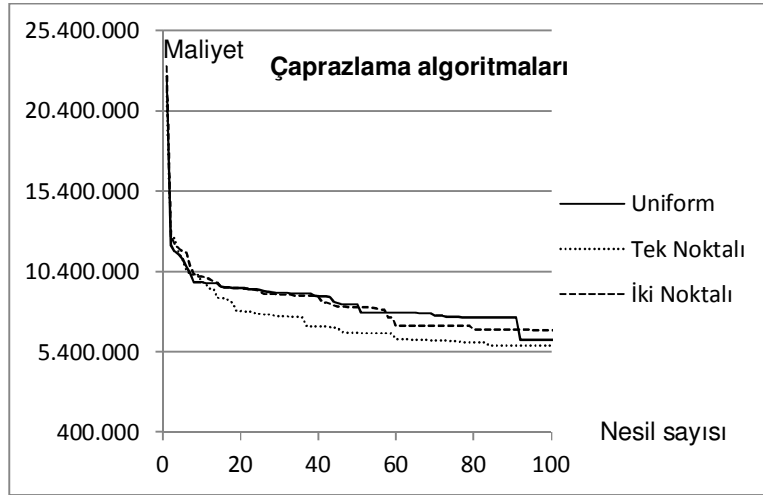
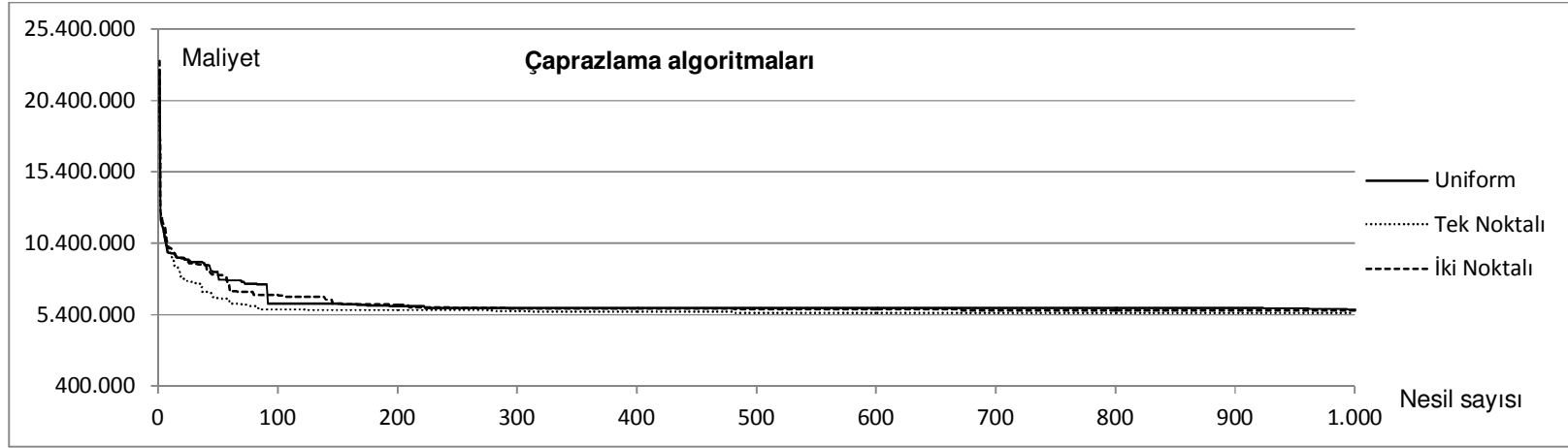
6.2.2.16 Çaprazlama Algoritmaları Denemeleri - 2

Çaprazlama işlemlerinde farklı algoritmaların etkisi denenmek istenmiştir. Bu amaçla uniform, tek noktadan ve iki noktadan çaprazlama algoritmaları kullanılmıştır. Her çaprazlama yöntemi için beşer deneme yapılmış ve en düşük sonuçlar grafiğe alınmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.58 'de verilmiştir.

Çizelge 6.58 Çaprazlama yöntemleri için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Uniform, Tek noktalı, İki noktalı
Uniform	Rastlantısal sayıya göre her bit, çocuk1 veya çocuk2 'ye
Tek noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan
İki noktalı	Rastlantısal sayıya göre kesilen iki noktadan
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%7

Denenen her çaprazlama algoritması uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.65 'te 6.67 'ye kadar olan grafikler oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tek noktalı çaprazlama ile en uygun maliyet değerinin elde edildiği görülmüştür.



Denenen her çaprazlama algoritması için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.59 'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, çaprazlama algoritmaları arasında en uygun maliyeti tek noktalı çaprazlama algoritmasının verdiği görülmektedir. Her alternatifin beşer denemesi incelendiğinde birbirine en yakın sonuçları veren çaprazlama algoritmasının yine tek noktalı çaprazlama olduğu görülmüştür.

Denenen her çaprazlama algoritması için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.59 'da verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, çaprazlama algoritmaları arasında en uygun maliyeti tek noktalı çaprazlama algoritmasının verdiği görülmektedir. Her alternatifin beşer denemesi incelendiğinde birbirine en yakın sonuçları veren çaprazlama algoritmasının ise uniform çaprazlama olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.59 Her çaprazlama algoritması için denemeler arası değişim yüzdeleri

Çaprazlama Algoritması	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Uniform	1	5.775.718,79	5.775.718,79	0,00%
	2	5.811.806,39		0,62%
	3	5.800.259,39		0,42%
	4	5.939.836,21		2,76%
	5	5.822.341,22		0,80%
Tek Noktalı	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%
İki Noktalı	1	5.663.684,09	5.663.684,09	0,00%
	2	5.820.010,35		2,69%
	3	5.839.395,84		3,01%
	4	5.771.609,26		1,87%
	5	5.984.767,18		5,37%

Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde çaprazlama algoritması olarak tek noktalı çaprazlama algoritması kabul edilmiştir.

6.2.2.17 Çaprazlama Oranları Denemeleri - 2

Hesaplamalarda kullanılmak üzere, çaprazlama oranları ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. %30, %50, %70 ve %90 değerlerinde çaprazlama oranları denenmiştir. Her çaprazlama oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.60 'ta verilmiştir.

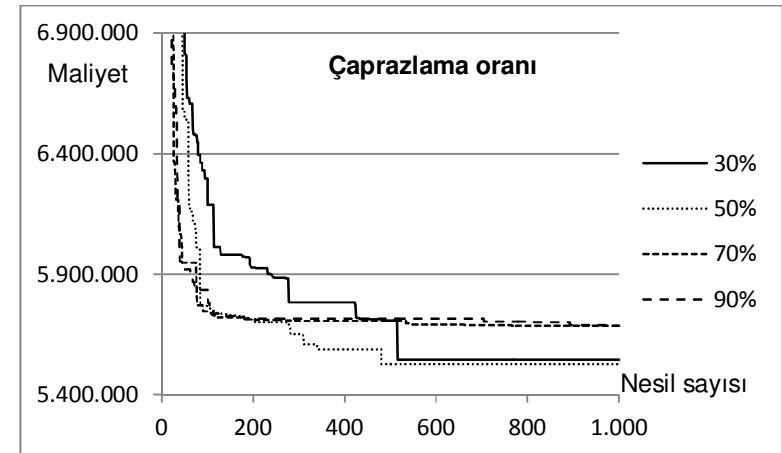
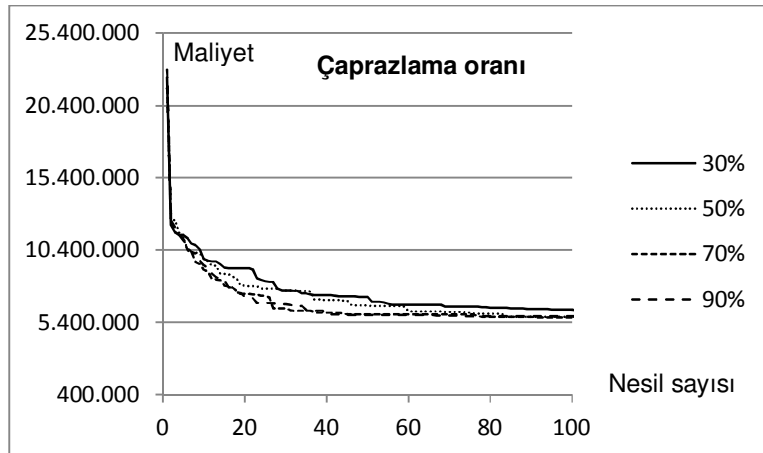
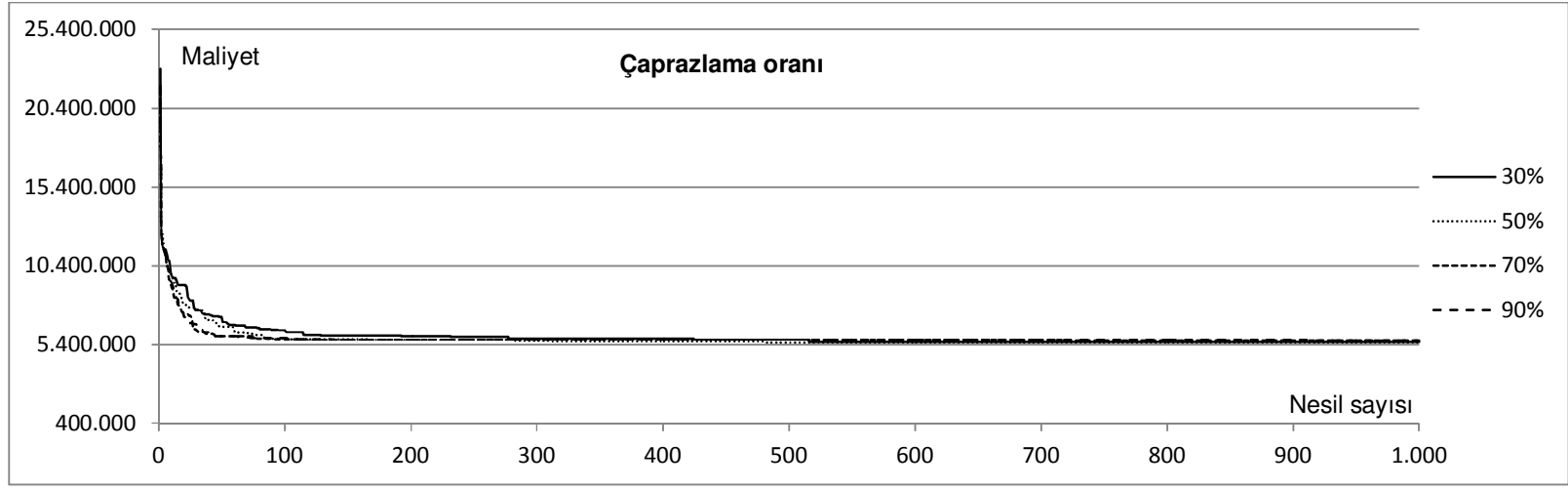
Çizelge 6.60 Çaprazlama oranları için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%30, %50, %70, %90
Mutasyon oranı	%7

Denenen her çaprazlama oranı için uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.68 'den 6.70 'e kadar olan grafikler oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Grafikler incelendiğinde, geç nesil sayısında elde edilmiş olsa da %50 çaprazlama oranında en uygun maliyetin elde edildiği görülmektedir.

Denenen her çaprazlama oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.61 'de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, en uygun maliyet değerini ve beş denemede birbirine en yakın sonuçları veren çaprazlama oranının %50 olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde varsayılan değer olarak çaprazlama oranı %50 olarak kabul edilmiştir.



Çizelge 6.61 Her çaprazlama oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Çaprazlama Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
%30	1	5.705.971,43	5.544.805,24	2,82%
	2	5.714.920,83		2,98%
	3	5.544.805,24		0,00%
	4	5.656.023,86		1,97%
	5	5.562.162,73		0,31%
%50	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%
%70	1	5.685.040,87	5.685.040,87	0,00%
	2	5.723.236,70		0,67%
	3	5.943.670,82		4,35%
	4	5.806.387,70		2,09%
	5	6.155.534,36		7,64%
%90	1	5.822.890,40	5.684.834,00	2,37%
	2	5.684.834,00		0,00%
	3	5.890.752,23		3,50%
	4	5.703.012,03		0,32%
	5	5.782.306,19		1,69%

6.2.2.18 Mutasyon Oranı Denemesi - 2

Mutasyon oranlarının hesaplara etkisinin araştırılması için, %0, %1, %2, %3, %5, %7 ve %10 değerleri denenmiştir. Her mutasyon oranı için beşer deneme yapılmış ve en uygun sonuçlar belirlenmiştir. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.62 'de verilmiştir.

Denenen her mutasyon denemesi uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri bir araya getirilerek Şekil 6.71 'den 6.73 'e kadar olan grafikler oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde mutasyon kullanılmayan deneme haricinde tüm sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.62 Mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	0, %1, %2, %3, %5, %7, %10

Denenen her mutasyon oranları için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.63 'te verilmiştir.

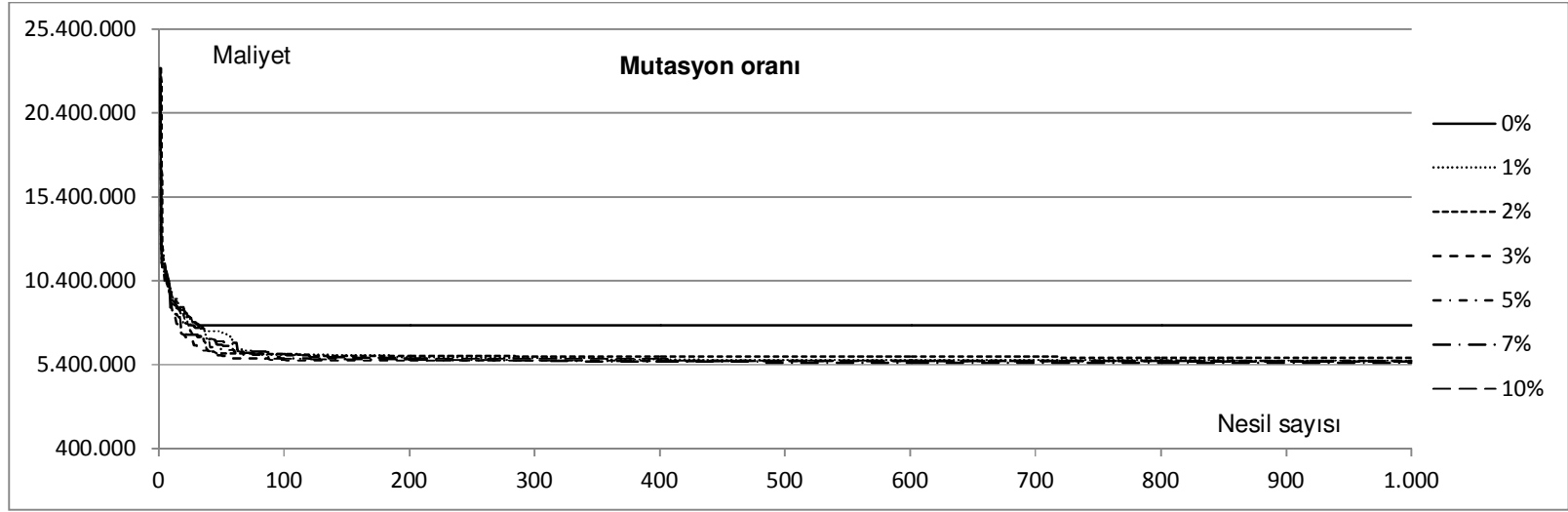
Bu tabloya göre %7 ve %10 'luk mutasyon oranları yani yüksek mutasyon oranı en iyi sonuçları vermiştir. Daha düşük mutasyon oranları ise, daha kötü uygun maliyetler üretmişlerdir. Mutasyon kullanılmadığında ise beklendiği üzere, uygun maliyet değerinin yeterince azalmadığı görülmektedir.

Mutasyon kullanılmaması haricinde değerler birbiri ile karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar vermektedir. En uygun maliyet, %7 mutasyon oranı kullanıldığında elde edilmiştir.

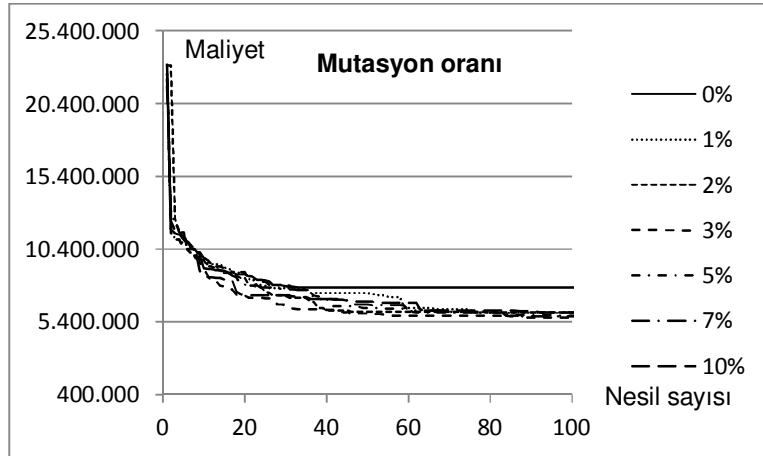
Bu sonuçlara göre şebeke ile yapılacak olan diğer denemelerde varsayılan mutasyon oranı olarak %7 kabul edilmiştir.

6.2.2.19 Dinamik Mutasyon Oranı Değiştirme Denemesi - 2

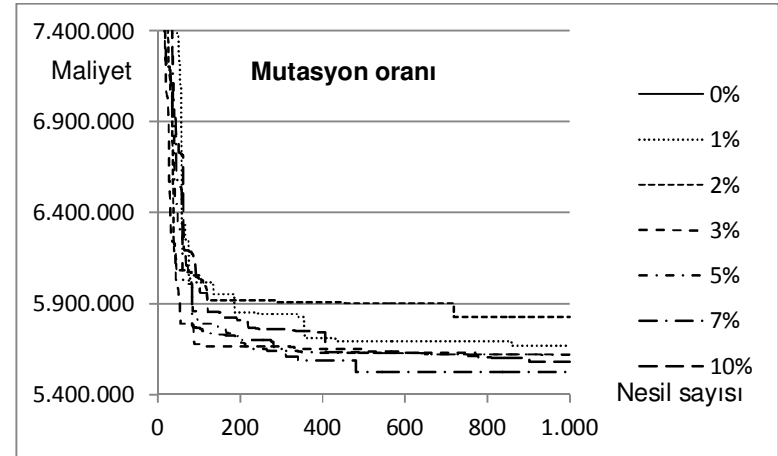
En uygun değere daha kısa zamanda ulaşabilmek için uygunluk değerlerinin sonucuna ve nesiller arasındaki değişim oranına göre mutasyon oranının dinamik olarak değişmesi ile ilgili denemeler yapılmıştır. Bu amaçla başlangıç için minimum bir mutasyon oranı (%1) belirlenmiş ve mutasyon oranının arttırılabileceği maksimum bir değer (%11) seçilmiştir. Nesiller arası uygunluk değerinin değişim oranı incelenmiş ve üst üste 50 nesil boyunca değişim oranının %1 'in altında kalması durumunda mutasyon oranı %1 değerinde arttırılmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.64 'te verilmiştir.



Şekil 6.71 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.72 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.73 Her mutasyon oranı için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.63 Her mutasyon oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Mutasyon Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
%0	1	9.236.941,75	7.752.656,93	16,07%
	2	8.956.399,02		13,44%
	3	7.752.656,93		0,00%
	4	8.867.953,68		12,58%
	5	9.912.581,82		21,79%
%1	1	5.806.894,57	5.631.445,48	3,02%
	2	5.668.265,69		0,65%
	3	5.650.110,22		0,33%
	4	5.673.750,12		0,75%
	5	5.631.445,48		0,00%
%2	1	5.708.408,21	5.668.593,99	0,70%
	2	5.817.495,94		2,56%
	3	5.668.593,99		0,00%
	4	5.825.081,11		2,69%
	5	5.700.678,25		0,56%
%3	1	5.677.528,45	5.620.436,81	1,01%
	2	5.819.482,96		3,42%
	3	5.685.381,78		1,14%
	4	5.686.724,66		1,17%
	5	5.620.436,81		0,00%
%5	1	5.628.140,02	5.616.072,32	0,21%
	2	5.699.507,56		1,46%
	3	5.772.167,20		2,70%
	4	5.726.146,60		1,92%
	5	5.616.072,32		0,00%
%7	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%
%10	1	5.799.713,11	5.579.988,14	3,79%
	2	5.579.988,14		0,00%
	3	5.653.648,36		1,30%
	4	5.661.927,72		1,45%
	5	5.879.693,79		5,10%

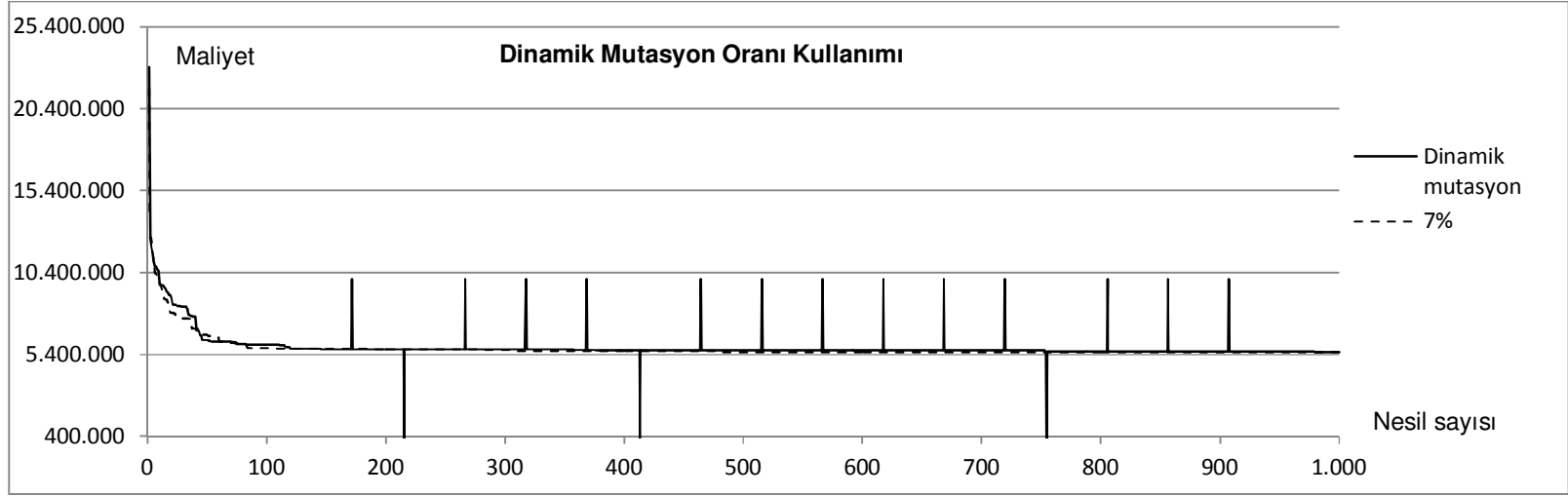
Çizelge 6.64 Dinamik mutasyon oranı için denenen genetik algoritma parametreleri

Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Özel çaprazlamalar	En düşük değerle (1 adet)
Mutasyon oranı	%1 (Minimum), %11 (Maksimum) (Uygunluk değeri değişiminin %1 'in altında 50 nesil boyunca üst üste devam etmesi durumunda mutasyon oranı %1 artar)

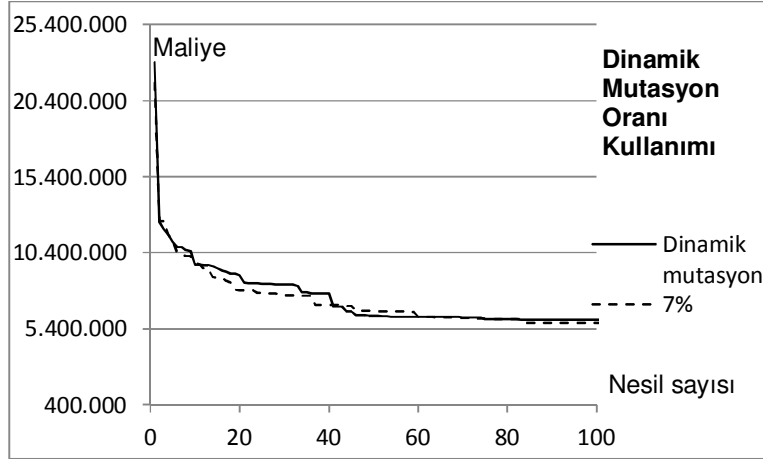
Dinamik mutasyon denemelerinin uygunluk değeri en iyi olan alternatifi ile %7 mutasyon oranı en iyi alternatifi bir araya getirilerek Şekil 6.74 'ten 6.76 'ya kadar olan grafikler oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Bu grafiklerde, yukarı doğru çıkan çizgiler dinamik mutasyon algoritmasına göre mutasyon oranının %1 değerinde arttırıldığı, aşağı doğru inen çizgiler ise mutasyon oranının %1 değerinde azaltıldığı noktaları belirtmektedir. Şekiller incelendiğinde, mutasyon oranının önce arttırılıp %2 değerine geldiği, sonra maliyetin düşme eğilimine girmesi nedeniyle %1 değerine geri düştüğü görülmektedir. Ancak sonrasında tekdüzelik baş gösterdiğinden, mutasyon oranı %4 değerine kadar 3 kere arttırılmıştır. Sonrasında yeniden maliyetin düşme eğilimine girmesi nedeniyle %3 değerine düşürülmüştür. Tekdüzelikle karşılaşıldığında mutasyon oranı %9 'a kadar arttırılmış, bir süre sonra %8 değerine düşürülmüştür. Hesaplamanın geri kalanında ise, mutasyon oranı son değer olan %11 değerine arttırılmıştır. Mutasyon oranı %11 'e ulaştıktan sonra başka bir artışa gidilmemiştir.

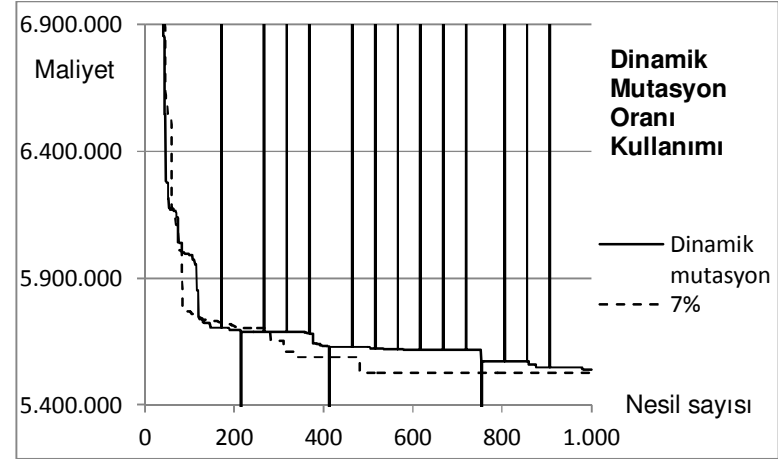
Denenen dinamik mutasyon oranı değişimi ile %7 mutasyon oranı denemesi uygunluk değerleri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.65 'te verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde, en uygun maliyetin %7 mutasyon oranında elde edildiği, beş denemede birbirine en yakın sonuçların ise dinamik mutasyon oranı kullanımında olduğu görülmüştür. Her iki durumda da birbirine çok yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.



Şekil 6.74 Mutasyon için minimum değerlerin grafiği



Şekil 6.75 Mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-1



Şekil 6.76 Mutasyon için minimum değerlerin grafiği detay-2

Çizelge 6.65 Mutasyon oranı belirleme yöntemleri için denemeler arası değişim yüzdeleri

Mutasyon Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
Dinamik Mutasyon	1	5.571.356,69	5.536.929,15	0,62%
	2	5.604.670,99		1,21%
	3	5.536.929,15		0,00%
	4	5.612.219,48		1,34%
	5	5.615.635,41		1,40%
%7	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%

Her ne kadar %7 mutasyon oranı kullanımında daha uygun sonuç elde edilmiş olsa bile, problemin çözümünde en uygun mutasyon oranının bulunması için birden fazla deneme yapma zorunluluğu nedeniyle, bu denemeler yerine dinamik mutasyon oranı kullanımının daha uygun olacağı görülmektedir.

6.2.2.20 Nesil Yenileme Denemesi

En uygun değere daha kısa zamanda ulaşabilmek ve tekdüze devam eden nesillerden kurtulmak için, nesil yenileme denemeleri yapılmıştır. Bu amaçla üst üste 50 nesil boyunca uygunluk değerinde %1 'den daha yüksek değişim olmazsa, neslin %10, %30 ve %50 'inin rastlantısal olarak değişmesi istenmiştir. Üst üste 50 nesil kontrolü, değişen bireylere uyum sağlama imkanı vermek için yapılmıştır. Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.66 'da verilmiştir.

Nesil yenileme işlemi için denenen üç oranın sonuçları Şekil 9.161 'den 9.169 'ye kadar verilmektedir. Her bir grafik üzerinde beşer denemenin sonuçları gösterilmiştir.

Denenen her nesil yenileme denemesi uygunluk değeri en iyi olan alternatifleri ile nesil yenileme kullanılmaması alternatifi bir araya getirilerek Şekil 6.77 'den 6.79 'a kadar olan grafikler oluşturulmuştur. Bu grafik incelendiğinde sonuçların birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Bu grafiklerde, aşağıya doğru inen çizgiler nesil yenileme işleminin yapıldığı noktaları belirtmektedir. Özellikle Şekil 6.79 'daki detay grafik incelendiğinde bazı nesil yenileme işlemlerinde olumlu sonuç alındığı ve uygun maliyet değerinin düşme eğilimine girdiği

görülmektedir. 50 nesil boyunca düşme eğiliminin kontrol edilmesi, yeni oluşturulan neslin kendini uygun maliyete getirebilmesi için bir süre verilmesi düşüncesi ile yapılmıştır.

Çizelge 6.66 Nesil yenileme için denenen genetik algoritma parametreleri

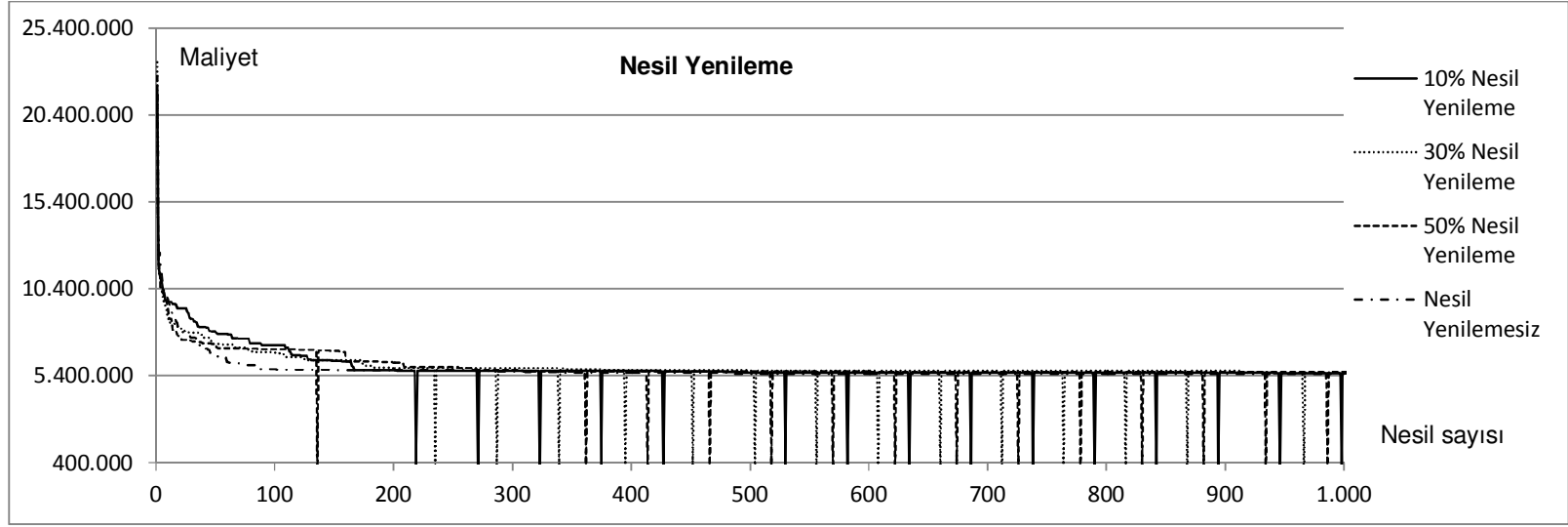
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	100
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%7
Nesil yenileme	<i>Ard arda 50 nesil boyunca uygunluk değerlerinde %1 'in üzerinde değişim olmaması durumunda</i>
Nesil yenileme oranı	<i>%10, %30, %50</i>

Denenen her nesil yenileme oranı için ayrı ayrı olmak üzere her sonuç, uygunluk değeri en iyi olan sonuçla karşılaştırılmış ve yüzde cinsinden değişim oranları Çizelge 6.67 'de verilmiştir.

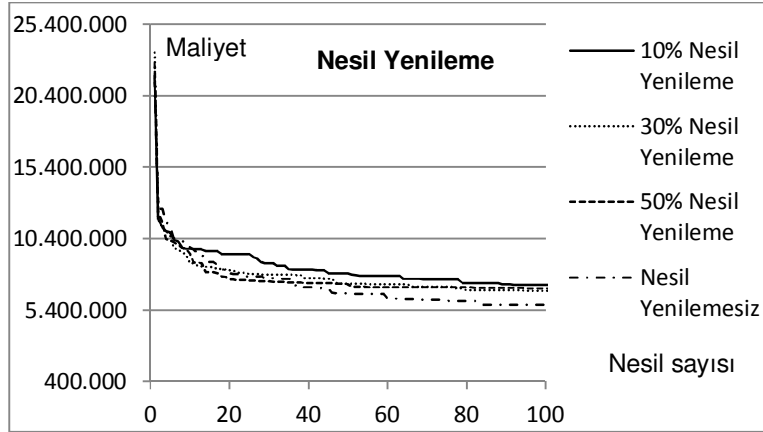
Çizelge incelendiğinde her ne kadar nesil yenilemesiz sonucun en uygun maliyet değerine sahip olsa da, tüm sonuçların birbirlerine yakın değerler ürettiği görülmektedir. Alternatifler arasında kendi aralarında minimum uygun maliyet değerine göre değişimlerine bakıldığında ise, %10 nesil yenileme durumunun birbirine en yakın değerleri ürettiği anlaşılmaktadır.

Çizelgeye nesil yenileme oranlarının birbirleriyle karşılaştırılması anlamında bakınca, nesil yenileme oranının düşük olması durumunda daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Nesil yenileme oranı arttıkça, uygun maliyet değeri artmaktadır. Bu durum fazla miktarda bireyin değiştirilmesi ile uygun maliyete ulaşma işleminin geciktirildiği olarak gösterilmiştir.

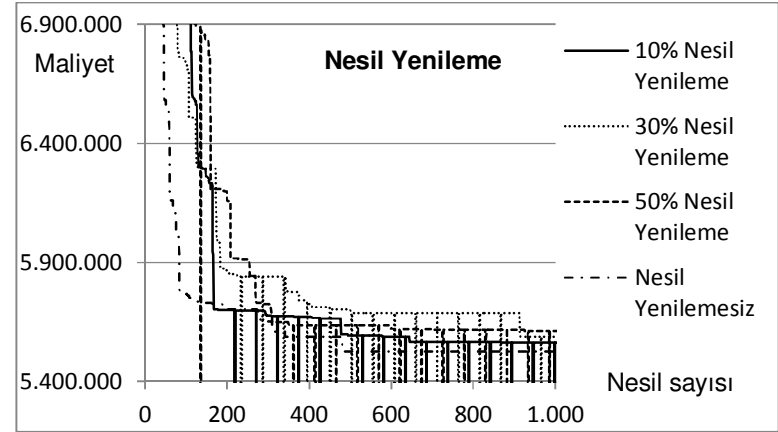
Nesil yenileme işlemlerinde diğer genetik parametreler, belirlenen en uygun değerlerde kullanılmıştır. Bu nedenle nesil yenileme sonuçları ile nesil yenilemesiz sonuçlar birbirlerinden fazla farklı çıkmamıştır.



Şekil 6.77 Nesil yenileme karşılaştırması grafiği



Şekil 6.78 Nesil yenileme karşılaştırması grafiği detay-1



Şekil 6.79 Nesil yenileme karşılaştırması grafiği detay-2

Çizelge 6.67 Her nesil yenileme oranı için denemeler arası değişim yüzdeleri

Nesil Yenileme Oranı	Deneme	Uygun Maliyet	En Uygun Maliyet	% Değişim Oranı
%10	1	5.618.497,21	5.562.480,72	1,00%
	2	5.625.106,43		1,11%
	3	5.597.288,28		0,62%
	4	5.562.480,72		0,00%
	5	5.574.820,61		0,22%
%30	1	5.589.301,22	5.589.301,22	0,00%
	2	5.635.740,36		0,82%
	3	5.597.096,44		0,14%
	4	5.654.396,27		1,15%
	5	5.639.635,68		0,89%
%50	1	5.611.462,62	5.611.462,62	0,00%
	2	5.667.034,60		0,98%
	3	5.705.656,92		1,65%
	4	5.646.060,08		0,61%
	5	5.638.694,51		0,48%
Yenilemesiz	1	5.568.135,20	5.525.068,48	0,77%
	2	5.525.068,48		0,00%
	3	5.605.199,75		1,43%
	4	5.627.923,88		1,83%
	5	5.584.259,98		1,06%

Ancak normal bir projede genetik algoritma parametrelerini belirlemek için denemeler yapma aşamasında, tekdüzeliği engellemek için nesil yenileme olayından yararlanılabilir.

6.2.2.21 Şebekeyi Bölümlere Ayırıp Çalıştırma Denemesi

Bu denemede şebekeyi birbirinden bağımsız bölümlere ayırarak hidrolik optimizasyonu çalıştırmak, sonuçların kabul edilebilir olup olmadığını araştırmak ve programın çalışma süresinin azalıp azalmadığının kontrol etmek amaçlanmıştır.

192 adet hattan oluşan Örnek şebeke – 6, program tarafından 91 bölüme ayrılmıştır. Bu şebeke bölümleri Çizelge 9.3 'te verilmektedir. Bu çizelge incelendiğinde, bölümlerde en az 1 en fazla 33 hat olduğu görülmektedir. Toplamda 192 hattı aynı anda optimize etmek yerine, en fazla 33 hattın optimize edilmesi konusu araştırılmaktadır.

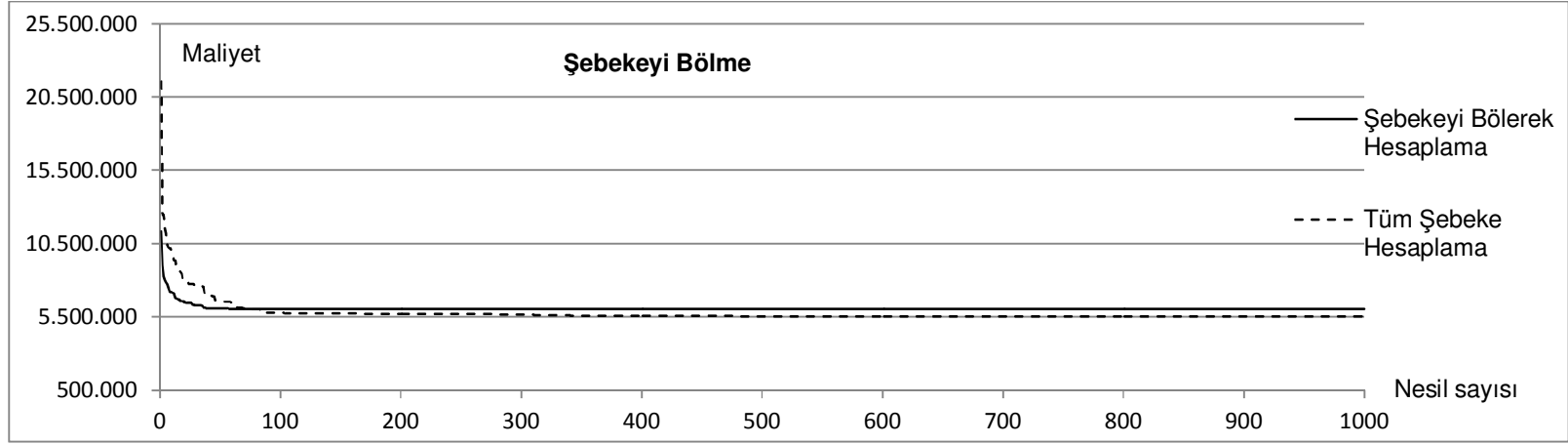
Denemeler için kullanılan ve sabit olarak alınan diğer genetik parametreler Çizelge 6.68 'de verilmiştir. Aynı seferde hesaplanacak hat sayısı maksimum 33 olduğundan, birey sayısı daha düşük olarak 40 kabul edilmiştir.

Çizelge 6.68 Nesil yenileme için denenen genetik algoritma parametreleri

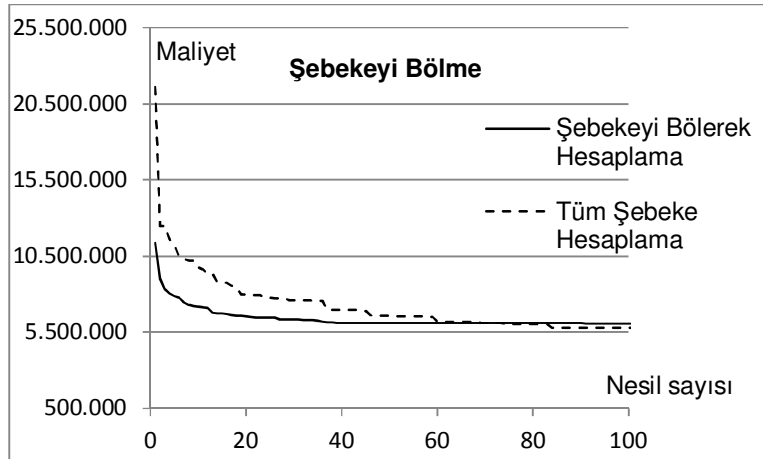
Nesil sayısı	1000
Sonlandırma	Nesil sayısı tamamlandıktan sonra
Bit uzunluğu	Kullanılması istenen farklı çap ve eğim sayısına göre
Birey sayısı	40
Elitizm oranı	%1
Ebeveyn seçimi	Turnuva
Turnuva oranı	0,75
Turnuva sayısı	2
İlave seçim yöntemi	En düşük değerle (1 adet)
Koruma oranı	Rastlantısal
Çaprazlama yöntemi	Tek noktalı (Rastlantısal sayıya göre kesilen noktadan)
Çaprazlama oranı	%50
Mutasyon oranı	%1 (Minimum), %10 (Maksimum) (Uygunluk değeri değişiminin %1 'in altında 50 nesil boyunca üst üste devam etmesi durumunda mutasyon oranı %1 artar)
Nesil yenileme	Ard arda 50 nesil boyunca uygunluk değerlerinde %1 'in üzerinde değişim olmaması durumunda
Nesil yenileme oranı	%10

Şebekeyi bölümlere ayırarak denemede yine beş farklı deneme yapılmıştır. Denemelerin uygunluk değeri en iyi olan alternatifi ile şebekenin tek seferde hesaplanması alternatifi bir araya getirilerek Şekil 6.80 'den 6.82 'ye kadar olan grafikler oluşturulmuştur.

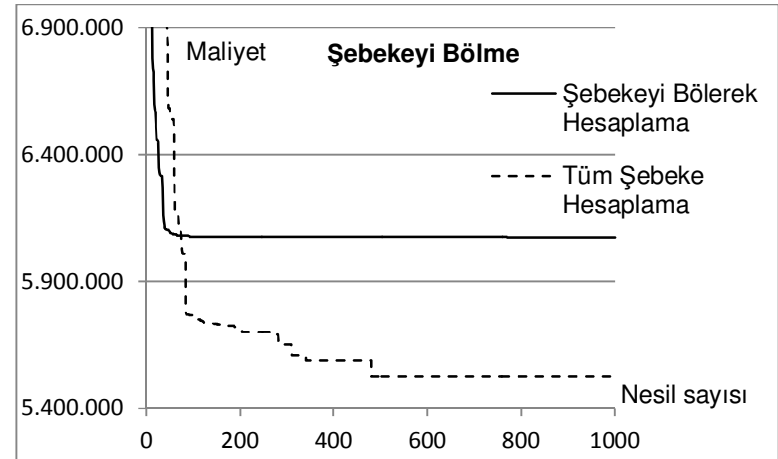
Sonuçlar incelendiğinde, şebekenin bölümlere ayrılarak hesaplanması durumunda oldukça erken bir nesil sayısı değerinde en uygun maliyetin elde edildiği görülmüştür. Detaylı bakıldığında şebeke bölümlerinden 1 tanesinde 771. nesilde, 1 tanesinde 206. nesilde, 6. tanesinde 100-150 arası nesil sayısında en uygun maliyet elde edilirken, 83 nesilde ilk 100 nesilde en uygun maliyet elde edilmiştir. Eğer bu yöntem hesaplamalarda kullanılacak olsa, hesaplamaların tekrar etme sayısı olan nesil sayısının 100 yerine çok daha düşük bir değer kabul edilmesi mümkün olacaktır. Nesil sayısının küçük bir değer kabul edilmesi, işlemlerin çok daha hızlı bir şekilde sonuçlanmasına neden olacaktır.



Şekil 6.80 Şebekeyi bölerek hesaplama için grafik



Şekil 6.81 Şebekeyi bölerek hesaplama grafiği detay-1



Şekil 6.82 Şebekeyi bölerek hesaplama grafiği detay-2

Tüm şebekenin bir arada hesaplanması durumunda 5.525.068,48 TL maliyet hesaplanmışken, şebekeyi bölümlere ayırarak hesaplama durumunda 6.073.642,83 TL maliyet elde edilmiştir. Yani şebekeyi bölümlere ayırarak elde edilen sonucun, elde edilen en uygun maliyet değerinden yaklaşık %10 daha fazla maliyet bulunduğu görülmektedir. %10 fazla maliyet elde edilmesinin gerekçeleri incelenmiş ve aşağıda açıklanan sonuçlara varılmıştır.

Bu şebeke için, kazı maliyeti ile boruların çaplarına göre maliyetleri karşılaştırıldığında kazı maliyetlerinin getirisinin daha düşük olduğu görülmektedir. Şebeke ayrı ayrı hesaplandığında, hidrolik optimizasyonla maliyeti düşürmek adına boru çap maliyetinden elde edilen kazanç kazıya verilen maliyetten daha fazla olduğundan, çap değerini düşürmek adına kazı derinliği artmaktadır. Her şebeke ayrı ayrı düşünüldüğünden, devam şebeke bölümleri hesaplanırken önceki şebeke bölümlerine müdahale şansı olmamakta ve önceki bölümlerden gelen yüksek kazı değerleri, kot takibi nedeniyle devam etmektedir. Bu durumda toplamda kazı miktarının artmasına neden olmaktadır. Herhangi bir şebeke bölümü hesaplanırken, başlangıcındaki kazı derinliği izin verilen maksimum kazı derinliğini geçmiş olsa da önceki hesaplamalardan kaynaklanan kazı derinliğinin azaltılması imkanı bulunmadığından, hesap devam etmektedir. Bu da sonuçta, gereksiz kazı derinliklerine yol açmaktadır.

Hesaplanan maksimumdan daha derin kazı derinliğini önlemenin yolu, kazının derinleştiği noktada terfi merkezi öngörmektir. Ancak terfi merkezinin maliyeti, kazının getirdiği maliyetten çok daha fazla olduğu için optimizasyonda terfi merkezi kendine yer bulamamıştır.

Aslında şebekeyi bölümlere ayırıp çalıştırma işlemi, klasik proje yapım işlemine benzemektedir. Çünkü klasik yöntemlerle proje yapımı sırasında tüm sistemi tek seferde göz önüne alma imkanı bulunmamaktadır. Bu çalışma optimizasyon kullanımının önemini daha iyi ortaya koymaktadır.

Bu handikaplarından dolayı, sadece optimizasyon süresini azaltmak amacıyla düşünülen şebekeyi bölümlere ayırarak optimizasyon yapma olgusu kullanılabilir değildir. Kullanılabilir olması için, bir şebeke bölümünde maksimum kazı derinliğinin aşılması durumunda o şebeke bölümünü bir üst seviyedeki şebeke bölümü ile birleştirip optimizasyon işlemini tekrar etme ile çözülebilir. Ancak kaç seviye şebeke bölümün birleştirilmesi gerektiği baştan bilinemeyeceğinden, optimizasyon süresini kısaltmak için düşünülen bu yönteminde çalışması için gereken sürenin artacağı açıktır. Bu nedenle bu konu program kapsamına alınmamıştır.

6.2.2.22 Hidrolik Optimizasyonu Sonucu

Aynı örnek şebeke – 6 üzerinde yapılan 2. grup hidrolik optimizasyon denemeleri sonucunda genetik algoritma parametrelerinde birey sayısının 100, elitizm oranının %1, ebeveyn seçimi için kullanılan turnuva yöntemindeki turnuva oranının %75 olduğu, ilave seçim

algoritması olarak sadece *en düşük değer seçimi* algoritmasının kullanılması gerektiği, bir sonraki nesle değişmeden geçecek bireylerin rastlantısal olarak belirlenmesi gerektiği, çaprazlama algoritması olarak tek noktalı çaprazlama kullanılırken çaprazlama oranının %50 ve mutasyon oranının ise %7 olduğu belirlenmiştir.

Denemeler sonucunda %7 mutasyon oranı kullanımında daha uygun sonuç elde edilmiş olsa bile, problemin çözümünde en uygun mutasyon oranının bulunması için birden fazla deneme yapma zorunluluğu nedeniyle, bu denemeler yerine dinamik mutasyon oranı kullanımının daha uygun olacağı anlaşılmıştır. Bu amaçla daha sonra yapılacak olan yön optimizasyonu problemlerinde, dinamik mutasyon kullanılması tercih edilecektir.

Denemeler sonucunda belirlenen en uygun değerlerde kullanılan genetik parametrelerle gerçekleştirilen nesil yenileme işlemlerinin sonuçları ile nesil yenilemesiz sonuçlar birbirlerinden fazla farklı çıkmamıştır. Ancak farklı bir projede genetik algoritma parametrelerini belirlemek için denemeler yapma aşamasında, tekdüzeliği engellemek için nesil yenileme olayından yararlanılabileceğine karar verilmiştir.

Örnek şebeke 6 'ya uygulanan hidrolik optimizasyonu sonucunda elde edilenler ile optimizasyonsuz projedeki boru çaplarının karşılaştırmaları Çizelge 6.69 'da verilmektedir. Çizelge incelendiğinde, projedeki çap değerlerinin küçüldüğü anlaşılmaktadır. Optimizasyonsuz projede yaklaşık 2 km. 'lik $\phi 2000$ 'lük boru bulunurken, optimizasyonlu projede ise en büyük kullanılan boru çapı $\phi 1800$ 'dir. Çizelgenin en sağ sütununda fark değerleri bulunmaktadır. Fark değerinin + olması, o satırdaki boru çapına ait optimizasyonlu projedeki miktarın optimizasyonsuz projeye göre arttığını, fark değerinin – olması ise azaldığını göstermektedir.

Çizelge 6.69 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu projelerin çap karşılaştırılması

Çap (mm)	Optimizasyonsuz Proje Uzunlukları (m)	Optimizasyonlu Proje Uzunlukları (m)	Fark (m)
$\phi 500$	9.107	9.498	391
$\phi 600$	792	1.160	368
$\phi 700$	247	0	-247
$\phi 800$	1.502	1.013	-489
$\phi 1000$	827	126	-701
$\phi 1200$	303	451	148
$\phi 1400$	160	730	570
$\phi 1600$	95	0	-95
$\phi 1800$	298	2.340	2.042
$\phi 2000$	1.987	0	-1.987
Toplam	15.318	15.318	

Optimizasyonsuz projede yaklaşık olarak 85.300 m³ kazı çıktığı, optimizasyonlu projede ise 500 m³ daha az kazı elde edildiği anlaşılmıştır. Projedeki maliyet değerlerinin özelliğinden dolayı, optimizasyon programı çap değerini azaltarak maliyeti azaltma yoluna gittiği, bu nedenle çap değerine göre kazı değerinin daha az azaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca deşarj noktasındaki boru taban kotları arasında bir fark olmadığı yani optimizasyonlu proje ile deşarjda problem olmayacağı görülmüştür.

Projenin klasik programlar kullanılarak gerçekleştirilmesi sonucunda, optimizasyonsuz maliyet değerinin 5.827.500,- TL olarak bulunduğu görülmüştür. Hidrolik hesap optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde 5.525.068,48 TL maliyet elde edilerek proje optimizasyonsuz maliyetinin altına inildiği yani daha iyi sonuçlar bulunabildiği görülmektedir. Bu maliyet değerleri Çizelge 6.70 'te de verilmektedir. Optimizasyonlu maliyet değerinin optimizasyonsuz maliyete göre %5,47 daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm genetik algoritma parametreleri denemelerinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm sonuçların optimizasyonsuz maliyetten daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

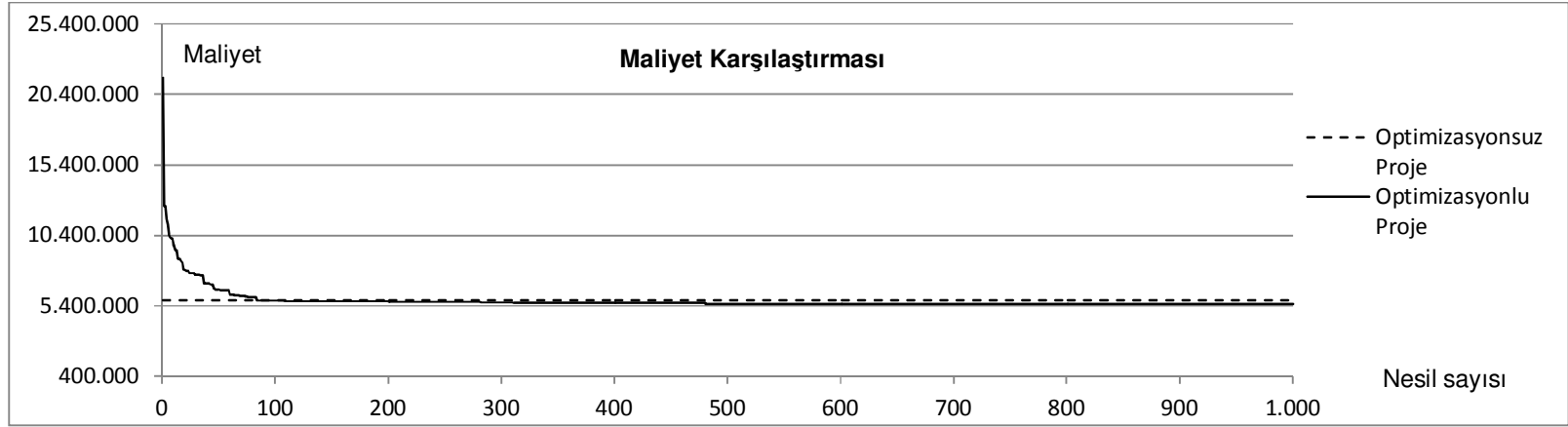
Çizelge 6.70 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu projelerin maliyet karşılaştırılması

Optimizasyonlu En Uygun Maliyet	Optimizasyonsuz Maliyet	% Değişim Oranı
5.525.068,48	5.827.500,00	-5,47%

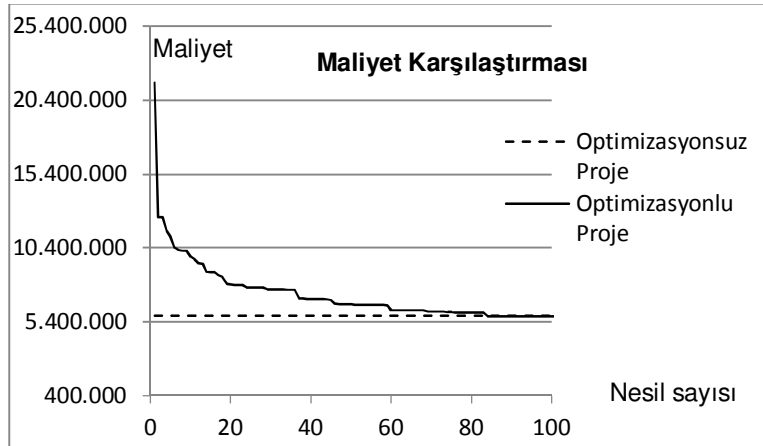
Elde edilen en iyi optimizasyon sonucu, optimizasyonsuz maliyet değeri ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.83 – 6.85 arasında verilmektedir.

Proje maliyetinin azalmasının yanında, proje hazırlama sürecinde geçen zamandan da tasarruf edilmektedir. Aynı projenin klasik programlarla yapılması için geçen sürenin 3 hafta olduğu öğrenilmiştir. Optimizasyonlu projenin yapılması sırasında ise, tüm genetik algoritma parametrelerinin denenmesi ve 2 grup deneme yapılması da dahil olmak üzere yaklaşık 1 haftalık bir süre yetmiştir. Doktora çalışması tez denemesinde, tüm genetik algoritma parametrelerinin denendiği, gerçek bir proje yapımı sırasında dinamik mutasyon oranı kullanımı gibi zaman kısaltıcı faktörlerin süreyi daha da kısaltacağı düşünüldüğünde büyük bir avantaj elde edildiği açıktır.

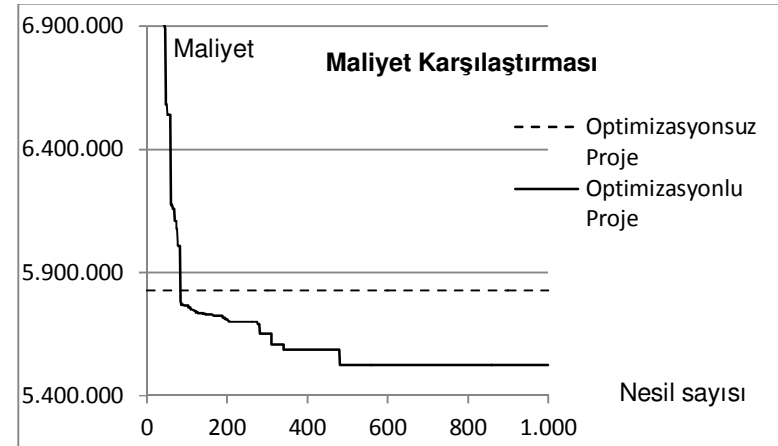
Hidrolik hesap optimizasyonu ile elde edilen sonuçların optimizasyonsuz proje maliyetinden düşük olması ve proje yapım süresinden de tasarruf edileceğinin görülmesi doktora tezi kapsamında üzerinde çalışılan algoritmanın ve hazırlanan programın amacına ulaştığını göstermektedir.



Şekil 6.83 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu maliyet karşılaştırması grafiği



Şekil 6.84 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu maliyet karşılaştırması grafiği detay-1



Şekil 6.85 Optimizasyonsuz ve optimizasyonlu maliyet karşılaştırması grafiği detay-2

7. SONUÇLAR

Kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin oluşturulması sırasında en uygun maliyetle bu işlemin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Projelerin yapısı gereği en uygun maliyetli alternatifi bulabilmek için, çok fazla alternatifin denenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ancak herhangi bir mühendisin çok sayıda alternatifi ayarlayıp denemesi, klasik programlarla mümkün olamamaktadır.

Çok sayıda alternatifin denenmesi ve aralarından en uygun olanının seçilmesi amaçlandığında, uygun bir optimizasyon yönteminin kullanılması kaçınılmazdır. Bu çalışmada çeşitli optimizasyon yöntemleri araştırılmış ve en uygunu olarak genetik algoritma seçilmiştir.

Genetik algoritma, evrim teorisindeki en iyi olan bireyin hayatta kalma ve genlerini sonraki nesillere aktarma olasılığının esasına dayanmaktadır. Genetik algoritma, karmaşık fonksiyonların maksimum veya minimum global optimum noktalarının bulunması için gerekli çözümü sağlayan bir yöntemdir. Genetik algoritma yöntemi, çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. En iyinin yaşaması ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler (veya çözüm adayları) üretir. Genetik algoritmalar, parametrelerin kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışır ve sonuca ulaşmak için amaç fonksiyonuna gereksinim duyar.

Bu doktora çalışması sırasında, kentsel yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin optimizasyonu ile ilgili olarak, özelde Türkiye çapında yararlanılmak üzere, genetik algoritma optimizasyon tekniği kullanılarak sistemi minimum inşaat maliyetiyle oluşturacak bir algoritma geliştirilmiştir.

Bu amaçla bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programda kullanım esnekliği sağlamak ve probleme has olarak üretilen farklı algoritmaları denemek amacıyla ve genetik algoritma ile ilgili herhangi hazır bir araç kullanılmamıştır. Hidrolik hesaplamalar içinde başka bir programdan yararlanılmamış ve tezde çalışılan programın her aşaması bilfiil hazırlanmıştır. Program tamamıyla kullanıcı tarafından seçilebilecek parametrelere göre çalışacak şekilde düzenlenmiştir. Böylece hem hidrolik hesaplamalar hem de genetik algoritma farklı parametrelerle birlikte kullanıma uygun hale getirilmiştir.

Optimizasyon programında ilk olarak şebeke plan tasarımı göz önüne alınmıştır. Ağ şeklinde olan şebeke formlarında şebekenin tasarımı maliyeti doğrudan etkilemektedir. Yön optimizasyonu programına veri olarak hatların köşe noktalarının kotları, hatların uzunlukları, her hattan ayrı ayrı geçen kendi debi değerleri ve tüm projenin deşarj noktası alınmaktadır. Şebekenin ağaç formunda olan bölümlerinde yönler program tarafından otomatik olarak belirlenip, ağ formunda olan bölümleri için rastlantısal olarak belirlenmektedir. Şebekenin ağ

formundaki kısımdaki hatların yönleri belirlenirken hatların iki ucundaki kotlara göre bir akış yönü rastlantısal olarak belirlenmekte ve her hat için tek bitlik yön bilgisi oluşturulmaktadır. Bu tek bitlik veri, hattın cazibeli akış veya terfili akışa sahip olduğunu göstermektedir. Ardından çeşitli kontroller gerçekleştirilerek uygun olmayan şebeke tasarım alternatifleri elenmektedir.

Öncelikle deşarj noktasına doğru yönlendirilmiş olan hatlar belirlenip, gerekli yön değişiklikleri rastlantısal olarak yapılarak şebekede belirlenen deşarj noktasının tek deşarj olması sağlanmaktadır. Hatların birleştiği noktalarda tek bir devam hattının bulunması ve diğer çıkış hatlarının başlangıç hatları olarak ayarlanması yine rastlantısal olarak seçilerek sağlanmaktadır. Şebeke üzerinde hatlar arasında döngü bulunuyorsa, rastlantısal olarak yön değişimi işlemi yapılarak döngülerin önüne geçilmektedir.

Yön değerlerinin ayarlanmasından sonra literatürde bulunan yaklaşık maliyet formülüne kot ve eğim durumlarına göre seçilen çeşitli ceza bedellerinin ilave edilmesi ile şebekenin maliyeti hesaplanmaktadır. İlave edilen ceza bedelleri ile, tersine eğime sahip hatların, dik eğimli arazide veya çok düz eğime sahip arazide bulunan hatların kot durumları sonucunda ortaya çıkan kazı artışlarının göz önüne alınması amaçlanmıştır. Ayrıca hatların kademe bilgileri de ceza bedelleri konusunda dikkate alınmıştır. Böylece henüz açılmamış yollardaki hatlara 1. kademe hatlardan gelen suların geçirilmesi durumunda, bu yolların açılması ve düzenlenmesi maliyeti de hesaba katılmış olmaktadır.

Ceza bedellerinin tek tip olarak belirlenmesi yerine, hat uzunluğuna ve içinden geçen toplam debiye göre farklı değerlerde seçilmesi tercih edilmiştir.

Yön optimizasyonu ile belirlenen en uygun yaklaşık maliyetli şebeke tasarımı, bir sonraki aşama olan hidrolik optimizasyon programına veri olarak gönderilmektedir. Hatların genel bilgileri olan köşe noktalarının kotları, hatların uzunlukları ve tüm projenin deşarj noktasının yanında, yön optimizasyonunda yön değerlerinin belirlenmesi ile birlikte hesaplanan her hattaki toplam debi değeri de veri olarak alınmaktadır.

Hatlarla ilgili bilgilerin yanında hidrolik hesaplamalarda veri olarak kullanılmak üzere, projede kullanılması istenen boru tipinin seçimi ve borularla ilgili olarak çap değerleri ve her çapa ait izin verilen minimum ve maksimum eğimler ile çaplara özel maksimum doluluk oranları alınmaktadır. Yine borularla ilgili olarak kazı hesabında kullanılmak üzere çaplara göre boru altı yataklama kalınlığı, boru et kalınlığı, boruyu yerleştirmek için gereken kazı taban genişliği, boruların birim hacimleri ve her borunun maliyet değeri veri olarak alınmaktadır.

Kullanılan diğer hidrolik optimizasyon verileri, hız hesaplamasında kullanılmak üzere öncelikle Manning, Kutter, Prandtl-Colebrook, Hazen-Williams veya Darcy-Weisbach formüllerinden hangisinin hız hesabında kullanılacağına seçilmesi, belirlenen hız formülüne

göre gerekli boru katsayısı değerlerinin seçimi ile hızın belirlenmesinin ardından kullanılacak olan sınırlamalar için izin verilen minimum ve maksimum hız değerleri $V_{\min}$ ve $V_{\max}$ 'tır.

Ayrıca borunun yerleştirilmesi için kullanılması için izin verilen minimum ve maksimum boru üstü derinliği, metrajda kullanmak üzere baca genişlikleri, baca altı yataklama kalınlığı, baca iç çapı miktarı, boru ve bacalarla ilgili kazı bedelleri ve bacayı oluşturan elemanların birim fiyatları da alınan diğer verilerdir.

Hidrolik optimizasyon programında şebeke maliyetini doğrudan etkileyen hatlardaki boru çap değeri ve kazı dolayısı ile eğim değerleri genetik algoritma verisi olarak alınmaktadır. Rastlantısal olarak belirlenen çap ve eğim değerleri içinde, sadece tersine eğime sahip hatlar için eğim bilgisi minimum değerde kabul edilmektedir. Tıpkı yön optimizasyonundaki genetik algoritma hesaplaması öncesinde gerçekleştirildiği gibi, uygun olmayan sonuçlara götüren bireyler düzenlenirler.

Hidrolik optimizasyonda şebeke maliyeti hesabında, projenin yapıldığı idarenin uygun gördüğü maliyet formüllerinden yararlanılmaktadır. Sonuç olarak en optimum şebeke planı üzerinden optimum çap ve eğim / kazı değerleri belirlenmesi amaçlanmıştır.

Program tamamlandığında, farklı özellikler taşıyan hazırlanmış çeşitli gerçek projeler üzerinde denenmiş ve optimizasyonsuz maliyetin hazırlanan programla düşürülüp düşürülemediği araştırılmıştır. Denemeler sırasında tüm genetik genetik algoritma parametreleri için farklı değerler göz önüne alınmış ve probleme has olarak geliştirilen algoritmalar ayrı ayrı denenmiştir. Yapılan bütün denemeler sonucunda en uygun genetik algoritma parametreleri belirlenmiş ve daha sonraki projelerde kullanılmak üzere bazı kabuller yapılmasına karar verilmiştir.

Gerçek projelerle yapılan denemelerden ilkinde Denizli 'nin bir beldesine ait 17.571 m. uzunluğunda 389 hattın oluşan ağ formundaki ayrık sistem bir kanalizasyon şebekesinden yararlanılmıştır. İlk olarak yön optimizasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen optimum şebeke tasarımı hidrolik optimizasyon programına veri olarak gönderilmiştir. Sonuçta elde edilenler karşılaştırıldığında, optimizasyonsuz projede yaklaşık 33.000 m³ kazı bulunurken, optimizasyon sonucunda elde edilen projede yaklaşık 208 m³ daha az kazı çıktığı görülmektedir. Çaplar incelendiğinde de optimizasyonsuz projede $\phi 300$ 'lük çap çıkan bazı hatlarda $\phi 200$ 'lük çapın yeterli geldiği anlaşılmıştır. Maliyetler açısından bakıldığında, optimizasyonsuz proje maliyetinin 1.784.600,- TL olduğu ve optimizasyon programı sonucunda 1.692.224,71 TL maliyet bulunduğu görülmektedir. Böylece optimizasyon programı ile optimizasyonsuz maliyetin yaklaşık %5,5 altına inildiği yani daha iyi sonuçlar bulunabildiği anlaşılmaktadır.

Gerçek projelerle yapılan denemelerin ikincisinde Kıbrıs 'ta bir beldeye ait 15.318 m. uzunluğunda 192 hattan oluşan ağaç formundaki ayırık sistem bir yağmur suyu şebekesinden yararlanılmıştır. Yağmur suyu şebekelerinin yapıları gereği, çap değişimleri daha hızlı ve çok miktarda olduğundan özellikle deneme için seçilmiştir. Seçilen şebeke ağaç yapısında olduğundan, yön optimizasyonu programına ihtiyaç olmadan hidrolik optimizasyona geçilmiştir. Sonuçta elde edilenler karşılaştırıldığında, optimizasyonsuz projede yaklaşık 85.300 m³ kazı bulunurken, optimizasyon sonucunda elde edilen projede yaklaşık 500 m³ daha az kazı çıktığı görülmektedir. Sonuçlara çaplar açısından bakıldığında, optimizasyonsuz proje ϕ 2000 'lik boru ile sonlanırken optimizasyonlu projede ϕ 1800 'lük boru ile sonlandığı görülmektedir. Hatlardaki çaplar incelendiğinde daha küçük çaplar elde edildiği anlaşılmıştır. Maliyetler açısından bakıldığında, optimizasyonsuz proje maliyetinin 5.827.500,- TL olduğu ve optimizasyon programı sonucunda 5.525.068,48 TL maliyet bulunduğu görülmektedir. Böylece optimizasyon programı ile optimizasyonsuz maliyetin yaklaşık %5,5 altına inildiği yani daha iyi sonuçlar bulunabildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca proje yapım süresinin optimizasyonsuz proje yapım süresine göre üçte biri değerine kadar düştüğü anlaşılmıştır.

Gerçek projeler üzerinde gerçekleştirilen bu denemelerin tamamında, hazırlanan programla elde edilen maliyetlerin optimizasyonsuz proje maliyetlerinin altına indiği yani daha uygun sonuçlar ürettiği görülmüştür. Böylece doktora tezi kapsamında üzerinde çalışılan algoritmanın ve hazırlanan programın amacına ulaştığı anlaşılmıştır.

Optimizasyon programları hazırlanırken özel bazı algoritmalar geliştirilmiştir. Bunlardan biri "*En Düşük Değer Seçimi*" algoritmasıdır. Bu algoritmada, her bir hat için o nesilde yer alan tüm bireylere ait maliyet değerleri incelenmekte ve o hat için bu maliyetler arasında en düşük olan birey belirlenmektedir. O bireyin ilgili hattına ait çap ve eğim değeri bir sonraki nesle aktarılacak üzere yeni bireye yazılmaktadır. Böylece her nesilde bir adet birey, her bir hat için en düşük değere sahip olacak şekilde düzenlenmektedir. Çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin ardından en düşük maliyetli birey, rastlantısal olarak seçilen ve elit bireyler arasında yer almayan bir birey olarak atanmaktadır ve bireyin bir sonraki nesle aktarılması garanti altına alınmaktadır. Yapılan denemelerde, en düşük değer seçimi ile oluşturulan bireyin, her zaman bir sonraki nesilde yine düşük maliyetli bireyler arasında yer aldığı ve bu algoritmanın kullanılması durumunda daha uygun bedelli maliyetler elde edildiği görülmektedir.

Dinamik mutasyon oranı kullanımı ile hesaplamalar sırasında elde edilen maliyetlerin nesiller arası kontrol edilmesi sonucunda maliyet değişim oranının 50 nesil boyunca %1 'in altında kalması durumunda mutasyon oranı arttırılmakta, değişim oranının %1 'den fazla olması durumunda mutasyon oranı azaltılmaktadır. Mutasyon oranı, belirlenen maksimum mutasyon oranı değerine kadar arttırılabilmekte, maksimum mutasyon oranına ulaştığında sabit kalmaktadır. Benzer şekilde minimum mutasyon oranı değerine kadar azaltılabilmekte,

minimum mutasyon oranına ulaştığında sabit kalmaktadır. Böylece neslin tekdüze hale gelmesi durumunda, kullanılan dinamik mutasyon oranı değişimi ile bireylerde daha fazla değişim yapılması ve daha uygun bedellerin daha kısa sürelerde elde edilmesi amaçlanmıştır.

Nesil yenileme işleminde hesaplamalar sırasında elde edilen maliyetlerin nesiller arası kontrol edilmesi sonucunda maliyet değişim oranının 50 nesil boyunca %1 'in altında kalması durumunda neslin belirli bir oranı rastlantısal olarak yeniden belirlenmektedir. Böylece neslin tekdüze hale gelmesi durumunda, nesil yenileme işlemi ile bireylerde daha fazla değişim yapılması ve daha uygun bedellerin daha kısa sürelerde elde edilmesi amaçlanmıştır.

Doktora çalışması kapsamında literatürde yapılan taramada yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin optimizasyonu ile ilgili çalışmalarda karşılaşılmayan bazı konularda yeni algoritma geliştirilmiş ve farklı genetik algoritma kullanımlarına yer verilmiştir. Daha önceden denenmeyen ve yeni olarak doktora tezi kapsamında ortaya konan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir :

- Literatürde az sayıda karşılaşılan hem şebeke tasarımının hem de hidrolik tasarım optimizasyonunun aynı program içinde gerçekleştirilmesi,
- Geliştirilen programın her türlü arazi ve proje koşuluna göre her hangi bir kısıtlama veya projeye özel kabule yer olmaksızın kullanılabilmesi,
- Programın interaktif olması yani her aşamasında kullanılan parametrelerin kullanıcı tarafından belirlenebilir veya değiştirilebilir olması,
- Literatürdeki benzer çalışmalarda öngörülme ve her tür arazi şeklinin yaklaşık maliyet üzerine etkilerinin dahil edilebilmesi amacıyla ilave ceza bedeli kullanımı,
- Genetik algoritma işlemlerinin daha erken sonuca ulaşması amacıyla konuya has yeni bir özel çaprazlama algoritmasının (En düşük değerle (1 adet)) gerçekleştirilmesi,
- Benzer çalışmalarda daha önce hiç denenmemiş bir konu olan ve farklı mutasyon oranları denemelerinin yerine kullanılabilecek olan dinamik mutasyon oranı kullanımı,
- Benzer çalışmalarda daha önce hiç denenmemiş bir konu olan ve tekdüzeliği önlemek adına kullanılabilecek olan nesil yenileme algoritması kullanımı.

Doktora çalışmasından da görüldüğü üzere optimizasyon programının çalışması için, projeye uygun genetik algoritma parametrelerinin seçilmesi gerekmektedir. Optimizasyon konusuna yabancı mühendislerin proje yapımı sırasında genetik algoritma parametrelerinin seçiminde yetersiz kalmaları kuvvetle muhtemeldir. Bir çözüm yöntemi olarak bütün genetik algoritma parametre alternatiflerinin ayrı ayrı denenmesi önerilebilir. Ancak bu denemelerin çok vakit alacak olması nedeniyle farklı bir çözüm üzerinde durulmaktadır. Alternatifli genetik

algoritma parametrelerinin bir deney seti olarak tanımlanması ve farklı optimizasyon yöntemleri yardımı ile kullanılacak genetik algoritma parametrelerinin seçilmesi işlemi, doktora sonrasında çalışılmak üzere yeni bir araştırma konusu olarak önerilmektedir.

8. KAYNAKLAR

1. Abeyesundara, S., Giritharan, B., Kodithuwakku, S., A Genetic Algorithm Approach To Solve The Shortest Path Problem For Rad Maps, 2005.
2. Adeli, H., Sarma, K. C., Cost Optimization Of Structures, Fuzzy Logic, Genetic Algorithms And Parallel Computing, 2006.
3. Afshar, M.H., Marino, M.A., Application Of An Ant Algorithm For Layout Optimization Of Tree Networks, 2006.
4. Afshar, M.H., Improving the Efficiency Of Ant Algorithms Using Adaptive Refinement: Application To Storm Water Network Design, 2006.
5. Afshar, M.H., Application Of A Genetic Algorithm To Storm Sewer Network Optimization 2006.
6. Afshar, M.H., Partially Constrained Ant Colony Optimization Algorithms For the Solution Of constrained Optimization Problems: Application To Storm Water Network Design, 2007.
7. Afshar, M.H., Jabbari, E., Simultaneous Layout And Pipe Size Optimization Of Pipe Networks Using Genetic Algorithm, 2008.
8. Afshar, M.H., A Parameter Free Continuous Ant Colony Optimization Algorithms For the Optimal Design Of Storm Sewer Networks: Constraint And Unconstraint Approach, 2009.
9. Afshar, M.H., Shahidi, M., Rohani, M., Sargolzaei, M., Application Of Cellular Automata To Sewer Network Optimization Problems, 2011.
10. Afshar, A., Madadgar, S., Jalali, M.R., Sharifi, F., Performance Of Different Ant-Based Algorithms For Optimization Of Mixed Variable Domain In Civil Engineering Designs, 2012.
11. Afshar, M.H., Rohani, M., Optimal Design Of Sewer Networks Using Cellular Automata – Based Hybrid Methods: Discrete And Continuous Approaches, 2012.
12. Afshar, M.H., Rebirthing Genetic Algorithm For Storm Sewer Network Design, 2012.
13. Ağaçoğlu, H., Yüksel, Y., Atık Su ve Yağmur Suyu Kanal Sistemlerinin İnşaa ve İşletme Problemleri, 1992.
14. Ali, E.E.E., A Proposed Genetic Algorithm Selection Method, 2006.
15. Allen, R.G., Relating The Hazen-Williams and Darcy-Weisbach Friction Loss Equations For Pressurized Irrigation, 1996.
16. Angelova, M., Pencheva, T., Tuning Genetic Algorithm Parameters To improve Convergence Time, 2011.
17. Bares, V., Jirak, J., Pollert, J., Spatial And Temporal Variation Of Turbulence Characteristics In Combined Sewer Flow, 2008.
18. Bartlett, R., Public Health Engineering Sewerage, 1970.
19. Behzadi, S., Alesheikh, A.A., A Pseudo Genetic Algorithm For Solving Best Path Problem, 2008.

20. Bester, A.J., Jacobs, H., Van Der Merwe, J., Fuamba, M., Unit Cost – Functions For Value Estimation Of Waterborne Sewer Infrastructure, 2010.
21. Bishop, R.R., Hydraulic Characteristics Of PVC Pipe In Sanitary Sewers (A Report Of Field Measurements), 1978.
22. BMT Mühendislik, Bilgisayar, Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti., Çeşitli Yağmur Suyu Ve Kanalizasyon Proje Verileri İle Sonuçları, 1992-2011.
23. Boulos, P., A Graph-Theoretic Approach To Explicit Nonlinear Pipe Network Optimization, 1991.
24. Bonakdari, H., Establishment Of Relationship Between Mean And Maximum Velocities In Narrow Sewers, 2012.
25. Brand, N., Ostfeld, A., Optimal Design Of Regional Wastewater Pipelines And Treatment Plant Systems, 2011.
26. Burch, N., Holte, R., Müller, M., O'Connell, D., Schaeffer, J., Automating Layouts Of Sewers In Subdivisions, 2006.
27. Cantu-Paz, E., Selection Intensity In Genetic Algorithms With Generation Gaps, 2000.
28. Chadwick, A., Morfett, J., Hydraulics In Civil And Environmental Engineering, 1986.
29. Chambers, L., The Practical Handbook Of Genetic Algorithms, 2001.
30. Chang, S.Y., Asce, A.M., Liaw, S.L., Generating Designs For Wastewater Systems, 1985.
31. Chanson, H., Environmental Hydraulics Of Open Channel Flows, 2004.
32. Chanson, H., The Hydraulics Of Open Channel Flow: An Introduction, 2004.
33. Chaudry, M.H., Open Channel Flow, 2008.
34. Charbonneau, P., An Introduction To Genetic Algorithms For Numerical Optimization, 2002.
35. Chitra, C., Subbaraj, P., A Nondominated Sorting Genetic Algorithm For Shortest Path Routing Problem, 2010.
36. Cimorelli, L., Cozzolino, L., Covelli, C., Mucherino, C., Palumbo, A., Pianese, D., Optimal Design Of Rural Drainage Networks, 2012.
37. Coley, D.A., An Introduction To Genetic Algorithms For Scientists And Engineers, 1999.
38. Çoban, M.T., Borulardaki Sürtünme Kayıpları Analizinde Darcy-Weisbach Sürtünme Katsayısı Hesaplarında Colebrook-White Denklemi Yerine Geçecek Döngüsel Olmayan Çözümlü Denklemlerin Hata Analizi, 2009.
39. Çeşitli Üretici Firmaların Borularla İlgili Katalogları.
40. Çetin, T., Yurdusev, M.A., "Network Optimization of Urban Stormwater And Sewer Systems By Genetic Algorithms", The Second International Conference On Water, Energy And The Environment ICWEE2013, Eylül, 2013.
41. Çetin, T., Yurdusev, M.A., "Yağmursuyu Ve Kanalizasyon Sistemi Tasarımında Kullanılan Hız Formüllerinin Karşılaştırılması", VII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Eylül, 2013, Isparta.
42. Çevre ve Orman Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 2004.

43. Çevre ve Orman Bakanlığı, Atık Su Arıtma Tesisleri için İş Termin Planı, 2006.
44. Çevre ve Orman Bakanlığı, Kentsel Atık Su Arıtımı Yönetmeliği, 2006.
45. Davies, C., Lingras, P., Genetic Algorithms For Rerouting Shortest Paths In Dynamic And Stochastic Networks, 2003.
46. De Jong, K.A., An Analysis Of The Behavior Of A Class Of Genetic Adaptive Systems, 1975.
47. De Shaetzen, W.B.F., Walters, G.A., Savic, D.A., Optimal Sampling Design For Model Calibration Using Shortest Path, Genetic And Entropy Algorithms, 2000.
48. Deeter, D..L., Smith, A.E., Economic Design Of Reliable Networks, 2007.
49. Diogo, A.F., Walters, G.A., De Sousa, E.R., Graveto, V.M., Three-Dimensional Optimization Of Urban Drainage Systems, 2000.
50. Diwekar, U., Introduction To Applied Optimization, 2008.
51. Dobersek, D., Goricanec, D., Optimisation Of Tree Path Pipe Network With Nonlinear Optimisation Method, 2009.
52. Engin, O., Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, 2001.
53. Ermolin, Y.A., Mathematical Modelling For Optimized Control Of Moscow's Sewer Network, 1999.
54. Field, R., Sullivan, D., Tafuri, A.N., Management Of Combined Sewer Overflows, 2004.
55. Gen, M., Cheng, R., Oren, S.S., Network Design Techniques Using Adapted Genetic Algorithms, 2001.
56. Gen, M., Cheng, R., Lin, L., Network Models And Optimization, 2008.
57. Giroud, J.P., Palmer, B., Dove, J.E., Calculation Of Flow Velocity In Pipes As A Function Of Flow Rate, 2000.
58. Goldberg, D.E., Genetic Algorithm In Search, Optimization And Machine Learning, 1989.
59. Guo, Y., Walters, G., Khu, S.T., Keedwell, E., Optimal Design Of Sewer Networks Using Hybrid Cellular Automata And Genetic Algorithm, 2006.
60. Guo, Y., Walters, G., Khu, S.T., Keedwell, E., A Novel Cellular Automata Based Approach To Storm Sewer Design, 2007.
61. Guo, Y., Walters, G., Savic, D., Optimal Design Of Storm Sewer Networks : Past, Present, Future, 2008.
62. Guo, C., Yang, X., A Programming Of Genetic Algorithm In Matlab 7.0, 2011.
63. Gupta, A., Kripakaran, P., Mahinthakumar, G.K., Baugh Jr., J.W., Genetic Algorithm – Based Decision Support For Optimizing Seismic Response Of Piping Systems, 2005.
64. Hagher, W.H., Wastewater Hydraulics, 1999.
65. Haghighi, A., Bakhshipour, A.E., Optimization Of Sewer Networks Using An Adaptive Genetic Algorithm, 2012.

66. Haghighi, A., loop by Loop Cutting Algorithm To Generate Urban Drainage Systems Layout, 2012.
67. Hasançebi, O., Erbatur, F., Evaluation Of Crossover Techniques In Genetic Algorithm Based Optimum Structural Design, 2000.
68. Haupt, R.L., Haupt, S.E, Practical Genetic Algorithms, 2004.
69. Henderson, F.M., Open Channel Flow, 1966.
70. Holden, R., Val, D.V., Burkhard, R., Nodwell, S., A Network Flow model For Interdependent Infrastructures At The Local Scale, 2013.
71. Holland, J., Adaptation In Natural And Artificial Systems, University Of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
72. İller Bankası, Kanalizasyon İşlerinin Planlanması ve Projelerinin Hazırlanmasına Ait Talimatname, 1991
73. İller Bankası, Atık Su Projelendirme Esasları, 2011.
74. İmo, Kanal Semineri Notları.
75. İSKİ, Kanal Proje ve İhale Dökümanları - Kanalizasyon Projeleri Teknik Şartnamesi, 1987.
76. Ito, T., A Genetic Algorithm Approach To Piping Route Path Planning, 1999.
77. Izquierdo, J., Montalvo, I., Perez, R., Fuertes, V.S., Design Optimization Of Wastewater Collection Networks by PSO, 2008.
78. Kalınlı, A., Aksu, Ö., Baskın Gen Seçimi Operatörüne Dayalı Genetik Algoritma Modeli, 2011.
79. Kahraman, A.M., Özdağlar, D., Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, 2004.
80. Karpuzcu, M., Su Temini ve Çevre Sağlığı, Kubbealtı Neşriyatı, 2005.
81. Kay, M., Practical Hydraulics, 1998.
82. Kavvas, M., Kanalizasyon Borularındaki Akım Değişmelerinin Doluluk Oranı Ve Akım Hızına Etkisi, 1999.
83. Kavvas, M., Önerilen Minimum Akış Hızının Değerlendirilmesi, 2000.
84. Kaya, B., Özdağlar, D., Dairesel Kesitli Kanallarda Kritik Akım Koşullarının İncelenmesi, 1997.
85. Kocay, W., Kreher, D.L., Graphs, Algorithms, And Optimization, 2004.
86. Kotecha, K., Gambhava, N., A Hybrid Genetic Algorithm For Minimum Vertex Cover Problem, 2004.
87. Kumar, R., Kumar, M., Exploring Genetic Algorithm For Shortest Path Optimization In Data Networks, 2010.
88. Kureichik, V.M., Malioukov, S.P., Kureichik, V.V., Malioukov, A.S., Genetic Algorithms For Applied CAD Problems, 2009.
89. Larrarte, F., Velocity Fields With Sewers : An Experimental Study, 2006.

90. Lavric, V., Iancu, P., Pleşu, V., Genetic Algorithm Optimization Of Water Consumption And Wastewater Network Topology, 2005.
91. Law, N.L., Szeto, K.Y., Adaptive Genetic Algorithm with Mutation And Crossover Matrices, 2007.
92. Li, G., Matthew, R.G.S., New Approach For Optimization Of Urban Drainage Systems, 1990.
93. Li, Y., He, R., Guo, Y., Faster Genetic Algorithm For Network Paths, 2006.
94. Lin, S.S., Hsieh, S.H., Kuo, J.T., Liao, Y.P., Chen, Y.C., Integrating Legacy Components Into A Software System For Storm Sewer Simulation, 2006.
95. Lim, S.R., Suh, S., Kim, J.H., Park, H.S, Urban Water Infrastructure Optimization To Reduce Environmental Impacts And Costs, 2010.
96. Liu, H., Pipeline Engineering, 2003.
97. Liu, L., Wu, B., Li, Y., Yu, J., The Quadratic Shortest Path Problem And Its Genetic Algorithm, 2006.
98. Louis, S.J., Rawlins, G.J.E., Predicting Convergence Time For Genetic Algorithms, 1992.
99. Lozano, L., Medaglia, A.L., On An Exact Methods For The Constrained Shortest Path Problem, 2013.
100. Mitchell, M., An Introduction To Genetic Algorithms, 1999.
101. Moeini, R., Afshar, M.H., Layout And Size Optimization Of Sanitary Sewer Network Using Intelligent Ants, 2012.
102. Montanes, J.L., Hyrdaulic Canals, 2005.
103. Morley, M.S., Atkinson, R.M., Savic, D.A., Walters, G.A., GAnet: Genetic Algorithm Platform For Pipe Network Optimization, 2001.
104. MortezaNia, S., Othman, F., Cost Analysis Of Pipes For Application In Sewage Systems, 2012.
105. Muleta, M.K., Boulos, P.F., Orr, C.H., Ro, J.J., Using Genetic Algorithms And Particle Swarm Optimization For Optimal Design And Calibration Of Large And Complex Urban Stormwater Management Models, 2006.
106. Munakata, T., Hashier, D.J., A Genetic Algorithm Applied To the Maximum Flow Problem, 1993.
107. Muslu, Y., Çözümlü Problemlerle Su Temini ve Çevre Sağlığı, 2002.
108. Mushalla, D., Optimization Of Integrated Urban Wastewater Systems Using multi-Objective Evolution Strategies, 2008.
109. Nagano, M.S., Ruiz, R., Lorena, L.A.N., A Constructive Genetic Algorithm For Permutation Flowshop Scheduling, 2008.
110. Novak, P., Guinot, V., Jeffrey, A., Reeve, D.E., Hydraulic Modelling – An Introduction, 2010.

111. Ostadrahimi, L., Marino, M.A., Afshar, A., Multi-Reservoir Operation Rules: Multi-Swarm PSO-Based Optimization Approach, 2012.
112. Pan, T.C., Kao, J.J., GA-QP Model To Optimize Sewer System Design, 2009.
113. Park, J.H., Storch, R.L., Pipe-Routing Algorithm Development: Case Study Of A Ship Engine Room Design, 2002.
114. Pianese, D., Palumbo, An., Mucherino, C., Covelli, C., A procedure For Optimal Sizing Of Urban Drainage Networks, (2011).
115. Rauch, W., Harremoes, P., On the Potential Of Genetic Algorithms In Urban Drainage Modelling, 1999.
116. Reeves, C., Genetic Algorithms, 2002.
117. Reeves, C.R., Rowe, J.E., Genetic Algorithms – Principles And Perspectives, A Guide To GA Theory, 2002.
118. Safar, M., Mahdi, F., Mahdi, K., An Algorithm For Detecting Cycles In Undirected Graphs Using CUDA Technology, 2012.
119. Sakawa, M., Genetic Algorithms And Fuzzy Multiobjective Optimization, 2001.
120. Savic, D.A., Walters, G.A., Genetic Algorithm Techniques For Calibrating Network Models, 1995.
121. Singh, A., An Overview Of the Optimization Modelling Applications, 2012.
122. Siriwardene, N.R., Perera, B.J.C., Selection Of Genetic Algorithm Operators For Urban Drainage Model Parameter Optimization, 2006.
123. Sivanandam, S.N., Deepa, S.N., Introduction To Genetic Algorithms, 2008.
124. Shtub, A., Versano, R., Estimating The Cost Of Steel Pipe Bending, A Comparison Between Neural Networks And Regression Analysis, 1999.
125. Soltani, A.R., Tawfik, G., J.Y., Fernando, T., Path Planning In Construction Sites: Performances Evaluation Of The Dijkstra, A, And GA Search Algorithms, 2002.
126. Spears, W., Anand, V., A Study Of Crossover Operators In Genetic Algorithms, 1990.
127. Su Kirliliği Yönetmeliği, 2004.
128. Sun, S., Djordjevic, S., Khu, S.T., A General Framework For Flood Risk-Based Storm Sewer Network Design, 2011.
129. Swamee, P.K., Mishra, G.C., Chahar, B.R., Minimum Cost Design Of Lined Canal Sections, 2000.
130. Swamee, P.K., Design Of Sewer Line, 2001.
131. Swamee, P.K., Sharma, A.K., Optimal Design Of A Sewer Line Using Linear Programming, 2012.
132. Tekeli, S., Belkaya, H., Computerized Layout Generation For Sanitary Sewers, 1986.
133. Tudor, R., Lavric, V., Dual-Objective Optimization Of Integrated Water / Wastewater Networks, 2011.

134. Walters, G.A., The Design Of The Optimal Layout For A Sewer Network, 1985.
135. Weng, H.T., Liaw, S.L., Huang, W.C., Establishing An Optimization Model For Sewer System Layout With Applied Genetic Algorithm, 2004.
136. Weng, H.T., Liaw, S.L., An Optimization Model For Urban Sewer System Hydraulic Design, 2007.
137. Whitley, L.D., Foundations Of Genetic Algorithms-2, MorganKaufmann Publishers Inc., California, 1993.
138. Wong, J.L., Koushanfar, F., Meguerdichian, S., Potkonjak, M., A Probabilistic Constructive Approach To Optimization Problems, 2002.
139. Wu, B.Y., Chao, K.M., Spanning Trees And Optimization Problems, 2004.
140. Yaman, F., Yilmaz, A.E., Elitist Genetic Algorithm Performance On The Uniform Circular Antenna Array Pattern Synthesis Problem, 2012.
141. Yang, M.D., Su, T.C., An Optimization Model Of Sewage Rehabilitation, 2007.
142. Yeh, S, Chu, C., Chang, Y., Lin, M., Applying Tabu Search And Simulated Annealing To The Optimal Design Of Sewer Networks, 2011.
143. Yusof, R., Khairuddin, U, Khalid, M., New Mutation Operation For Faster Convergence In Genetic Algorithm Feature Selection, 2012.
144. Zaghoul, N.A., Unsteady Gradually Varied Flow In Circular Pipes With Variable Roughness, 1996.

9. EKLER

9.1 Tablolar

Çizelge 9.1 Örnek şebeke - 5 hat bilgileri

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
1	2	870,80	868,92	67	0,000023
3	2	869,04	868,92	46	0,000016
3	6	869,04	864,92	63	0,000021
1	4	870,80	866,40	51	0,000017
4	5	866,40	866,20	50	0,000017
5	6	866,20	864,92	62	0,000021
6	7	864,92	863,73	18	0,000006
7	8	863,73	861,98	55	0,000019
8	113	861,98	861,56	24	0,000008
1	9	870,80	870,00	46	0,000016
9	106	870,00	868,80	52	0,000018
10	11	873,50	871,72	62	0,000021
11	86	871,72	870,50	62	0,000021
12	13	871,10	871,05	42	0,000014
14	13	871,20	871,05	42	0,000014
14	86	871,20	870,50	41	0,000014
86	100	870,50	869,25	37	0,000013
10	96	873,50	872,50	43	0,000015
10	97	873,50	869,10	40	0,000014
97	98	869,10	869,01	37	0,000013
99	98	869,05	869,01	43	0,000015
100	99	869,25	869,05	47	0,000016
100	101	869,25	868,70	43	0,000015
102	101	869,00	868,70	43	0,000015
102	105	869,00	868,50	53	0,000018
12	103	871,10	870,81	29	0,000010
103	104	870,81	868,20	30	0,000010
105	104	868,50	868,20	18	0,000006
106	105	868,80	868,50	13	0,000004
106	107	868,80	866,00	51	0,000017

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
107	108	866,00	864,30	46	0,000016
108	109	864,30	862,67	54	0,000018
109	110	862,67	862,21	43	0,000015
110	112	862,21	862,05	39	0,000013
5	111	866,20	864,41	50	0,000017
111	112	864,41	862,05	54	0,000018
112	113	862,05	861,56	58	0,000020
113	114	861,56	860,08	11	0,000004
114	115	860,08	858,86	49	0,000017
115	120	858,86	858,16	36	0,000012
116	117	860,28	859,19	61	0,000021
117	119	859,19	858,56	45	0,000015
112	118	862,05	860,05	49	0,000017
118	119	860,05	858,56	52	0,000018
119	120	858,56	858,16	65	0,000022
120	123	858,16	856,83	54	0,000018
121	122	858,05	857,19	58	0,000020
122	123	857,19	856,83	58	0,000020
123	126	856,83	855,23	68	0,000023
124	125	856,99	856,06	63	0,000021
125	126	856,06	855,23	63	0,000021
127	126	855,78	855,23	42	0,000014
127	259	855,78	854,96	10	0,000003
128	121	859,08	858,05	69	0,000023
117	121	859,19	858,05	56	0,000019
121	129	858,05	857,32	30	0,000010
129	124	857,32	856,99	36	0,000012
124	256	856,99	856,67	48	0,000016
130	131	859,82	859,31	44	0,000015
131	132	859,31	858,62	48	0,000016
109	133	862,67	861,58	53	0,000018
133	116	861,58	860,28	62	0,000021
116	128	860,28	859,08	62	0,000021
128	132	859,08	858,62	28	0,000009
132	134	858,62	858,14	34	0,000011

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
134	144	858,14	857,88	47	0,000016
135	136	861,55	860,46	67	0,000023
136	137	860,46	859,10	67	0,000023
137	142	859,10	858,97	17	0,000006
138	139	861,79	861,25	45	0,000015
139	140	861,25	860,55	51	0,000017
140	130	860,55	859,82	48	0,000016
130	141	859,82	859,54	37	0,000013
141	142	859,54	858,97	41	0,000014
142	143	858,97	858,28	47	0,000016
143	144	858,28	857,88	46	0,000016
144	255	857,88	857,28	30	0,000010
145	146	861,36	860,37	61	0,000021
146	147	860,37	859,11	61	0,000021
147	253	859,11	858,84	27	0,000009
138	135	861,79	861,55	20	0,000007
135	145	861,55	861,36	14	0,000005
145	148	861,36	860,70	42	0,000014
148	250	860,70	859,92	45	0,000015
242	243	862,97	862,03	49	0,000017
243	244	862,03	861,95	42	0,000014
244	245	861,95	861,43	37	0,000013
245	246	861,43	861,41	36	0,000012
246	247	861,41	861,16	60	0,000020
247	248	861,16	860,64	51	0,000017
248	249	860,64	860,06	44	0,000015
249	250	860,06	859,92	49	0,000017
250	251	859,92	859,20	57	0,000019
251	252	859,20	859,11	41	0,000014
252	253	859,11	858,84	36	0,000012
253	254	858,84	858,07	64	0,000022
254	255	858,07	857,28	64	0,000022
255	256	857,28	856,67	43	0,000015
256	257	856,67	855,90	39	0,000013
257	258	855,90	855,45	32	0,000011

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
258	259	855,45	854,96	57	0,000019
259	260	854,96	853,96	57	0,000019
260	261	853,96	853,27	51	0,000017
261	299	853,27	853,24	13	0,000004
261	262	853,27	853,17	45	0,000015
262	263	853,17	852,43	36	0,000012
263	297	852,43	852,38	34	0,000011
296	264	851,38	850,80	20	0,000007
263	295	852,43	851,39	36	0,000012
114	265	860,08	858,39	37	0,000013
265	268	858,39	856,56	43	0,000015
8	266	861,98	860,17	42	0,000014
266	267	860,17	858,15	38	0,000013
267	268	858,15	856,56	58	0,000020
268	285	856,56	856,00	14	0,000005
270	269	855,49	854,62	60	0,000020
284	270	856,79	855,49	60	0,000020
271	278	856,13	856,10	40	0,000014
3	504	869,04	867,50	55	0,000019
504	281	867,50	865,40	50	0,000017
281	276	865,40	863,50	37	0,000013
276	505	863,50	861,70	53	0,000018
505	272	861,70	859,30	49	0,000017
272	273	859,30	857,12	68	0,000023
273	274	857,12	855,56	68	0,000023
274	275	855,56	855,00	57	0,000019
278	275	856,10	855,00	58	0,000020
276	277	863,50	859,37	58	0,000020
277	278	859,37	856,10	58	0,000020
283	278	857,50	856,10	43	0,000015
267	280	858,15	857,60	53	0,000018
7	279	863,73	861,40	46	0,000016
279	280	861,40	857,60	35	0,000012
280	283	857,60	857,50	14	0,000005
281	282	865,40	860,55	54	0,000018

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
282	283	860,55	857,50	54	0,000018
283	284	857,50	856,79	71	0,000024
284	285	856,79	856,00	44	0,000015
285	287	856,00	855,28	53	0,000018
286	287	855,29	855,28	56	0,000019
287	288	855,28	854,70	50	0,000017
289	288	854,72	854,70	31	0,000010
289	290	854,72	854,21	31	0,000010
120	291	858,16	855,62	58	0,000020
291	286	855,62	855,29	49	0,000017
286	290	855,29	854,21	57	0,000019
290	292	854,21	853,91	46	0,000016
292	294	853,91	853,08	47	0,000016
294	293	853,08	852,17	22	0,000007
294	295	853,08	851,39	69	0,000023
295	296	851,39	851,38	45	0,000015
297	296	852,38	851,38	36	0,000012
298	297	853,24	852,38	31	0,000010
298	299	853,24	853,24	43	0,000015
299	300	853,24	852,74	43	0,000015
300	304	852,74	852,03	43	0,000015
260	302	853,96	853,14	69	0,000023
301	302	854,01	853,14	56	0,000019
302	303	853,14	852,96	28	0,000009
303	304	852,96	852,03	56	0,000019
304	307	852,03	851,77	57	0,000019
303	306	852,96	852,66	56	0,000019
305	306	853,61	852,66	55	0,000019
306	307	852,66	851,77	58	0,000020
307	308	851,77	851,42	43	0,000015
308	433	851,42	850,90	43	0,000015
306	309	852,66	852,19	45	0,000015
309	432	852,19	851,95	40	0,000014
259	301	854,96	854,01	53	0,000018
301	310	854,01	853,83	42	0,000014

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
310	305	853,83	853,61	47	0,000016
258	311	855,45	854,84	48	0,000016
311	312	854,84	854,44	49	0,000017
336	312	854,53	854,44	46	0,000016
256	313	856,67	856,06	40	0,000014
313	316	856,06	855,56	40	0,000014
314	315	856,52	856,04	40	0,000014
315	316	856,04	855,56	38	0,000013
316	322	855,56	855,24	26	0,000009
317	318	856,46	856,37	38	0,000013
319	320	857,92	857,30	42	0,000014
320	314	857,30	856,52	42	0,000014
314	318	856,52	856,37	23	0,000008
318	321	856,37	855,74	40	0,000014
321	322	855,74	855,24	37	0,000013
322	335	855,24	855,11	35	0,000012
253	319	858,84	857,92	59	0,000020
319	332	857,92	857,11	65	0,000022
251	323	859,20	858,44	37	0,000013
323	326	858,44	857,70	39	0,000013
249	324	860,06	859,46	36	0,000012
324	325	859,46	858,83	43	0,000015
325	326	858,83	857,70	51	0,000017
326	331	857,70	857,26	31	0,000010
327	328	859,47	859,00	40	0,000014
328	329	859,00	857,90	44	0,000015
329	330	857,90	857,40	50	0,000017
330	331	857,40	857,26	41	0,000014
331	332	857,26	857,11	55	0,000019
332	333	857,11	856,78	38	0,000013
333	317	856,78	856,46	45	0,000015
317	334	856,46	856,02	15	0,000005
334	335	856,02	855,11	60	0,000020
335	336	855,11	854,53	66	0,000022
336	305	854,53	853,61	59	0,000020

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
305	337	853,61	853,37	50	0,000017
337	431	853,37	853,00	34	0,000011
338	339	853,10	852,31	73	0,000025
347	339	852,82	852,31	36	0,000012
336	346	854,53	853,72	45	0,000015
334	343	856,02	855,06	46	0,000016
340	341	856,24	855,76	21	0,000007
341	342	855,76	855,37	28	0,000009
342	343	855,37	855,06	46	0,000016
343	344	855,06	854,47	41	0,000014
344	345	854,47	853,91	44	0,000015
345	346	853,91	853,72	42	0,000014
346	347	853,72	852,82	58	0,000020
347	430	852,82	852,80	36	0,000012
344	348	854,47	853,47	48	0,000016
348	338	853,47	853,10	48	0,000016
338	426	853,10	852,25	62	0,000021
341	349	855,76	855,32	35	0,000012
349	350	855,32	854,65	41	0,000014
350	351	854,65	854,15	38	0,000013
351	422	854,15	853,50	46	0,000016
352	353	854,79	853,90	38	0,000013
353	415	853,90	853,45	43	0,000015
354	355	854,89	854,00	41	0,000014
355	413	854,00	853,53	45	0,000015
379	356	855,45	854,89	30	0,000010
357	359	856,73	856,73	38	0,000013
358	359	857,41	856,73	32	0,000011
359	376	856,73	855,38	60	0,000020
360	361	858,52	857,90	41	0,000014
361	362	857,90	857,07	45	0,000015
362	363	857,07	856,66	27	0,000009
363	368	856,66	856,09	35	0,000012
360	364	858,52	858,51	59	0,000020
364	365	858,51	857,25	61	0,000021

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
365	366	857,25	856,58	61	0,000021
363	366	856,66	856,58	59	0,000020
366	367	856,58	855,91	36	0,000012
368	367	856,09	855,91	65	0,000022
368	369	856,09	855,93	34	0,000011
369	374	855,93	855,85	37	0,000013
370	371	858,07	857,55	33	0,000011
371	372	857,55	856,80	38	0,000013
362	372	857,07	856,80	58	0,000020
372	357	856,80	856,73	17	0,000006
357	373	856,73	856,34	27	0,000009
373	374	856,34	855,85	32	0,000011
374	376	855,85	855,38	38	0,000013
376	375	855,38	854,54	62	0,000021
379	376	855,45	855,38	29	0,000010
377	378	857,04	856,50	45	0,000015
378	379	856,50	855,45	44	0,000015
379	380	855,45	855,21	46	0,000016
380	382	855,21	855,00	10	0,000003
381	382	855,65	855,00	33	0,000011
382	383	855,00	854,50	68	0,000023
383	412	854,50	854,03	45	0,000015
384	381	856,68	855,65	56	0,000019
381	385	855,65	855,14	57	0,000019
385	411	855,14	854,68	57	0,000019
386	398	858,24	857,84	24	0,000008
244	388	861,95	860,21	64	0,000022
387	388	860,78	860,21	46	0,000016
388	390	860,21	859,58	36	0,000012
389	390	859,59	859,58	25	0,000008
390	395	859,58	859,17	22	0,000007
242	391	862,97	861,31	32	0,000011
391	392	861,31	860,69	29	0,000010
387	392	860,78	860,69	50	0,000017
392	393	860,69	859,73	62	0,000021

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m³/s)
394	393	859,81	859,73	52	0,000018
394	395	859,81	859,17	53	0,000018
395	370	859,17	858,07	59	0,000020
360	370	858,52	858,07	56	0,000019
370	397	858,07	857,95	19	0,000006
389	396	859,59	858,84	41	0,000014
396	397	858,84	857,95	41	0,000014
397	398	857,95	857,84	37	0,000013
398	358	857,84	857,41	33	0,000011
358	377	857,41	857,04	29	0,000010
377	384	857,04	856,68	57	0,000019
384	399	856,68	856,11	58	0,000020
399	410	856,11	855,32	58	0,000020
400	401	859,04	858,44	68	0,000023
401	408	858,44	857,09	63	0,000021
402	400	859,52	859,04	58	0,000020
247	403	861,16	860,01	50	0,000017
403	400	860,01	859,04	48	0,000016
400	404	859,04	858,04	57	0,000019
245	405	861,43	860,63	45	0,000015
405	389	860,63	859,59	48	0,000016
389	402	859,59	859,52	38	0,000013
246	406	861,41	860,56	42	0,000014
406	402	860,56	859,52	48	0,000016
402	386	859,52	858,24	59	0,000020
386	404	858,24	858,04	58	0,000020
404	407	858,04	857,70	31	0,000010
407	408	857,70	857,09	59	0,000020
408	409	857,09	856,58	61	0,000021
329	409	857,90	856,58	52	0,000018
409	410	856,58	855,32	59	0,000020
410	411	855,32	854,68	56	0,000019
411	412	854,68	854,03	33	0,000011
412	413	854,03	853,53	58	0,000020
413	414	853,53	853,34	39	0,000013

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
415	414	853,45	853,34	22	0,000007
421	415	853,60	853,45	38	0,000013
410	354	855,32	854,89	57	0,000019
354	352	854,89	854,79	54	0,000018
419	352	854,84	854,79	37	0,000013
332	340	857,11	856,24	48	0,000016
340	418	856,24	855,80	23	0,000008
409	416	856,58	855,98	51	0,000017
416	417	855,98	855,60	51	0,000017
418	417	855,80	855,60	38	0,000013
418	419	855,80	854,84	55	0,000019
419	420	854,84	854,35	41	0,000014
420	421	854,35	853,60	42	0,000014
421	422	853,60	853,50	27	0,000009
422	423	853,50	853,25	37	0,000013
423	424	853,25	853,09	20	0,000007
425	424	853,75	853,09	29	0,000010
425	426	853,75	852,25	37	0,000013
426	427	852,25	851,84	23	0,000008
427	428	851,84	851,79	62	0,000021
429	428	851,99	851,79	35	0,000012
430	429	852,80	851,99	50	0,000017
431	430	853,00	852,80	29	0,000010
431	432	853,00	851,95	62	0,000021
432	433	851,95	850,90	59	0,000020
433	434	850,90	850,77	19	0,000006
434	435	850,77	849,92	41	0,000000
435	436	849,92	849,18	58	0,000000
436	437	849,18	848,54	58	0,000000
437	438	848,54	847,80	58	0,000000
438	475	847,80	846,97	58	0,000000
467	439	849,87	849,26	40	0,000014
440	441	850,77	850,54	47	0,000016
441	467	850,54	849,87	67	0,000023
426	442	852,25	851,64	37	0,000013

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
427	442	851,84	851,64	41	0,000014
442	445	851,64	851,54	27	0,000009
443	444	851,97	851,75	47	0,000016
444	445	851,75	851,54	37	0,000013
445	465	851,54	850,89	43	0,000015
446	447	853,11	852,85	13	0,000004
447	448	852,85	852,48	42	0,000014
448	449	852,48	851,98	35	0,000012
450	449	852,21	851,98	60	0,000020
451	450	852,83	852,21	28	0,000009
451	463	852,83	852,47	6	0,000002
421	462	853,60	852,65	58	0,000020
412	446	854,03	853,11	59	0,000020
383	458	854,50	853,65	59	0,000020
380	452	855,21	854,49	49	0,000017
452	453	854,49	853,33	49	0,000017
453	454	853,33	852,10	49	0,000017
455	454	852,44	852,10	37	0,000013
456	455	852,58	852,44	38	0,000013
457	456	853,00	852,58	47	0,000016
458	457	853,65	853,00	41	0,000014
458	446	853,65	853,11	47	0,000016
446	459	853,11	852,78	37	0,000013
459	460	852,78	852,27	39	0,000013
461	460	852,50	852,27	58	0,000020
462	461	852,65	852,50	29	0,000010
462	463	852,65	852,47	8	0,000003
463	464	852,47	851,61	66	0,000022
423	443	853,25	851,97	57	0,000019
443	464	851,97	851,61	27	0,000009
464	465	851,61	850,89	68	0,000023
465	466	850,89	850,40	28	0,000009
466	467	850,40	849,87	42	0,000014
467	470	849,87	849,41	36	0,000012
470	468	849,41	849,00	49	0,000017

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Kendi Debisi (m ³ /s)
428	440	851,79	850,77	49	0,000017
440	469	850,77	850,24	59	0,000020
469	470	850,24	849,41	59	0,000020
470	471	849,41	848,92	62	0,000000
471	472	848,92	848,43	62	0,000000
472	473	848,43	847,95	62	0,000000
473	474	847,95	847,46	62	0,000000
474	475	847,46	846,97	62	0,000000
475	476	846,97	846,28	68	0,000000

Çizelge 9.2 Örnek şebeke - 6 hat bilgileri

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Toplam Debi (m ³ /s)
1	2	158,9	159,0	61	0,010000
2	3	159,0	158,6	59	0,035113
3	4	158,6	158,0	60	0,066218
4	5	158,0	157,1	57	0,090769
5	10	157,1	156,0	56	0,145284
6	7	162,6	158,6	58	0,017000
7	8	158,6	156,4	56	0,058673
8	9	156,4	155,4	53	0,090847
9	10	155,4	156,0	59	0,106561
10	15	156,0	153,9	85	0,295147
11	12	159,2	155,4	153	0,018000
12	13	155,4	154,9	59	0,064807
13	14	154,9	154,3	59	0,096278
14	15	154,3	153,9	59	0,182741
15	16	153,9	152,3	79	0,550142
16	17	152,3	151,5	44	0,666753
17	18	151,5	150,5	82	0,782097
18	19	150,5	149,5	153	0,954343
19	20	149,5	147,3	208	1,065972
20	21	147,3	146,2	132	1,103894
21	22	146,2	145,8	58	1,145885
22	23	145,8	145,2	83	1,166630

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Toplam Debi (m ³ /s)
23	48	145,2	144,9	95	1,197458
24	25	152,3	150,2	227	0,040000
25	27	150,2	150,9	55	0,139225
26	27	150,9	150,9	36	0,010000
27	28	150,9	150,9	54	0,205001
28	29	150,9	149,7	53	0,234498
29	35	149,7	149,1	84	0,251857
30	31	154,1	151,7	71	0,010000
31	33	151,7	151,8	46	0,035824
32	33	154,1	151,8	69	0,016000
33	34	151,8	151,3	132	0,125805
34	35	151,3	149,1	175	0,155485
35	36	149,1	148,2	59	0,453159
36	37	148,2	148,0	110	0,481055
37	38	148,0	147,6	34	0,508016
38	41	147,6	147,4	29	0,523960
39	40	148,4	148,0	39	0,020000
40	41	148,0	147,4	380	0,064748
41	43	147,4	146,8	64	0,705870
42	43	147,9	146,8	361	0,055000
43	45	146,8	146,8	57	0,843941
44	45	145,9	146,8	129	0,020000
45	47	146,8	146,5	57	0,937834
46	47	147,8	146,5	154	0,030000
47	48	146,5	144,9	65	1,058470
48	50	144,9	144,4	48	2,336588
49	50	145,1	144,4	99	0,030000
50	53	144,4	144,0	56	2,432177
51	52	145,5	144,7	106	0,010000
52	53	144,7	144,0	88	0,034057
53	54	144,0	143,7	48	2,512332
54	73	143,7	143,2	73	2,551949
55	56	150,0	149,5	47	0,030000
56	57	149,5	149,2	247	0,077708
57	58	149,2	148,6	33	0,163352

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Toplam Debi (m ³ /s)
58	64	148,6	146,3	41	0,191092
59	60	147,5	147,2	54	0,010000
60	62	147,2	147,5	100	0,035734
61	62	147,1	147,5	96	0,025000
62	64	147,5	146,3	85	0,159383
63	64	147,2	146,3	89	0,014000
64	65	146,3	145,4	47	0,461112
65	68	145,4	144,4	94	0,488979
66	67	145,0	144,8	57	0,010000
67	68	144,8	144,4	66	0,035398
68	69	144,4	144,2	55	0,588373
69	70	144,2	143,2	51	0,598990
70	71	143,2	143,6	69	0,614971
71	72	143,6	143,7	70	0,645878
72	73	143,7	143,2	63	0,686252
73	80	143,2	142,5	126	3,277617
74	75	144,9	143,0	118	0,030000
75	77	143,0	142,9	61	0,221311
76	77	143,9	142,9	53	0,030000
77	78	142,9	142,8	21	0,472482
78	79	142,8	142,6	59	0,484780
79	80	142,6	142,5	67	0,515158
80	82	142,5	142,0	55	3,846805
81	82	142,1	142,0	53	0,130000
82	83	142,0	141,7	50	4,019404
83	102	141,7	141,6	32	4,043213
84	85	148,5	147,3	75	0,030000
85	86	147,3	147,0	46	0,260678
86	87	147,0	146,1	66	0,292441
87	88	146,1	144,8	122	0,323714
88	91	144,8	144,6	51	0,366345
89	90	148,6	147,5	57	0,030000
90	91	147,5	144,6	191	0,087500
91	93	144,6	144,6	52	0,534256
92	93	148,7	144,6	238	0,030000

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Toplam Debi (m ³ /s)
93	95	144,6	144,7	50	0,700257
94	95	147,0	144,7	119	0,030000
95	96	144,7	143,8	81	0,886401
96	97	143,8	142,9	83	0,920913
97	98	142,9	142,4	81	0,954827
98	101	142,4	142,0	50	0,999124
99	100	143,1	142,4	136	0,030000
100	101	142,4	142,0	61	0,142984
101	102	142,0	141,6	54	1,200267
102	104	141,6	141,4	23	5,294481
103	104	141,6	141,4	67	0,100000
104	120	141,4	141,0	40	5,436818
105	106	148,8	147,7	48	0,030000
106	107	147,7	145,4	63	0,081466
107	114	145,4	143,8	162	0,125902
108	113	145,7	144,5	151	0,030000
109	110	145,9	145,8	60	0,030000
110	111	145,8	145,7	93	0,093152
111	112	145,7	145,0	67	0,123366
112	113	145,0	144,5	51	0,153198
113	114	144,5	143,8	63	0,282471
114	115	143,8	143,0	59	0,493220
115	116	143,0	142,7	61	0,521841
116	119	142,7	142,2	57	0,555934
117	118	145,2	143,9	51	0,030000
118	119	143,9	142,2	97	0,107361
119	120	142,2	141,0	59	0,742697
120	123	141,0	140,9	55	6,225246
121	122	145,7	143,5	84	0,030000
122	123	143,5	140,9	147	0,094498
123	130	140,9	140,9	96	6,374604
124	125	142,6	141,7	62	0,030000
125	129	141,7	141,1	53	0,158373
126	127	145,3	144,1	64	0,030000
127	128	144,1	142,8	68	0,152399

Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Toplam Debi (m ³ /s)
128	129	142,8	141,1	69	0,190279
129	130	141,1	140,9	49	0,417862
130	134	140,9	140,8	80	6,840991
131	132	141,6	140,8	119	0,030000
132	134	140,8	140,8	31	0,144040
133	134	141,5	140,8	75	0,030000
134	141	140,8	141,0	60	7,139568
135	138	146,6	145,7	69	0,030000
136	137	146,3	146,2	41	0,030000
137	138	146,2	145,7	47	0,077919
138	139	145,7	143,6	63	0,190914
139	140	143,6	140,6	129	0,222218
140	141	140,6	141,0	42	0,259532
141	144	141,0	141,0	62	7,446801
142	143	145,0	144,4	50	0,030000
143	144	144,4	141,0	174	0,157756
144	147	141,0	140,8	104	7,690096
145	146	143,3	142,1	70	0,030000
146	147	142,1	140,8	76	0,126130
147	148	140,8	140,1	53	7,864466
148	149	140,1	139,7	57	7,886848
149	152	139,7	139,2	60	7,909061
150	151	141,0	139,7	37	0,030000
151	152	139,7	139,2	67	0,093743
152	154	139,2	138,7	46	8,078871
153	154	141,3	138,7	118	0,040000
154	159	138,7	138,5	51	8,230258
155	156	141,4	140,4	61	0,022000
156	157	140,4	139,7	68	0,076914
157	158	139,7	139,3	42	0,140015
158	159	139,3	138,5	64	0,171270
159	161	138,5	139,0	62	8,475908
160	161	140,3	139,0	100	0,025000
161	162	139,0	138,0	89	8,586361
162	163	138,0	138,2	159	8,607593

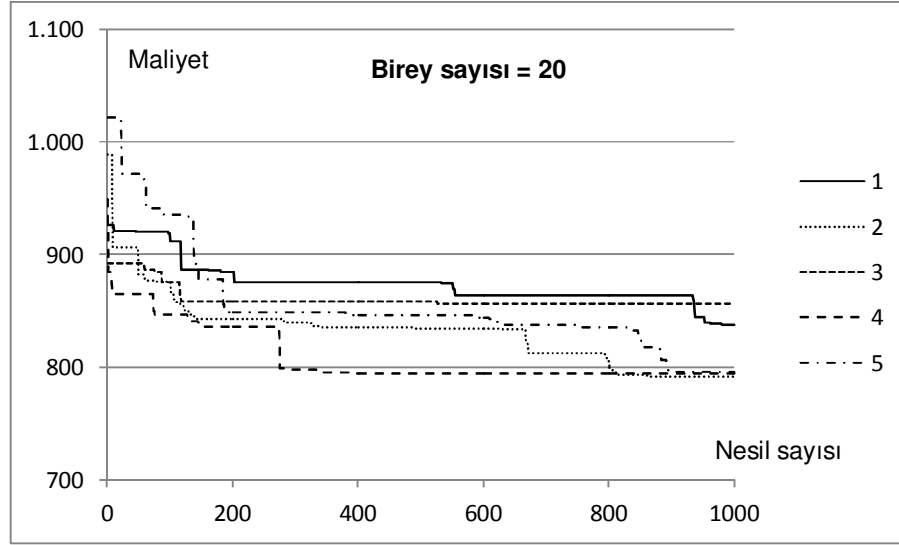
Nokta 1	Nokta 2	Kot 1 (m)	Kot 2 (m)	Ara Mesafe (m)	Toplam Debi (m ³ /s)
163	164	138,2	137,2	126	8,691031
164	178	137,2	137,7	53	8,755501
165	166	145,3	145,3	90	0,015000
166	167	145,3	143,8	65	0,052372
167	168	143,8	142,5	102	0,083067
168	169	142,5	142,1	61	0,119477
169	170	142,1	142,0	57	0,149333
170	171	142,0	140,1	67	0,177915
171	173	140,1	140,4	95	0,206584
172	173	140,9	140,4	85	0,030000
173	174	140,4	140,0	55	0,333986
174	175	140,0	139,6	57	0,360243
175	177	139,6	137,5	87	0,439133
176	177	137,8	137,5	119	0,032000
177	178	137,5	137,7	29	0,615758
178	179	137,7	138,1	56	9,400345
179	180	138,1	136,7	77	9,420619
180	181	136,7	136,1	83	9,420619
181	182	136,1	136,2	51	9,420619
182	183	136,2	136,0	108	9,420619
183	184	136,0	136,1	136	9,420619
184	185	136,1	136,4	62	9,420619
185	186	136,4	135,6	59	9,420619
186	187	135,6	137,4	75	9,420619
187	188	137,4	137,4	38	9,420619
188	189	137,4	136,6	71	9,420619
189	190	136,6	136,0	36	9,420619
190	191	136,0	135,0	169	9,420619
191	192	135,0	134,7	39	9,420619
192	193	134,7	132,0	67	9,420619

Çizelge 9.3 Örnek şebeke - 6 şebeke bölümleri

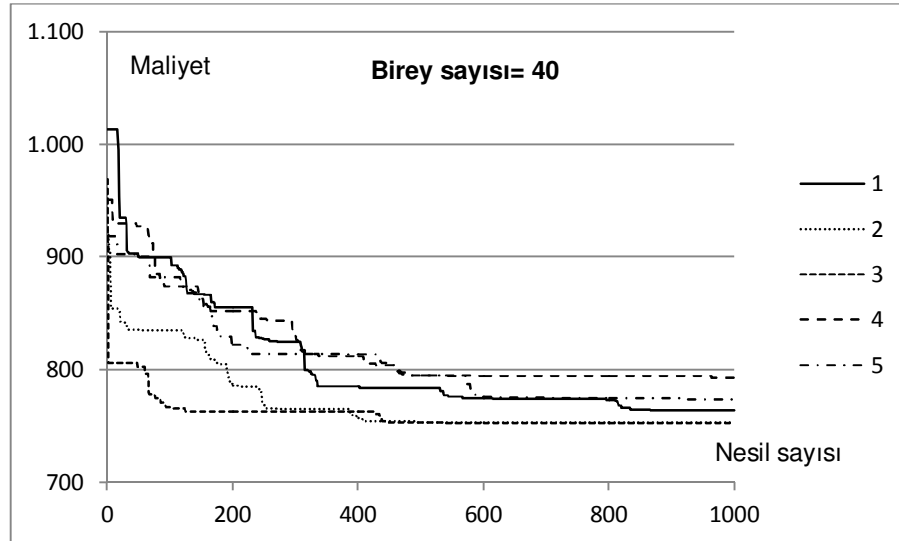
Bölüm No	Nokta 1	Nokta 2	Bölüm No	Nokta 1	Nokta 2	Bölüm No	Nokta 1	Nokta 2
1	1	10	32	66	68	63	124	129
2	6	10	33	68	73	64	126	129
3	10	15	34	73	80	65	129	130
4	11	15	35	74	77	66	130	134
5	15	48	36	76	77	67	131	134
6	24	27	37	77	80	68	133	134
7	26	27	38	80	82	69	134	141
8	27	35	39	81	82	70	135	138
9	30	33	40	82	102	71	136	138
10	32	33	41	84	91	72	138	141
11	33	35	42	89	91	73	141	144
12	35	41	43	91	93	74	142	144
13	39	41	44	92	93	75	144	147
14	41	43	45	93	95	76	145	147
15	42	43	46	94	95	77	147	152
16	43	45	47	95	101	78	150	152
17	44	45	48	99	101	79	152	154
18	45	47	49	101	102	80	153	154
19	46	47	50	102	104	81	154	159
20	47	48	51	103	104	82	155	159
21	48	50	52	104	120	83	159	161
22	49	50	53	105	114	84	160	161
23	50	53	54	108	113	85	161	178
24	51	53	55	109	113	86	165	173
25	53	73	56	113	114	87	172	173
26	55	64	57	114	119	88	173	177
27	59	62	58	117	119	89	176	177
28	61	62	59	119	120	90	177	178
29	62	64	60	120	123	91	178	193
30	63	64	61	121	123			
31	64	68	62	123	130			

9.2 Grafikler

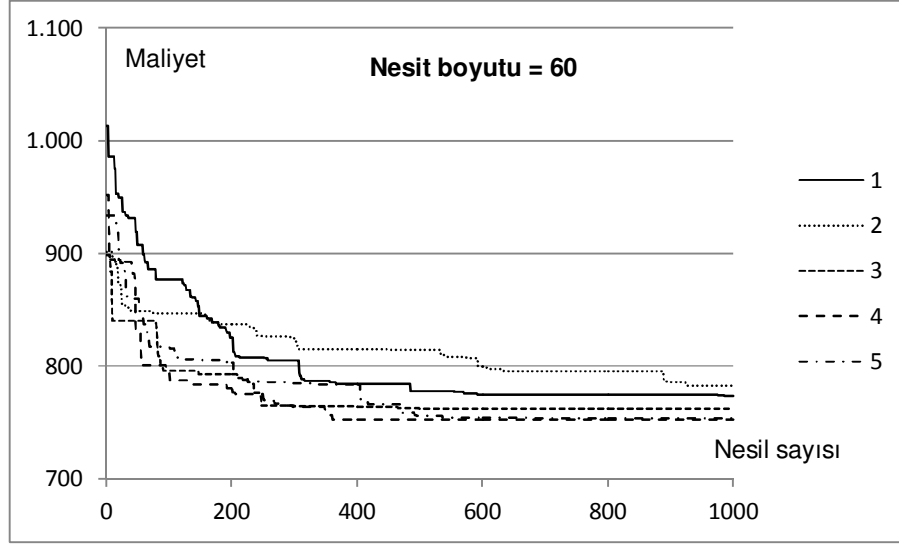
9.2.1 Örnek Şebeke – 5 Yön Optimizasyonu Denemesi Grafikleri



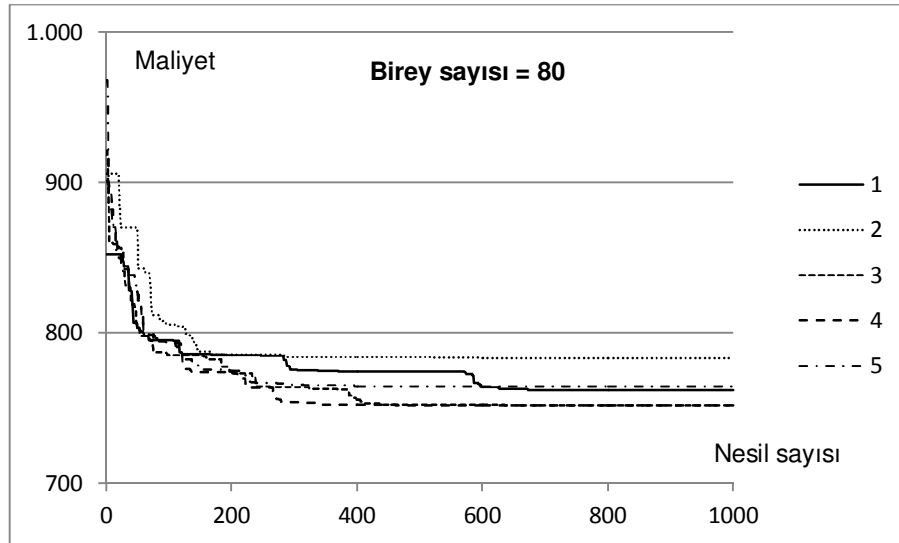
Şekil 9.1 Birey sayısı 20 için grafik



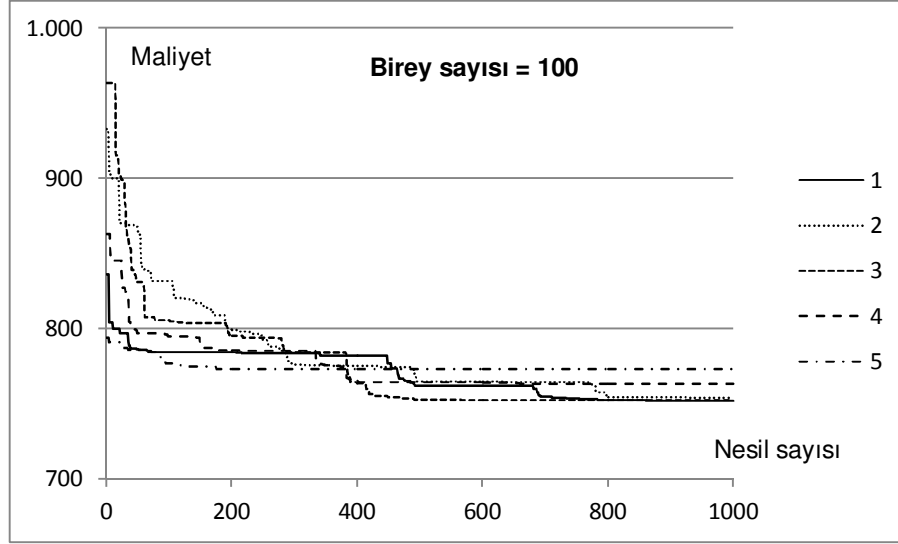
Şekil 9.2 Birey sayısı 40 için grafik



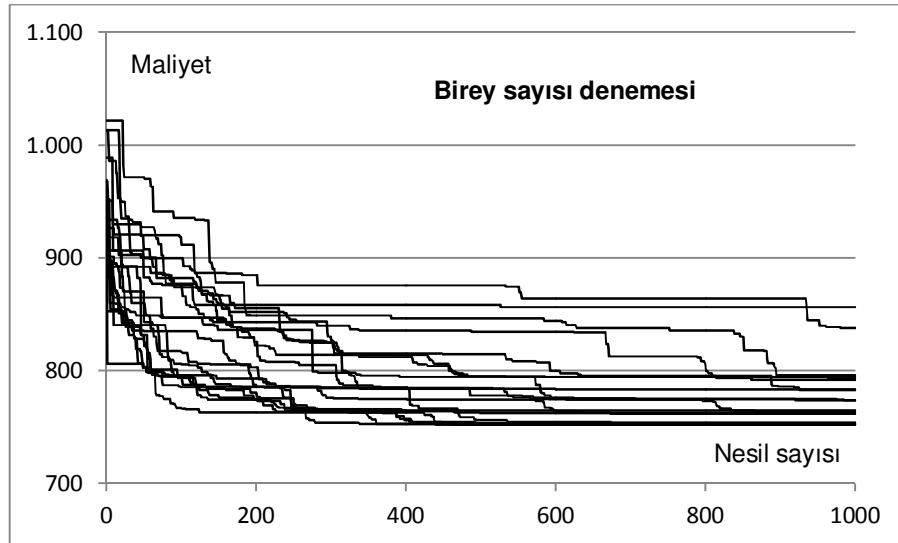
Şekil 9.3 Birey sayısı 60 için grafik



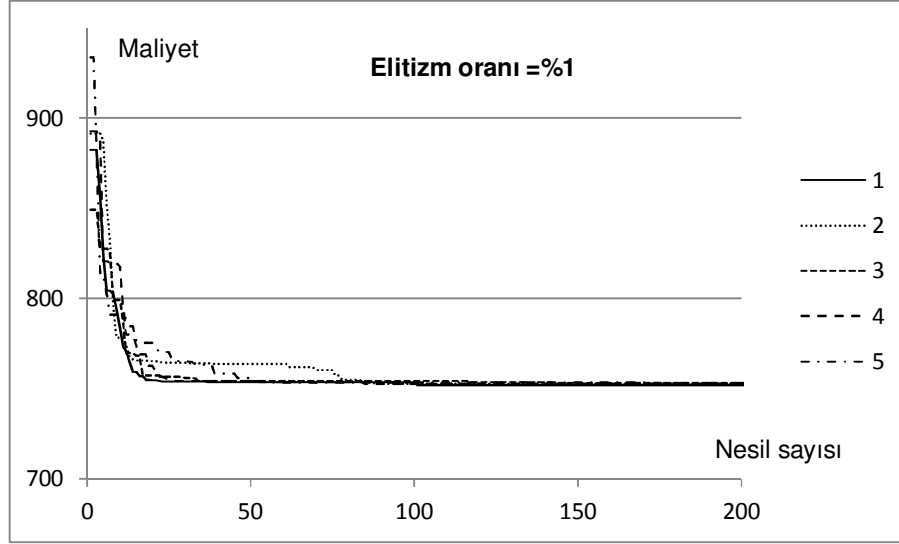
Şekil 9.4 Birey sayısı 80 için grafik



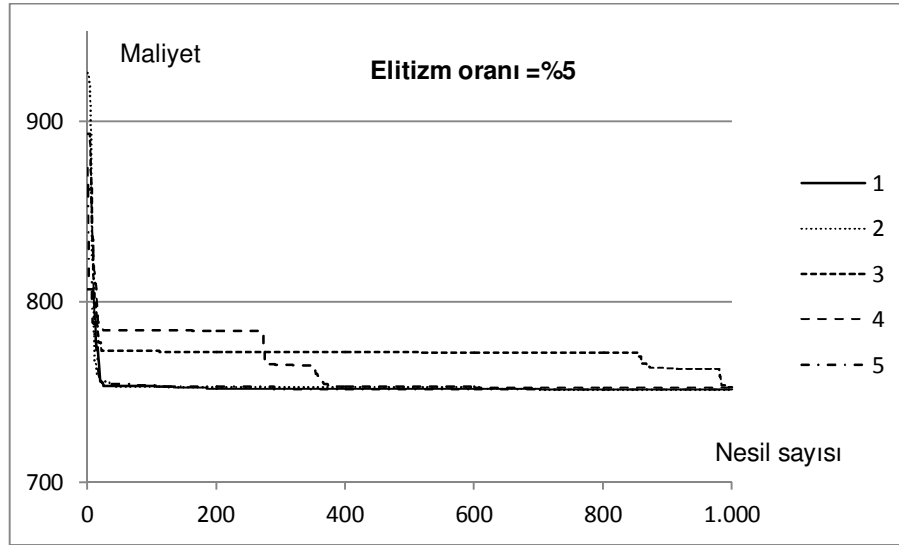
Şekil 9.5 Birey sayısı 100 için grafik



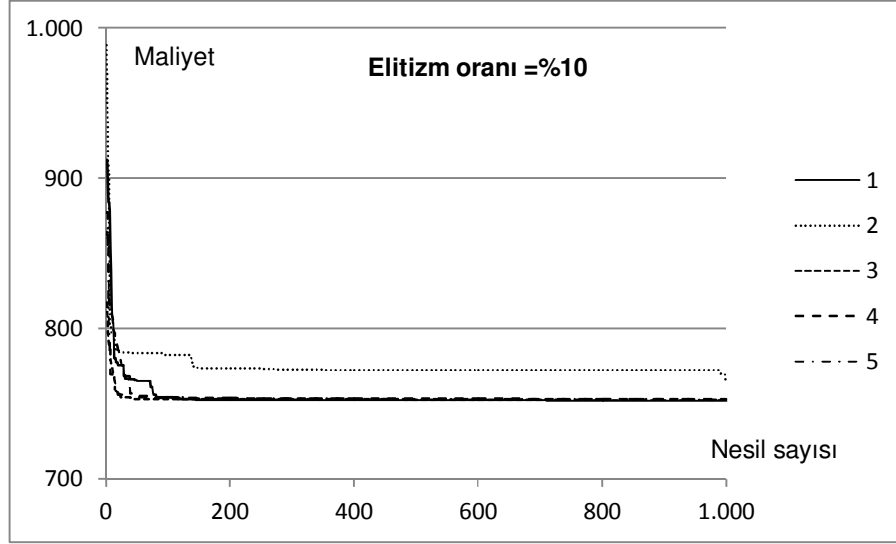
Şekil 9.6 Denenen tüm birey sayısı sonuçları



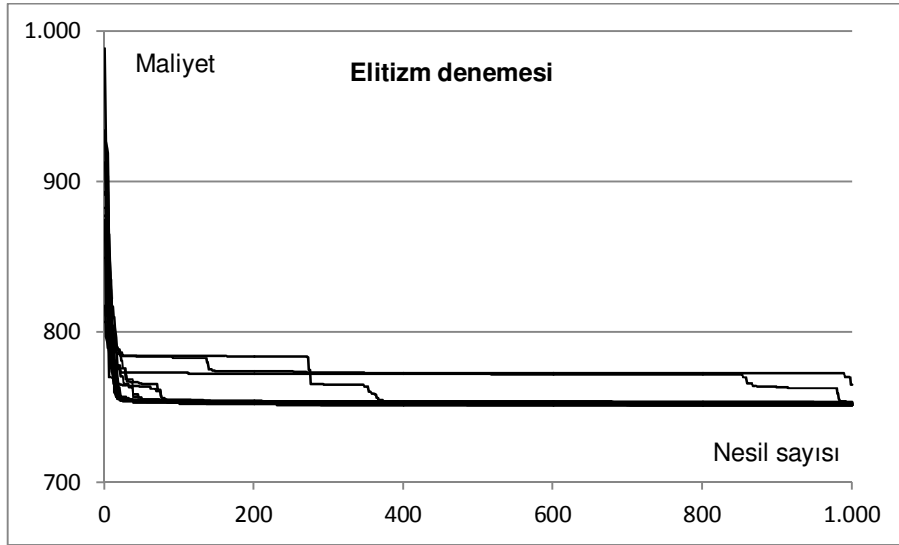
Şekil 9.7 Elitizm oranı %1 grafiği



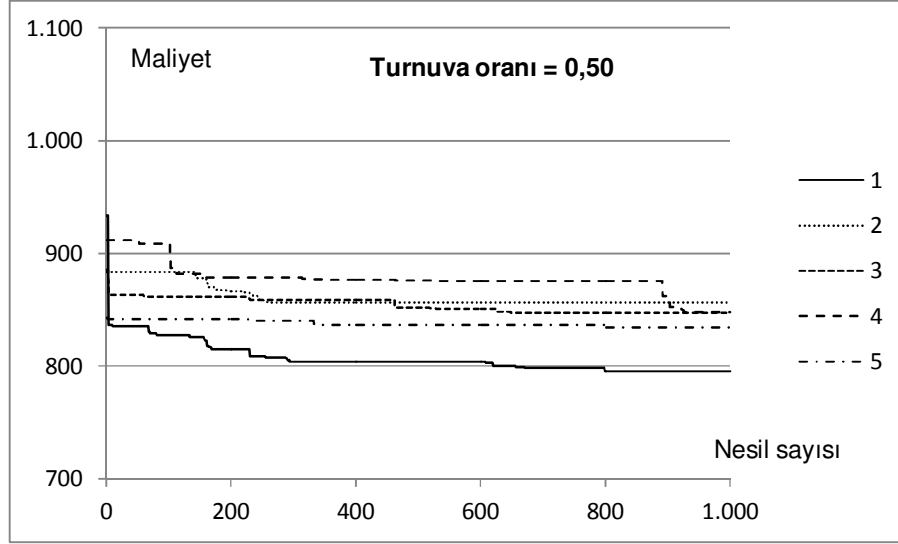
Şekil 9.8 Elitizm oranı %5 grafiği



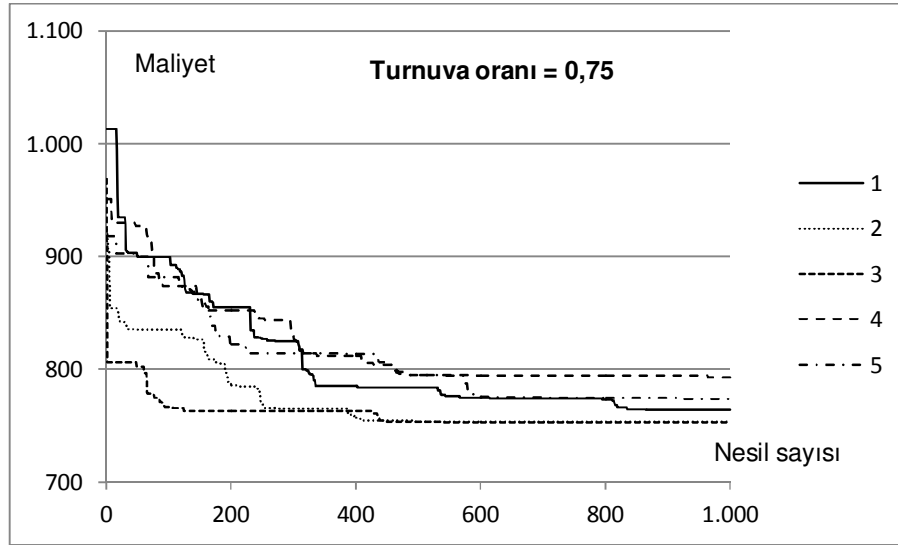
Şekil 9.9 Elitizm oranı %10 grafiği



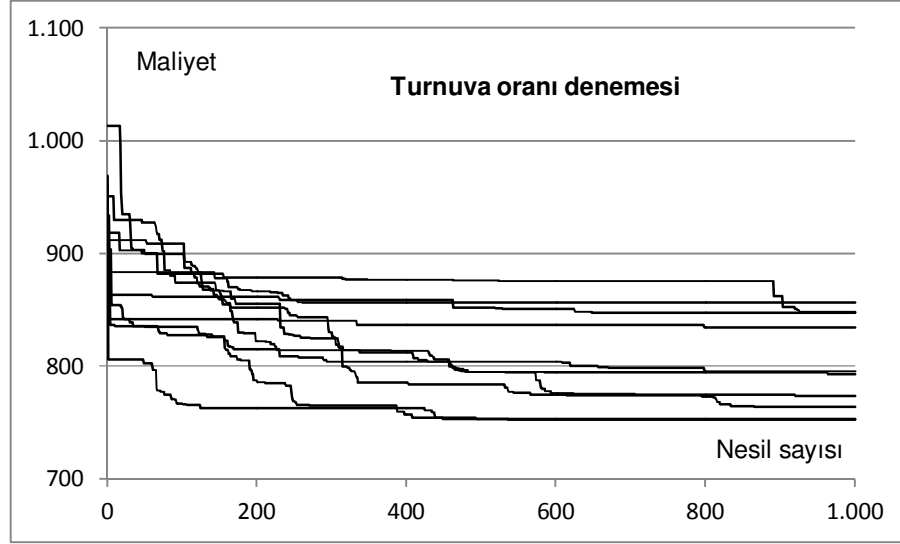
Şekil 9.10 Denenen tüm tüm elitizm oranları grafiği



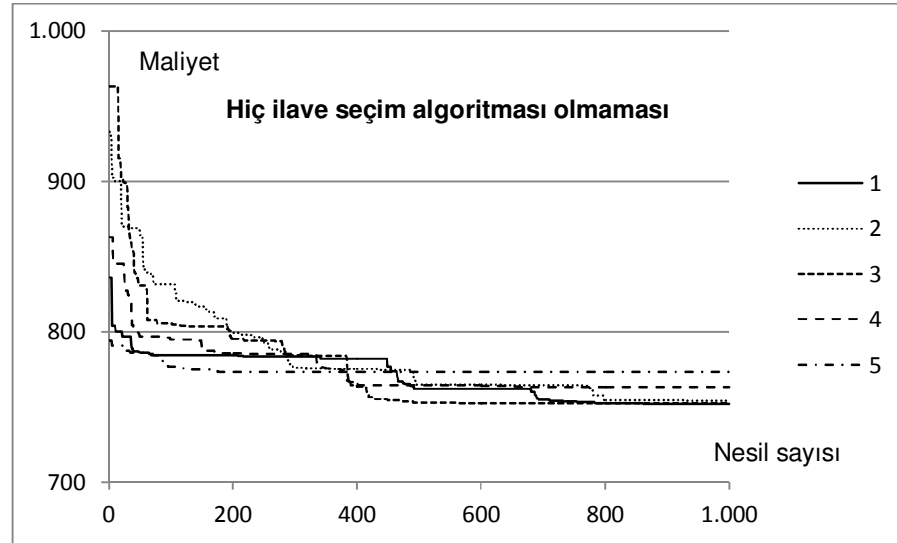
Şekil 9.11 Turnuva oranı = 0,50 grafiği



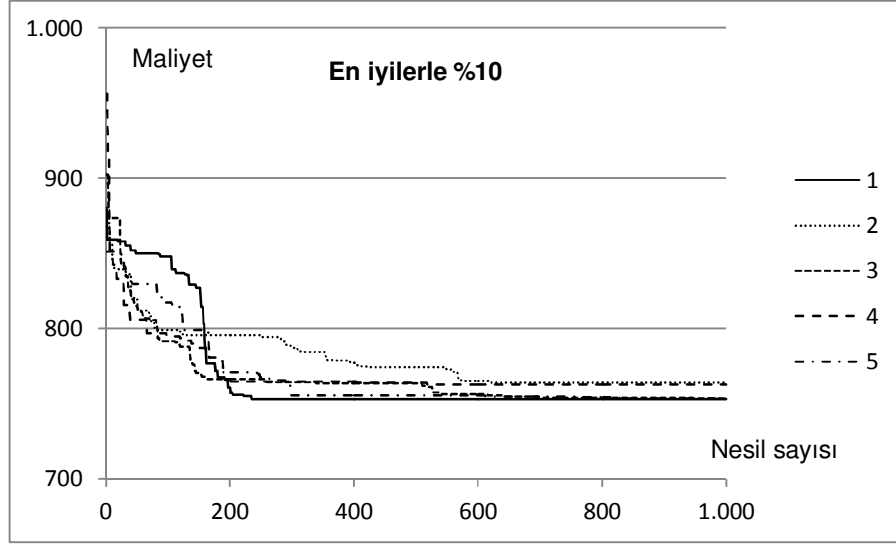
Şekil 9.12 Turnuva oranı = 0,75 grafiği



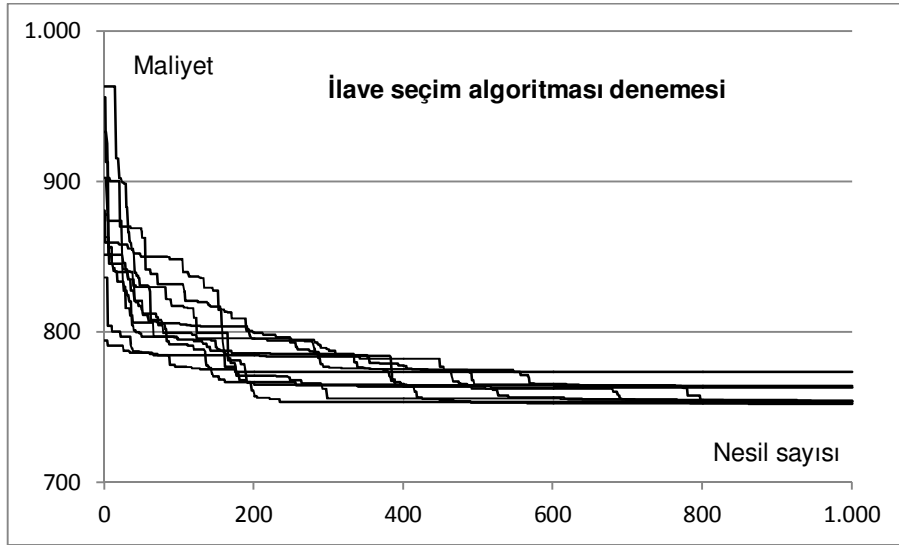
Şekil 9.13 Denenen tüm turnuva oranları grafiği



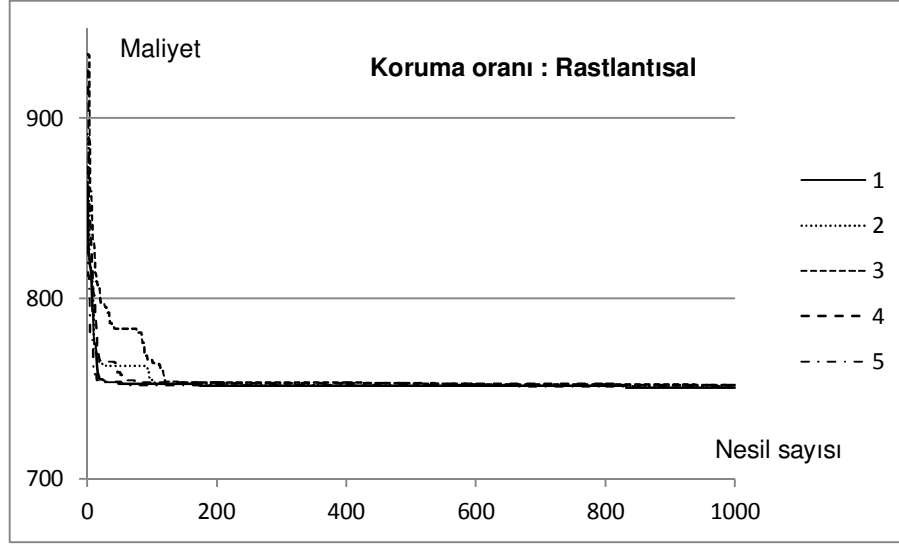
Şekil 9.14 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu grafiği



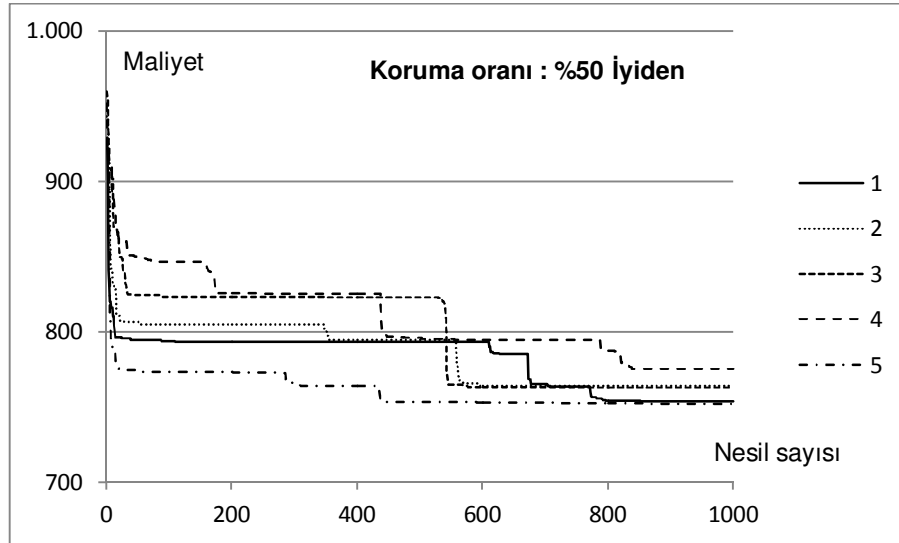
Şekil 9.15 En iyilerle (%10) seçim algoritması grafiği



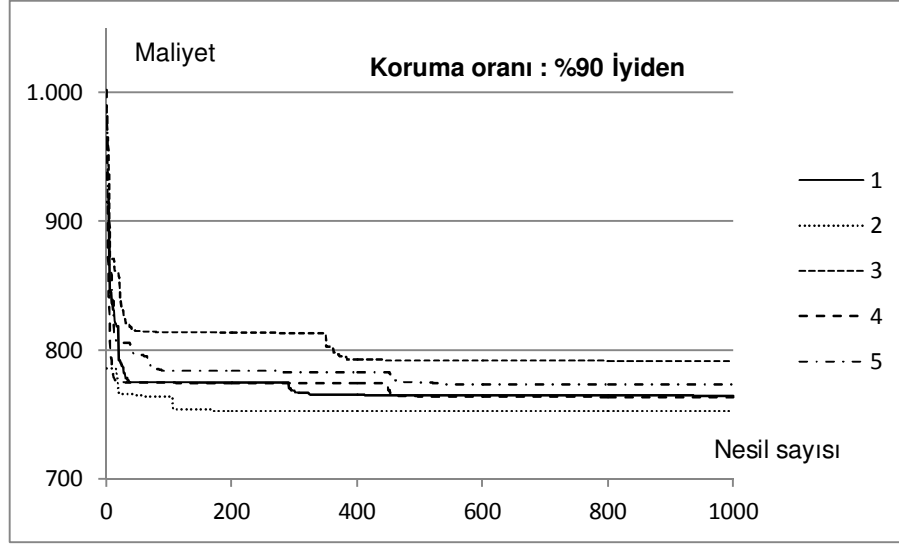
Şekil 9.16 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği



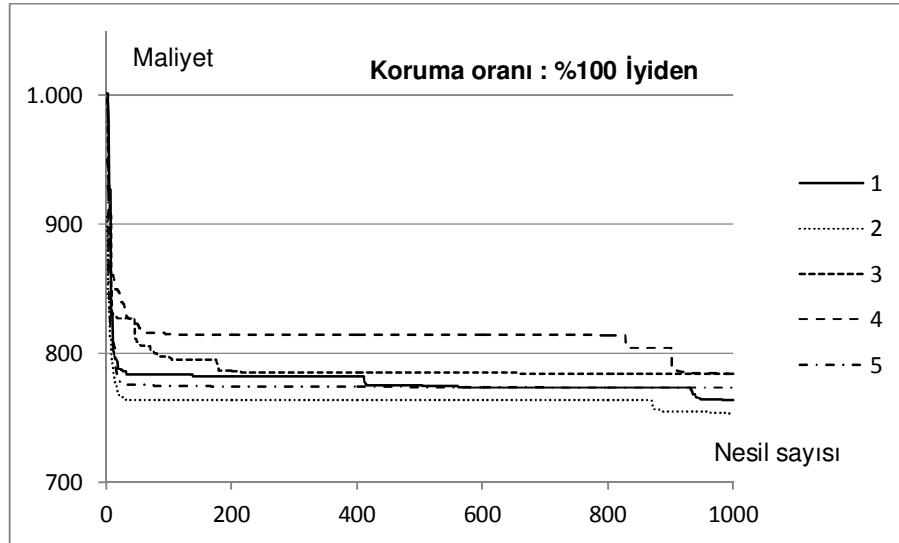
Şekil 9.17 Rastlantısal koruma yöntemi grafiği



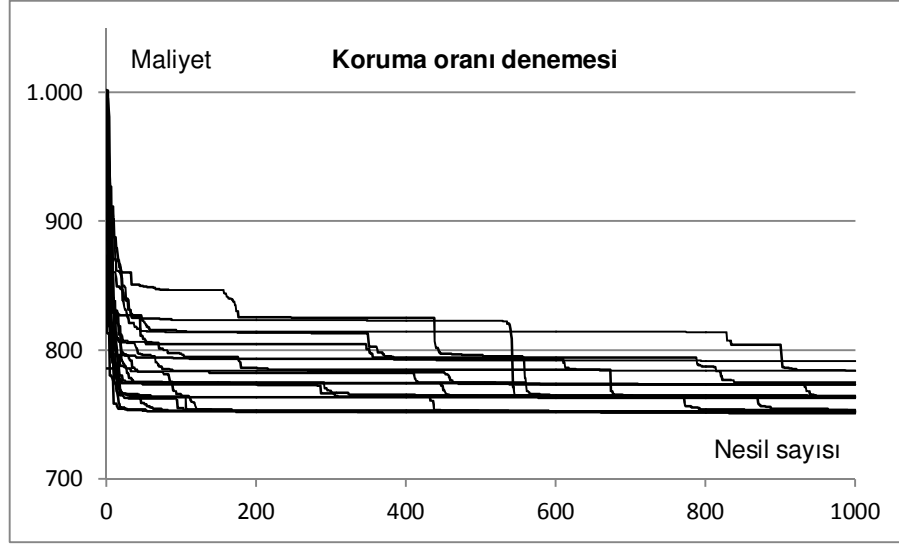
Şekil 9.18 İyiden (%50) koruma yöntemi grafiği



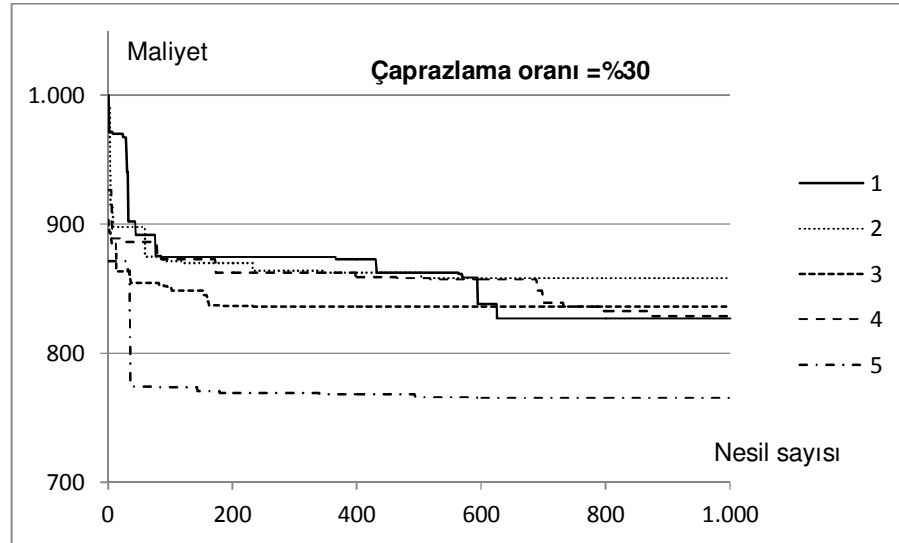
Şekil 9.19 İyiden (%90) koruma yöntemi grafiği



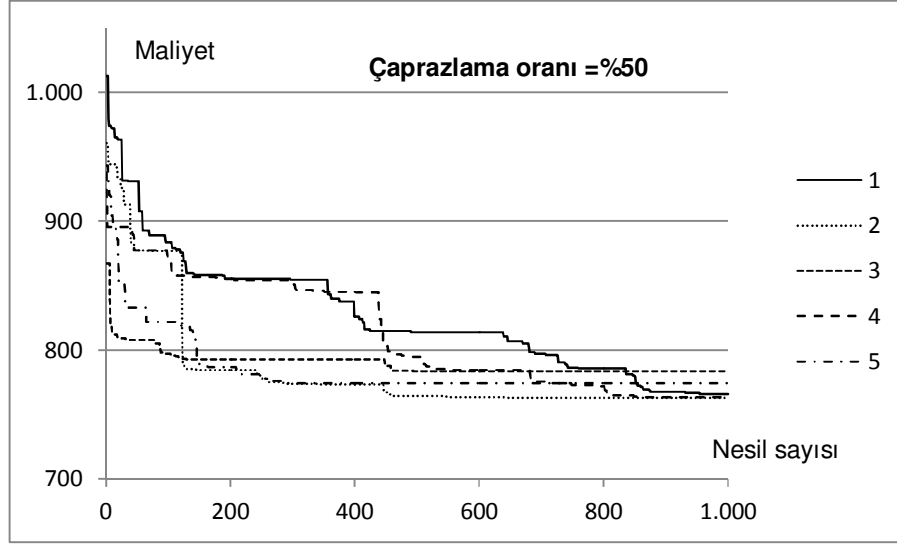
Şekil 9.20 İyiden (%100) koruma yöntemi grafiği



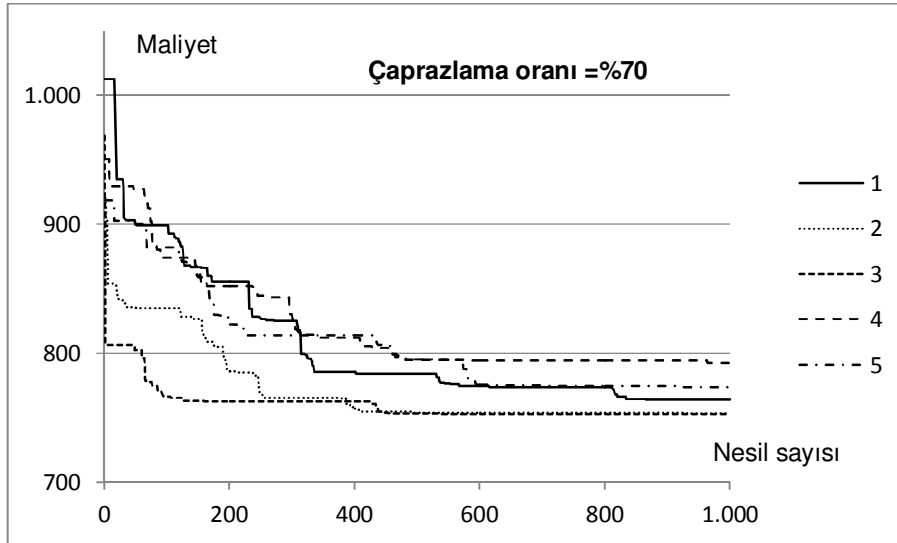
Şekil 9.21 Denenen tüm koruma yöntemleri grafiği



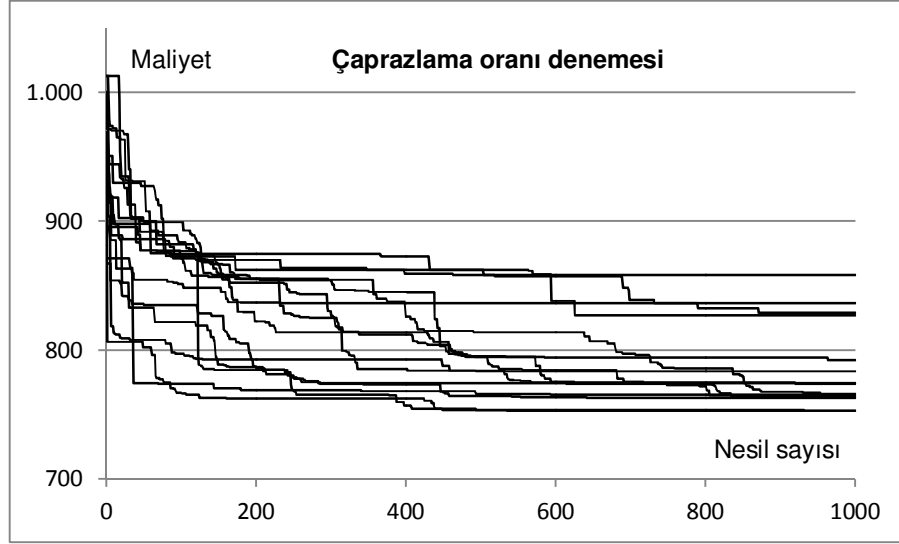
Şekil 9.22 Çaprazlama oranı %30 grafiği



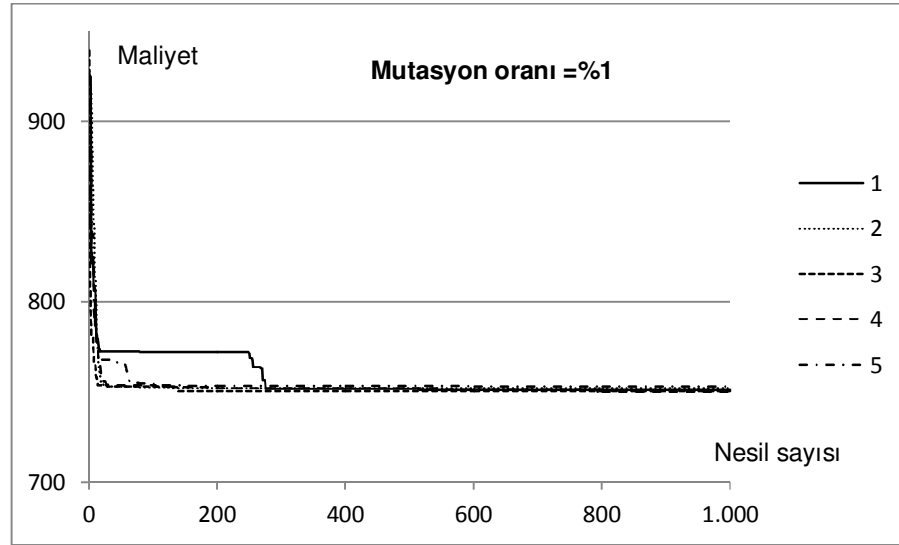
Şekil 9.23 Çaprazlama oranı %50 grafiği



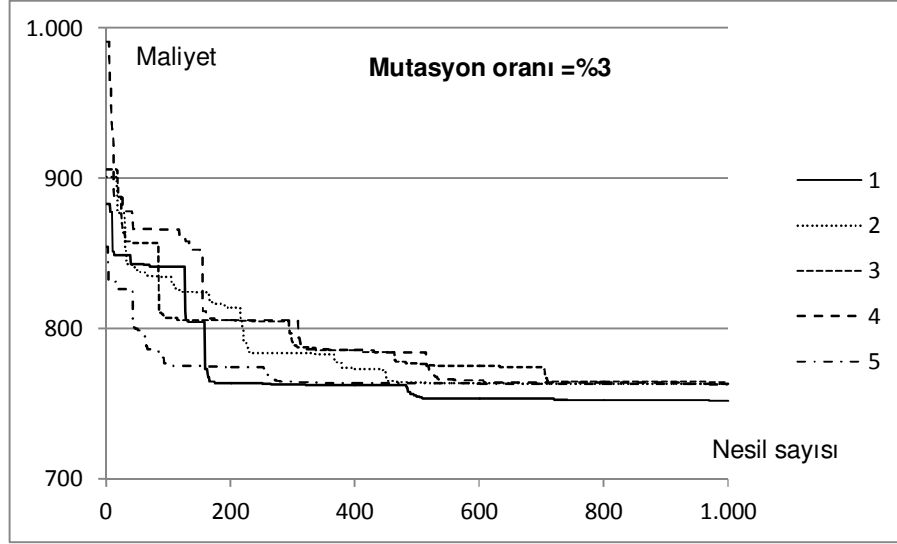
Şekil 9.24 Çaprazlama oranı %70 grafiği



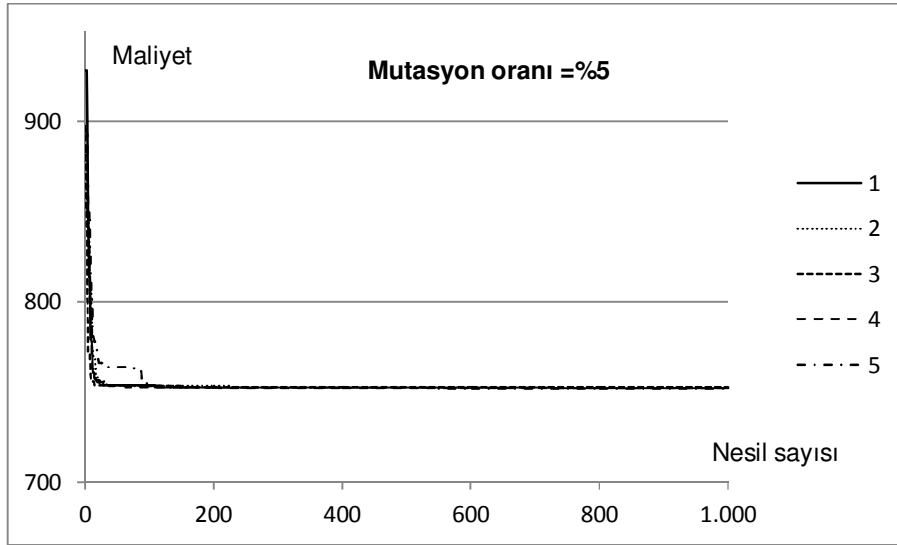
Şekil 9.25 Denenen tüm çaprazlama oranları grafiği



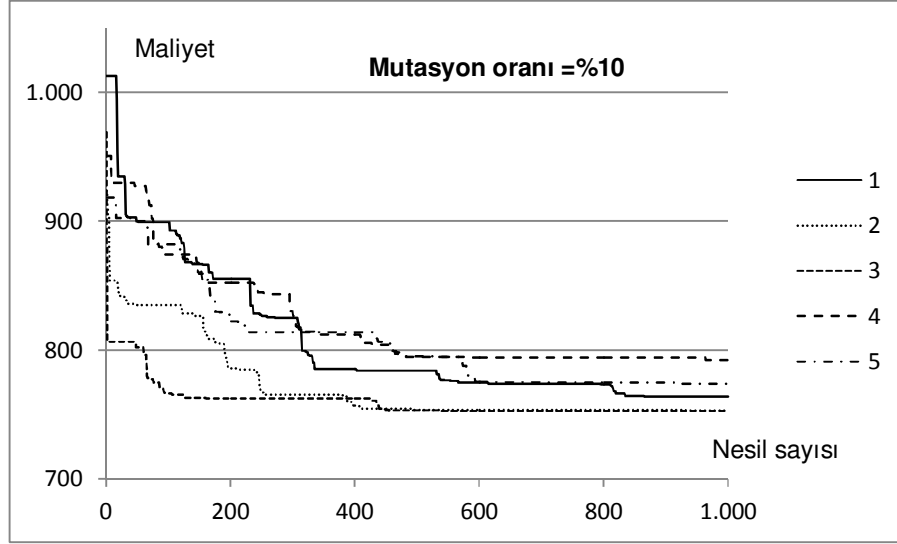
Şekil 9.26 Mutasyon oranı %1 grafiği



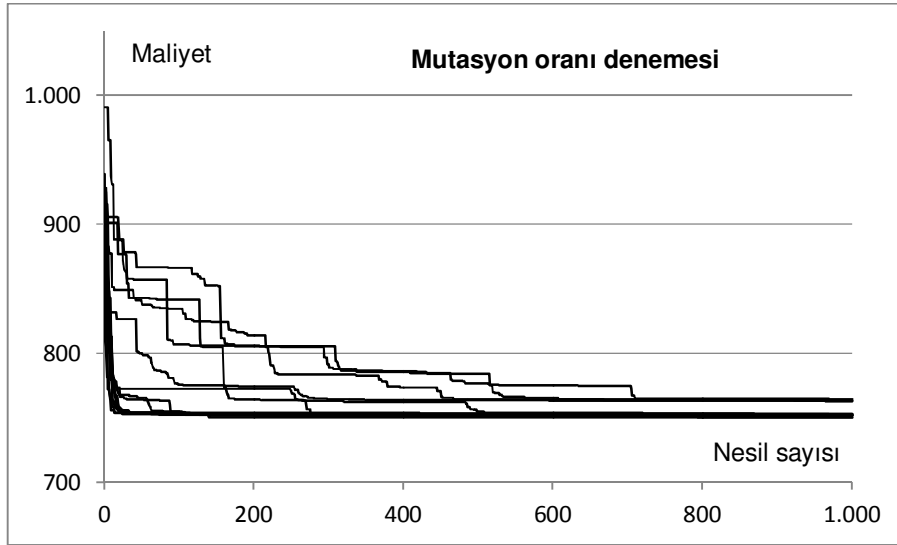
Şekil 9.27 Mutasyon oranı %3 grafiği



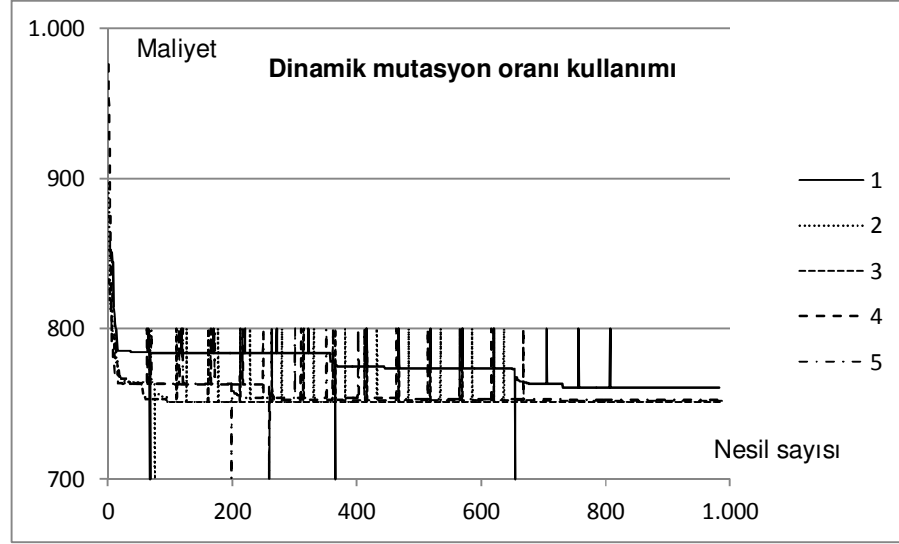
Şekil 9.28 Mutasyon oranı %5 grafiği



Şekil 9.29 Mutasyon oranı %10 grafiği

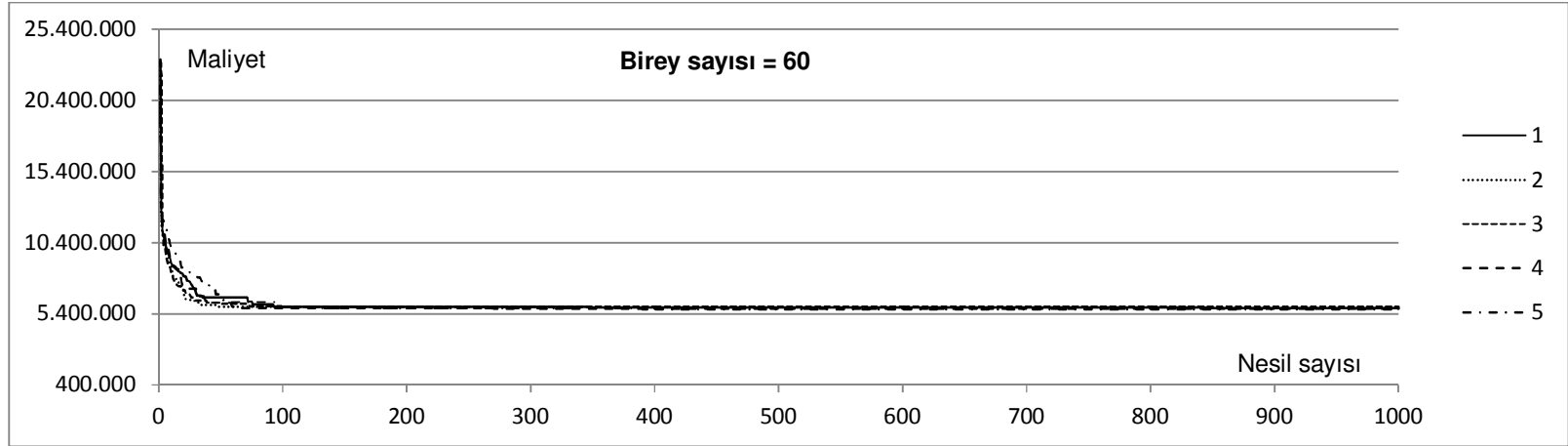


Şekil 9.30 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği

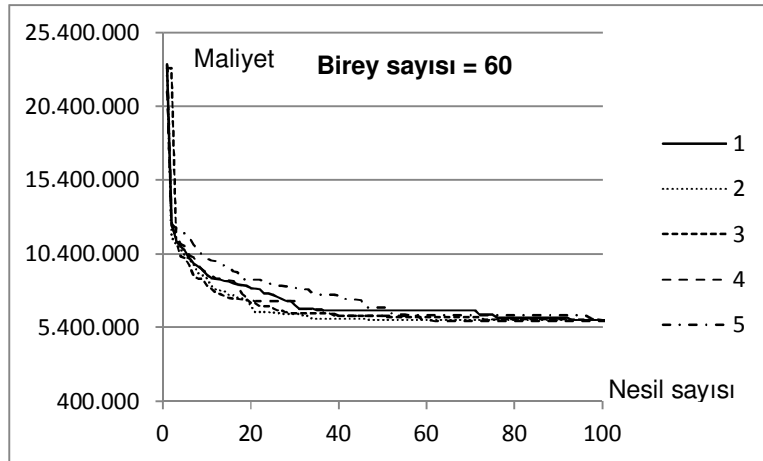


Şekil 9.31 Dinamik mutasyon oranı grafiği

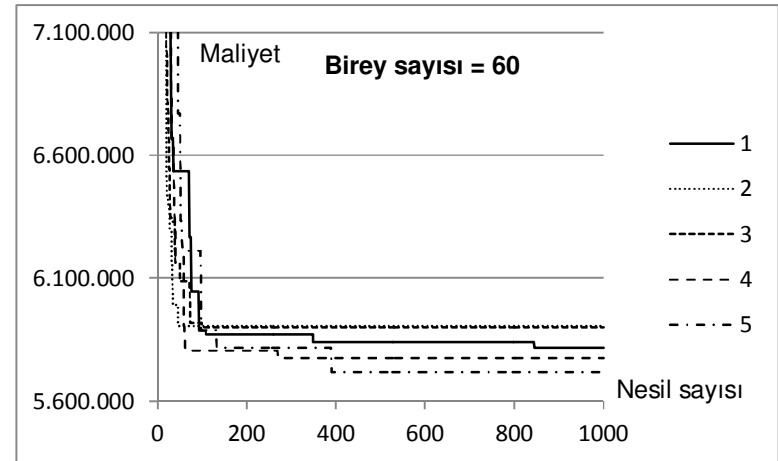
9.2.2 Örnek Şebeke – 6 Hidrolik Optimizasyon Denemesi Grafikleri



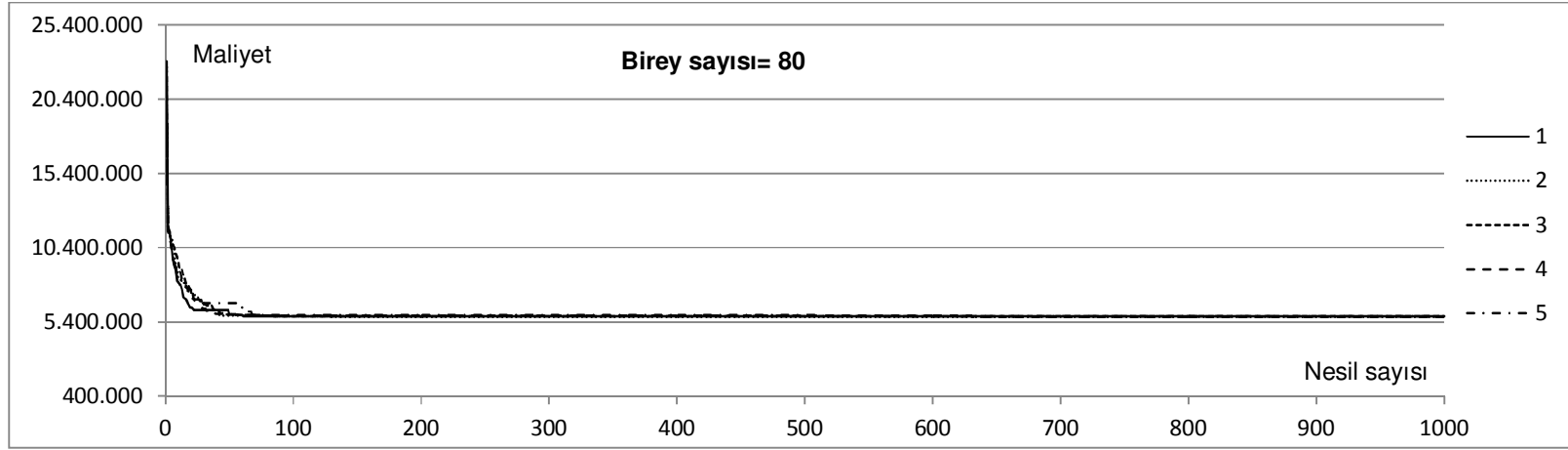
Şekil 9.32 Birey sayısı = 60 için grafik



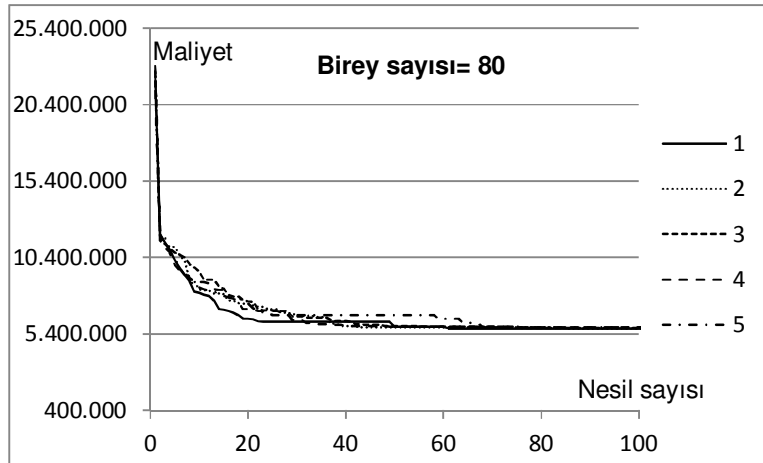
Şekil 9.33 Birey sayısı = 60 grafiği detay-1



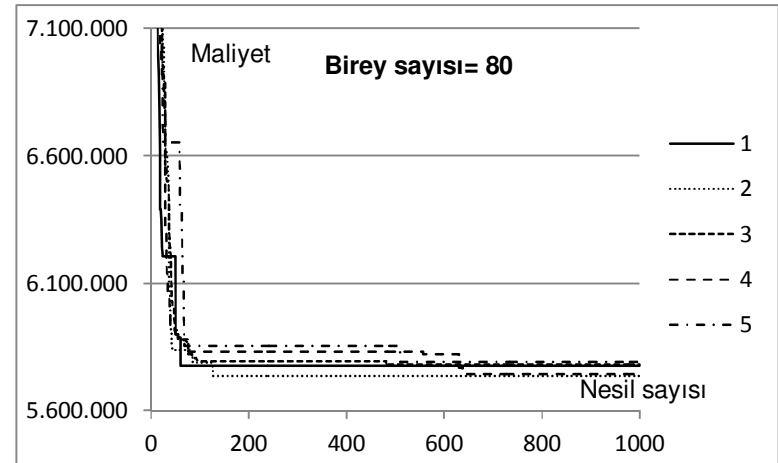
Şekil 9.34 Birey sayısı = 60 grafiği detay-2



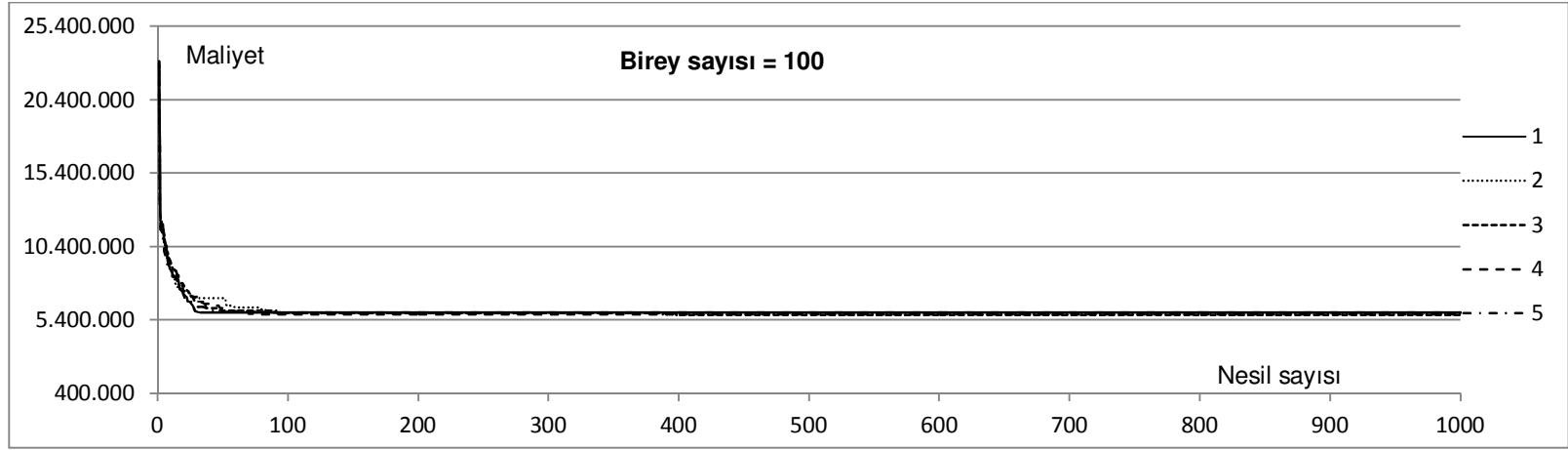
Şekil 9.35 Birey sayısı = 80 için grafik



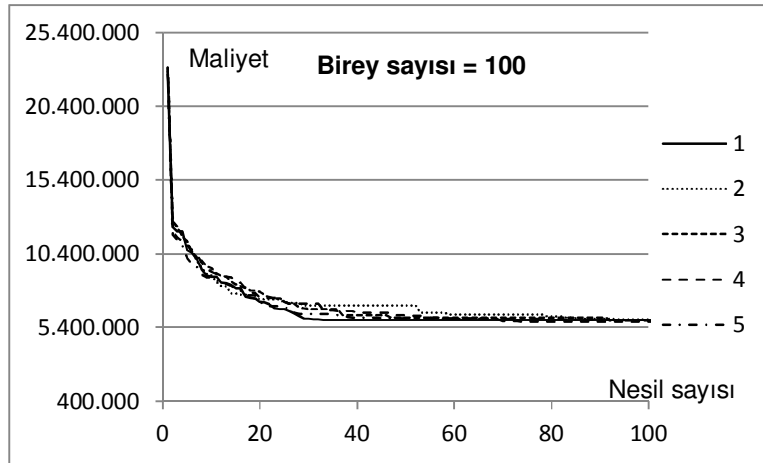
Şekil 9.36 Birey sayısı = 80 grafiği detay-1



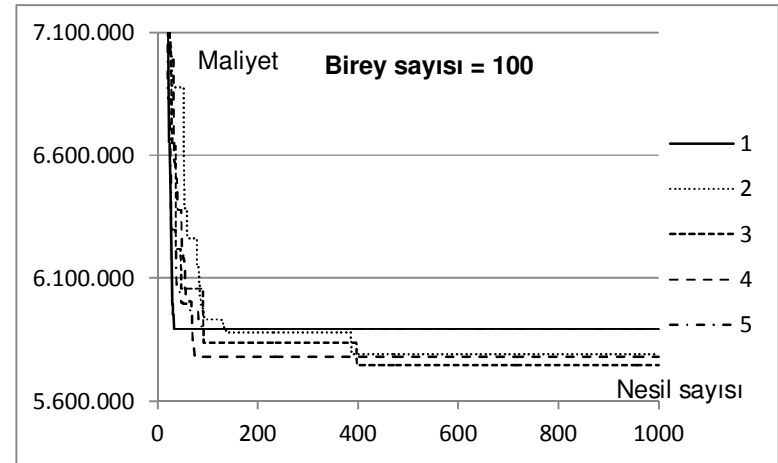
Şekil 9.37 Birey sayısı = 80 grafiği detay-2



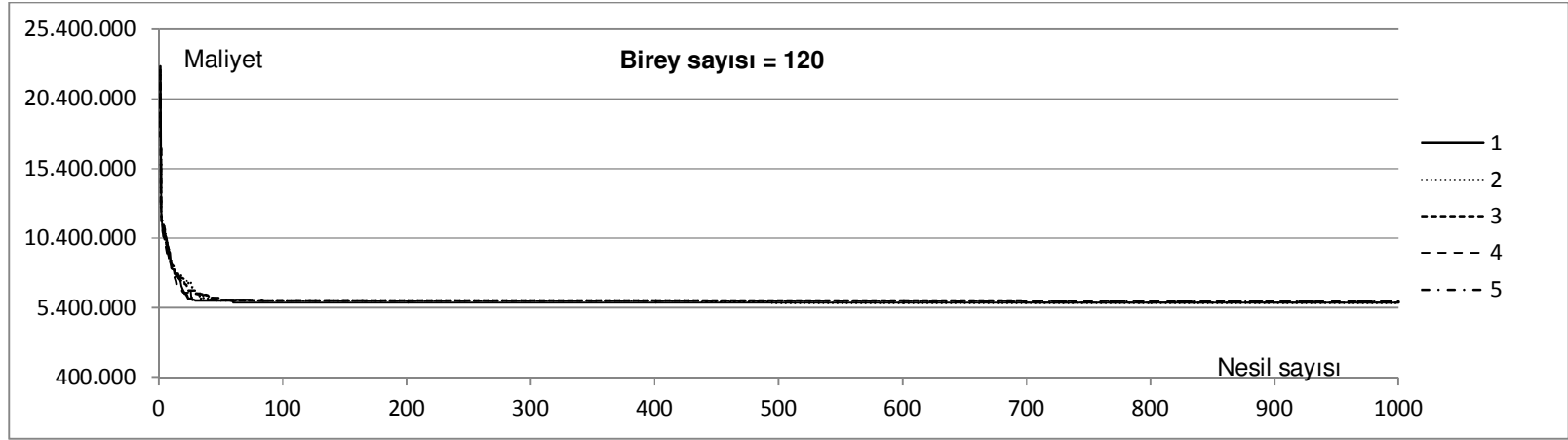
Şekil 9.38 Birey sayısı = 100 için grafik



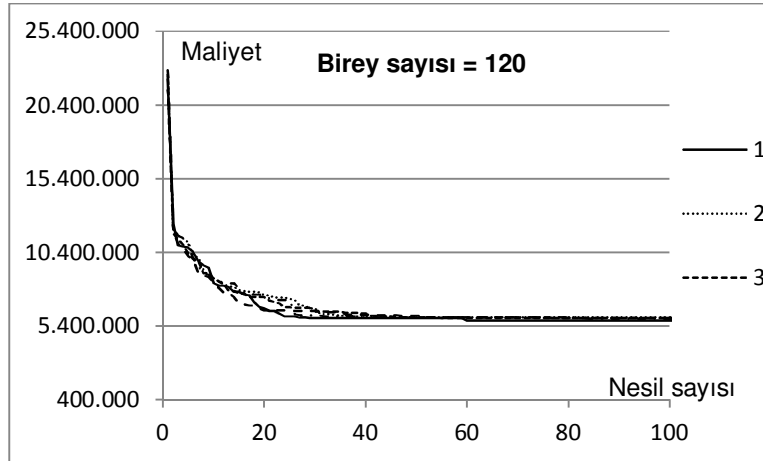
Şekil 9.39 Birey sayısı = 100 grafiği detay-1



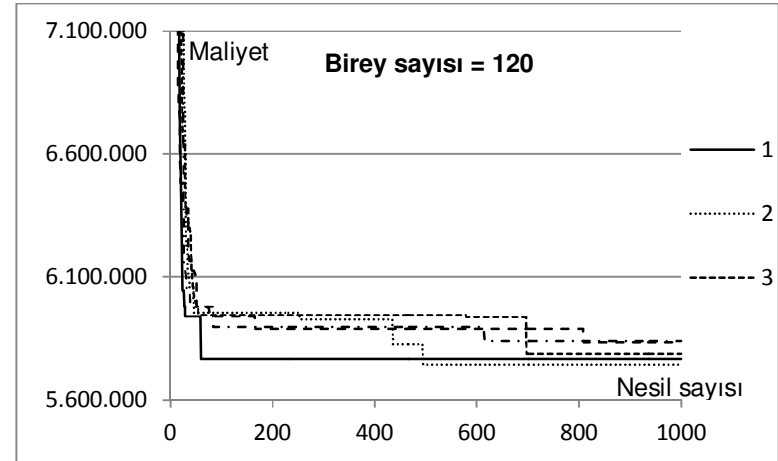
Şekil 9.40 Birey sayısı = 100 grafiği detay-2



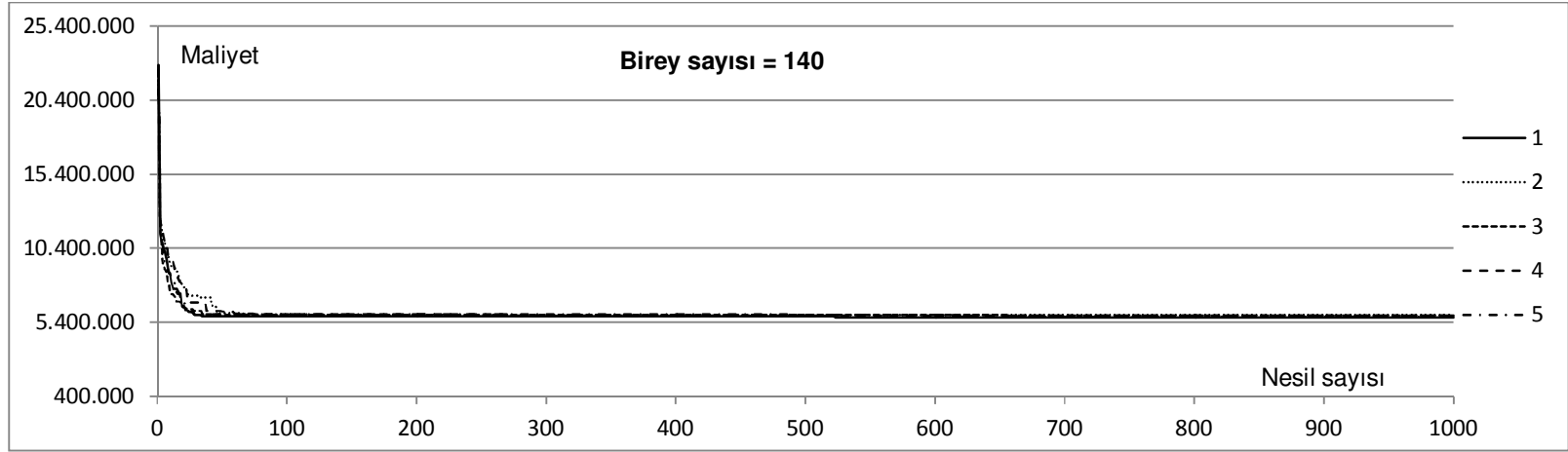
Şekil 9.41 Birey sayısı = 120 için grafik



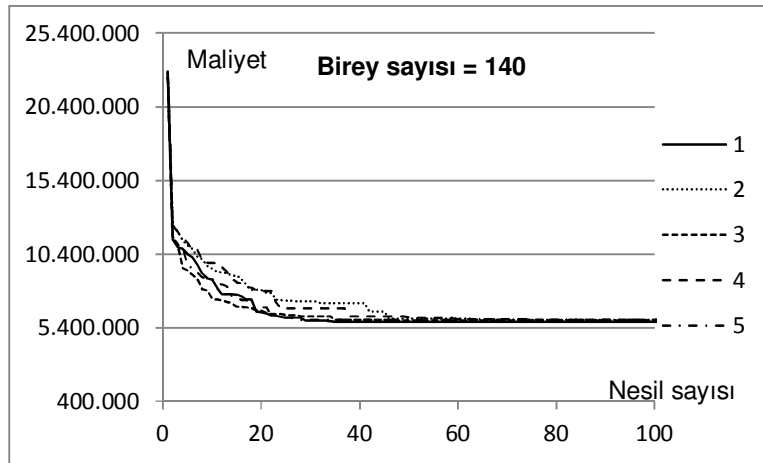
Şekil 9.42 Birey sayısı = 120 grafiği detay-1



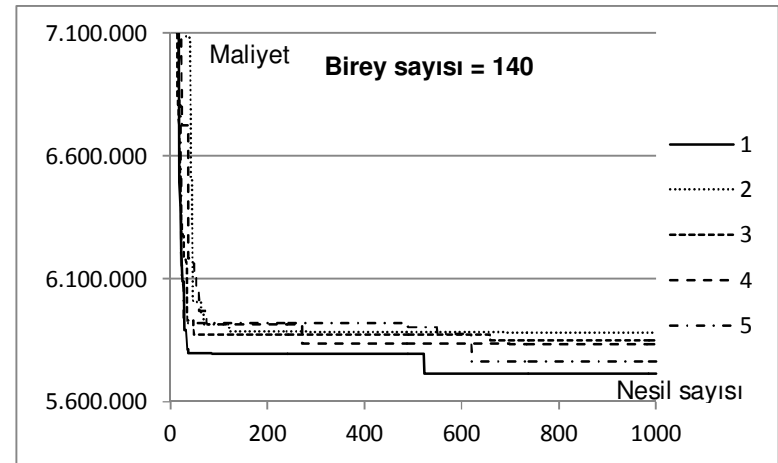
Şekil 9.43 Birey sayısı = 120 grafiği detay-2



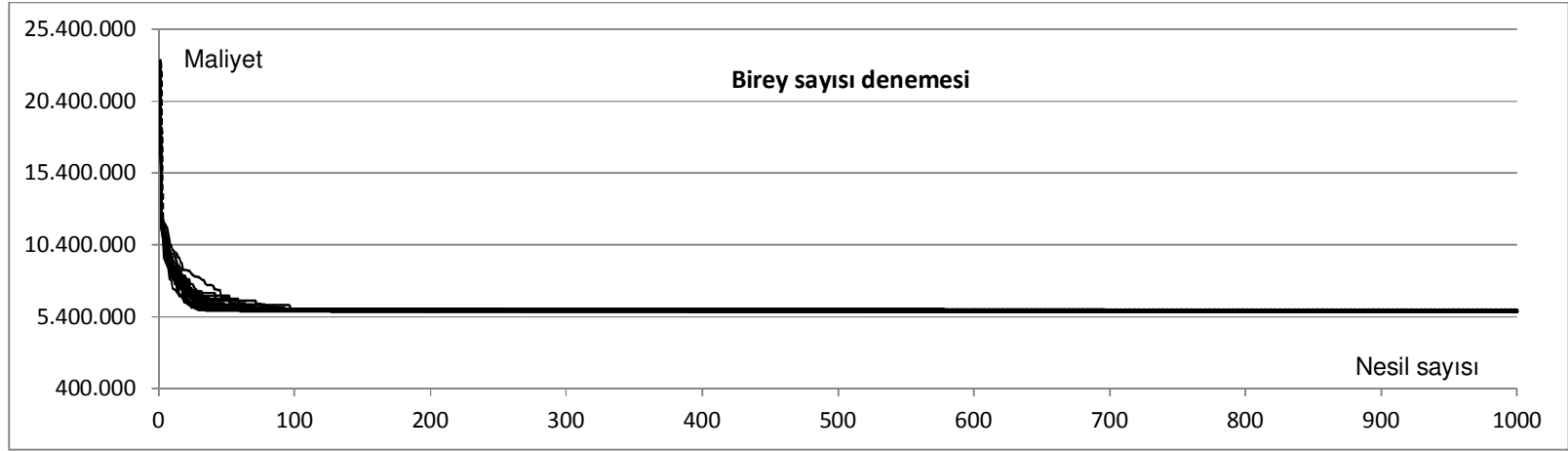
Şekil 9.44 Birey sayısı = 140 için grafik



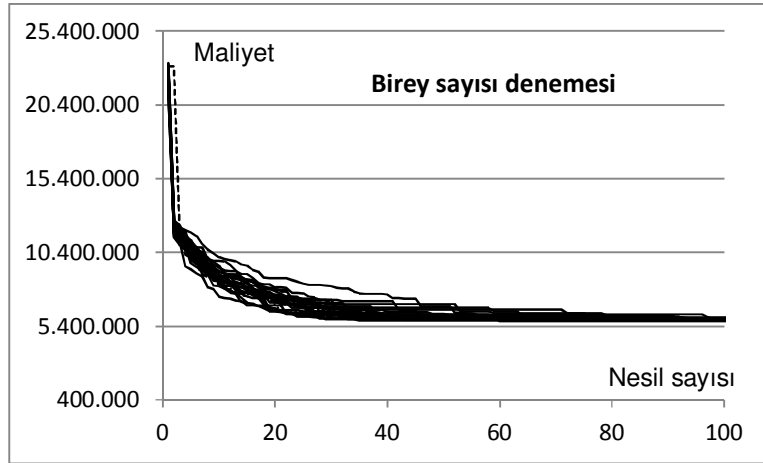
Şekil 9.45 Birey sayısı = 140 grafiği detay-1



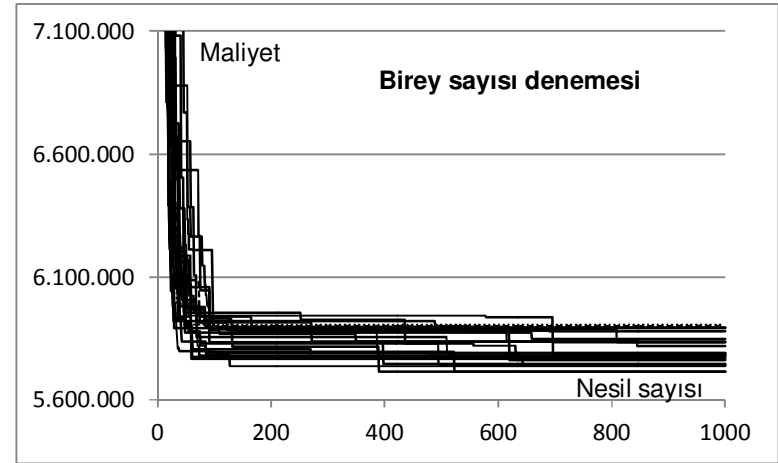
Şekil 9.46 Birey sayısı = 140 grafiği detay-2



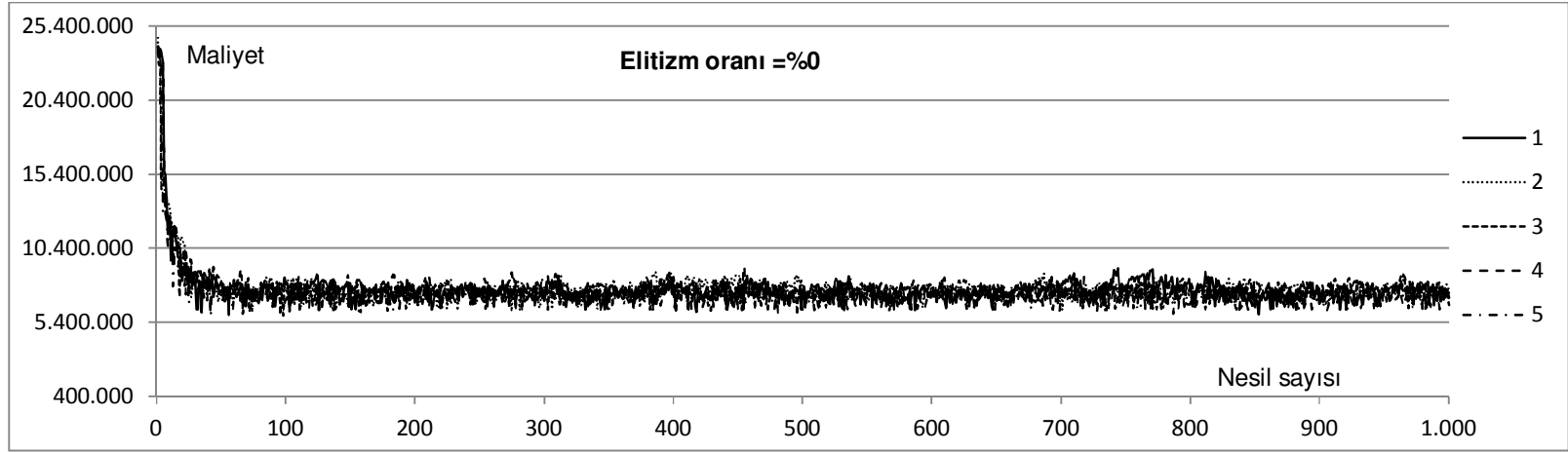
Şekil 9.47 Denenen tüm birey sayısı sonuçları için grafik



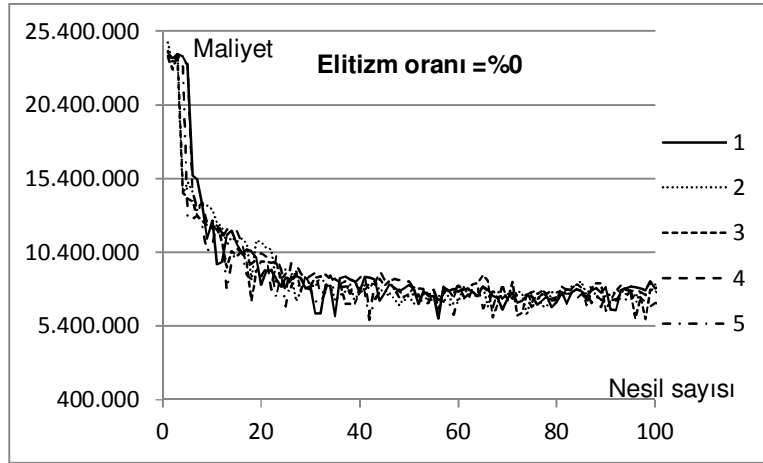
Şekil 9.48 Denenen tüm birey sayısı sonuçları grafiği detay-1



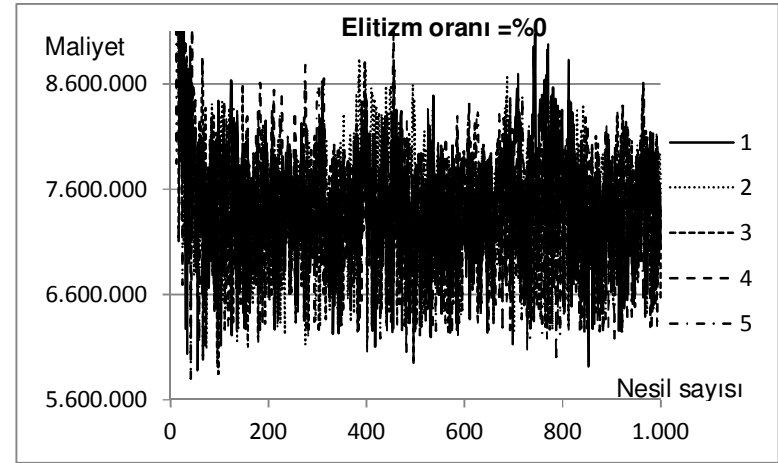
Şekil 9.49 Denenen tüm birey sayısı sonuçları grafiği detay-2



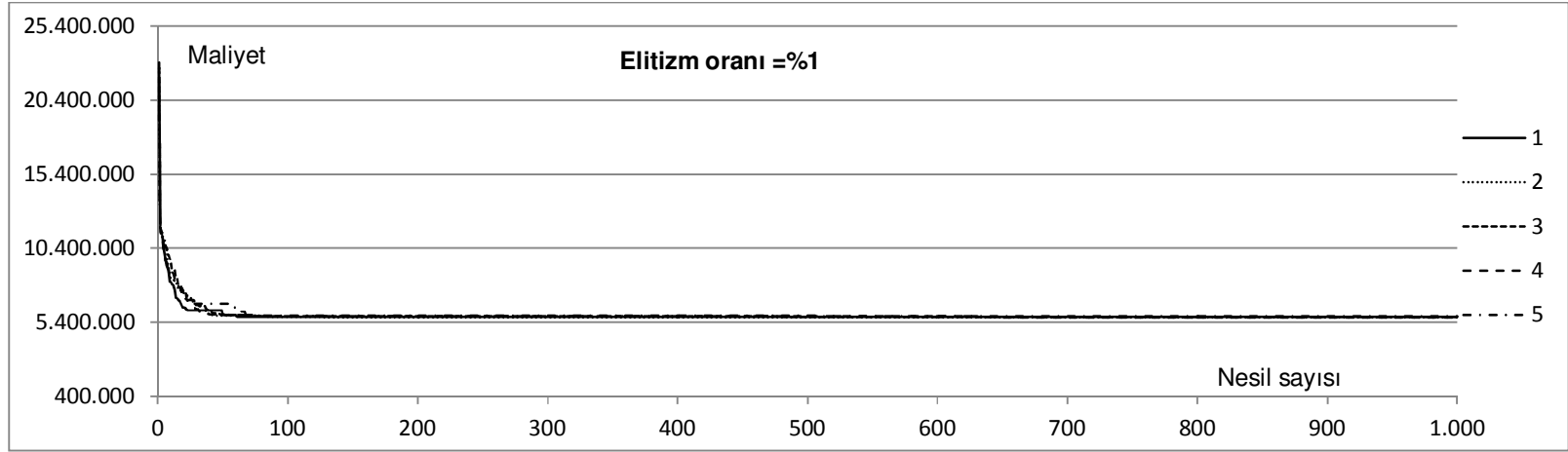
Şekil 9.50 Elitizm oranı %0 grafiği



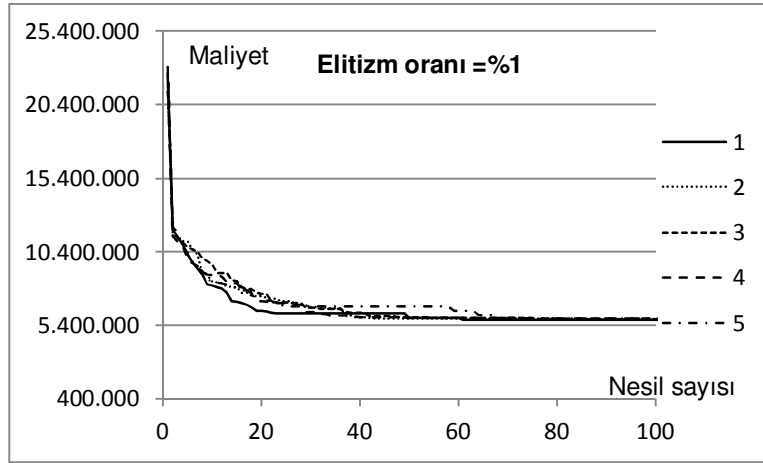
Şekil 9.51 Elitizm oranı %0 grafiği detay-1



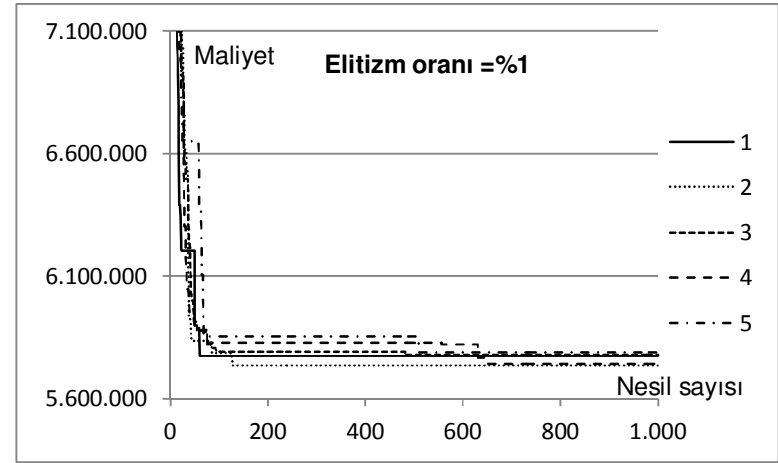
Şekil 9.52 Elitizm oranı %0 grafiği detay-2



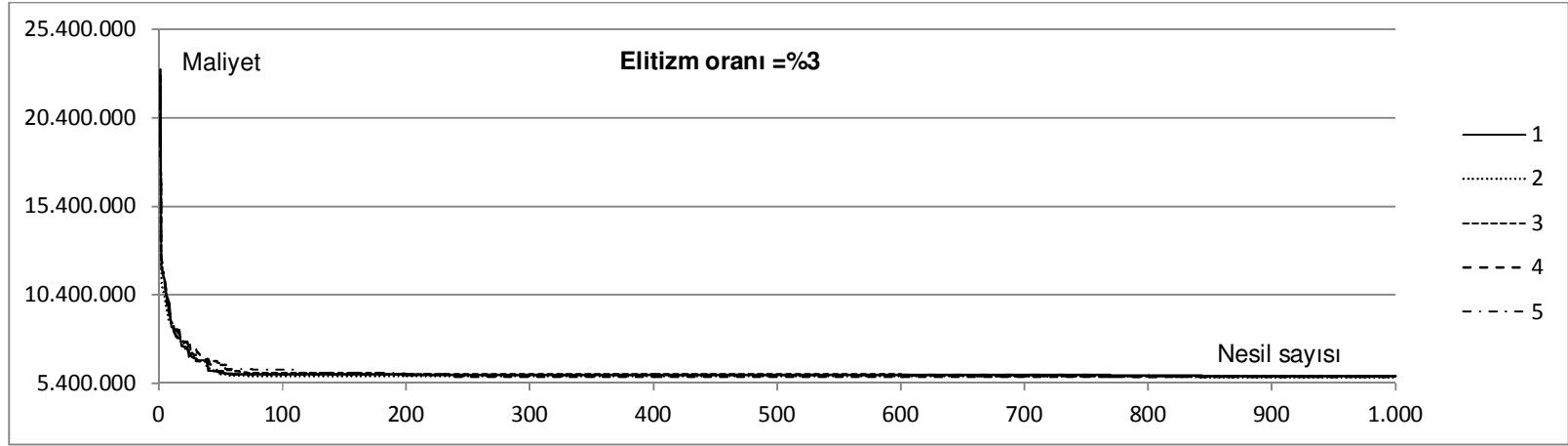
Şekil 9.53 Elitizm oranı %1 grafiği



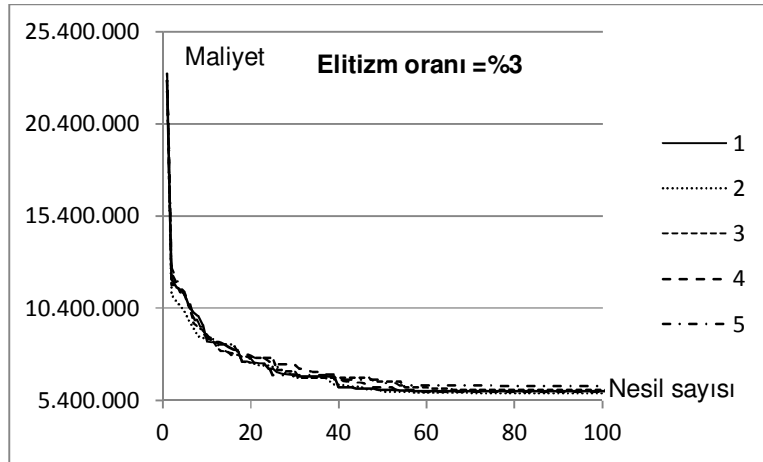
Şekil 9.54 Elitizm oranı %1 grafiği detay-1



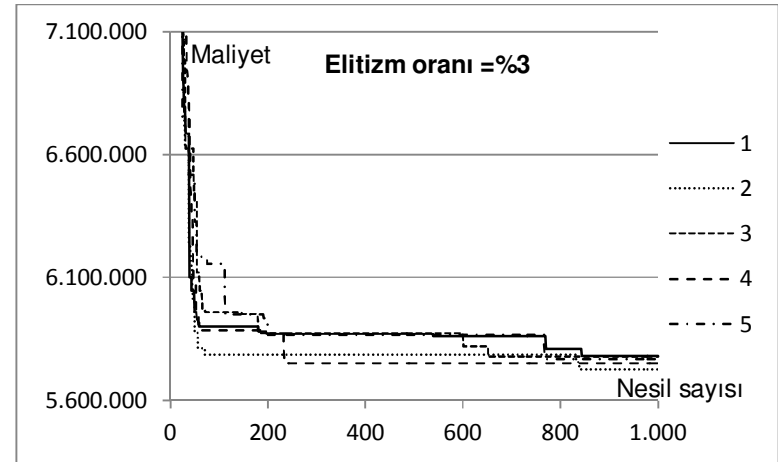
Şekil 9.55 Elitizm oranı %1 grafiği detay-2



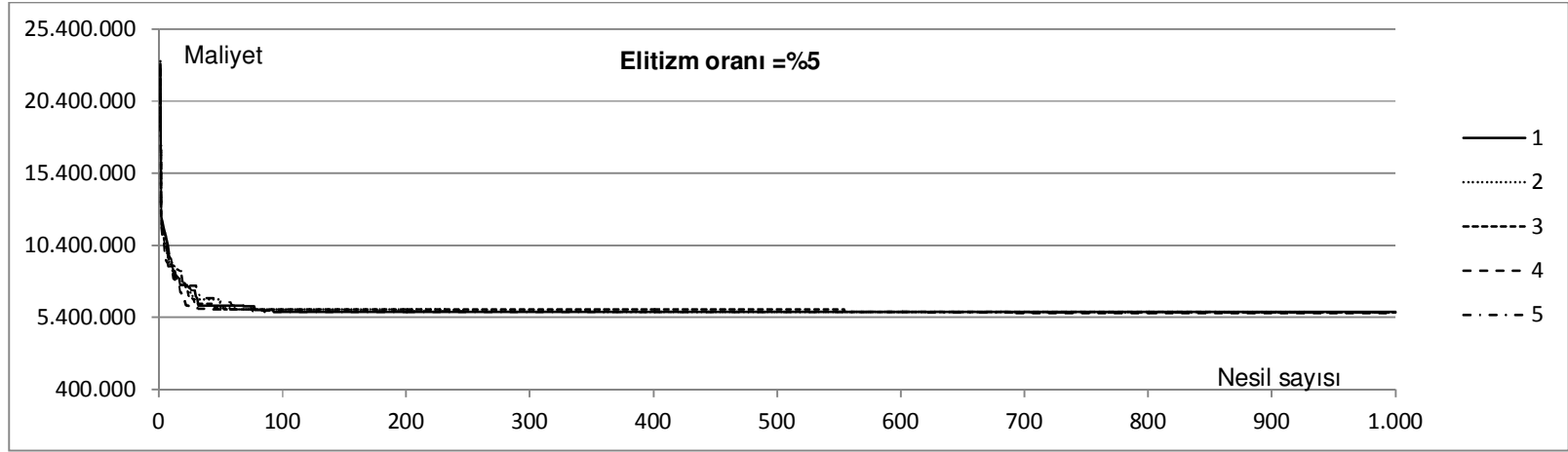
Şekil 9.56 Elitizm oranı %3 grafiği



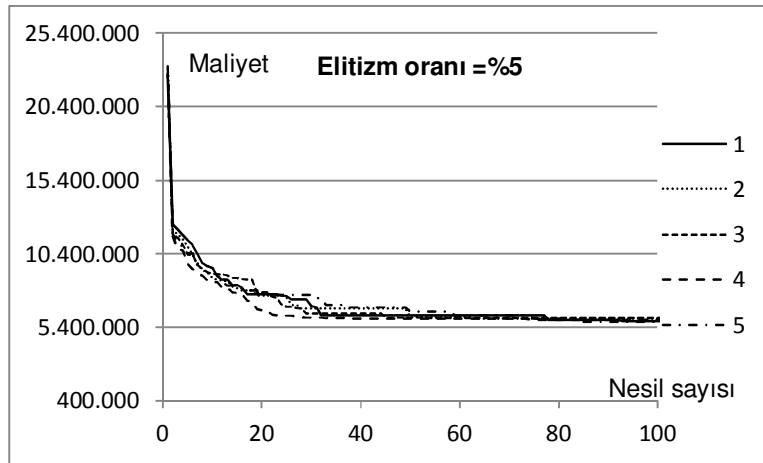
Şekil 9.57 Elitizm oranı %3 grafiği detay-1



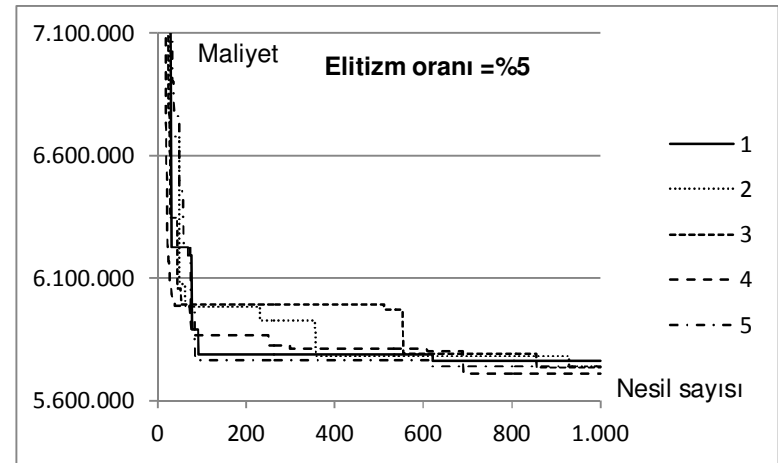
Şekil 9.58 Elitizm oranı %3 grafiği detay-2



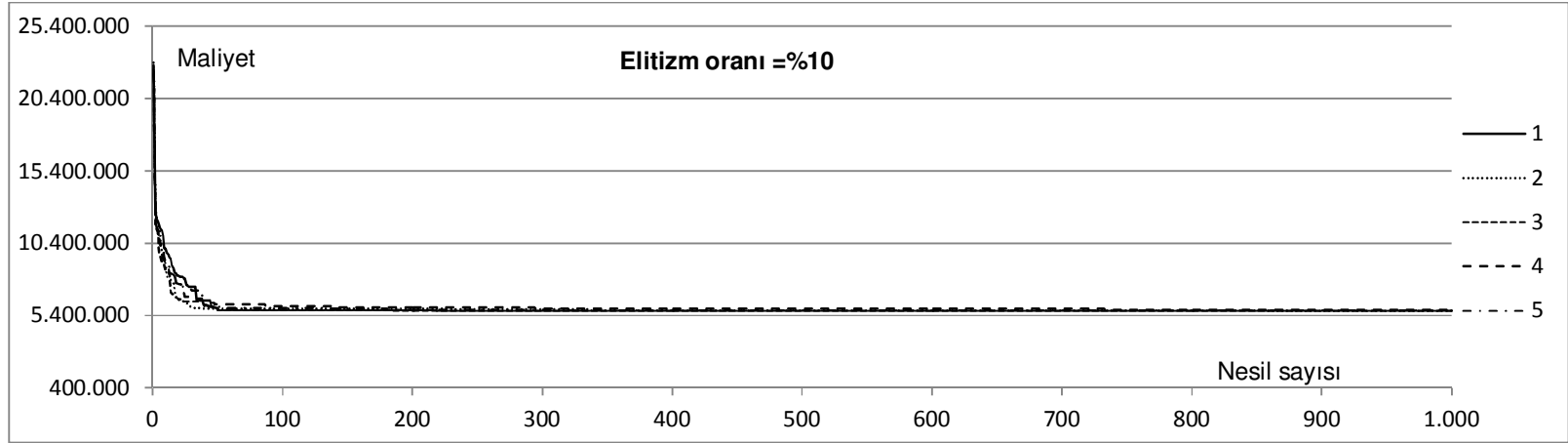
Şekil 9.59 Elitizm oranı %5 grafiği



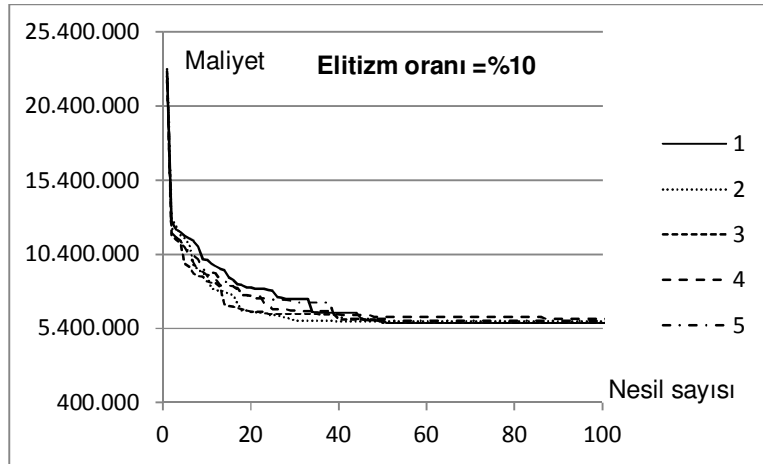
Şekil 9.60 Elitizm oranı %5 grafiği detay-1



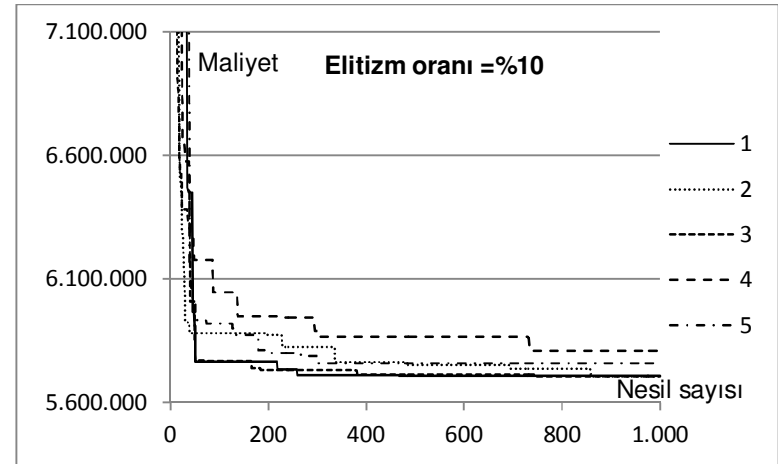
Şekil 9.61 Elitizm oranı %5 grafiği detay-2



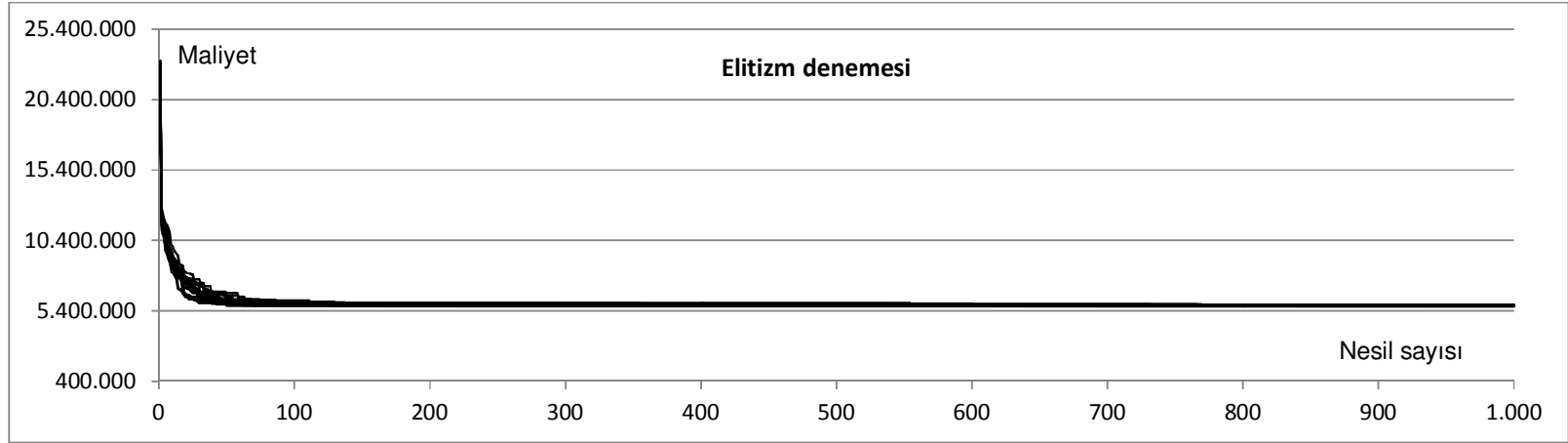
Şekil 9.62 Elitizm oranı %10 grafiği



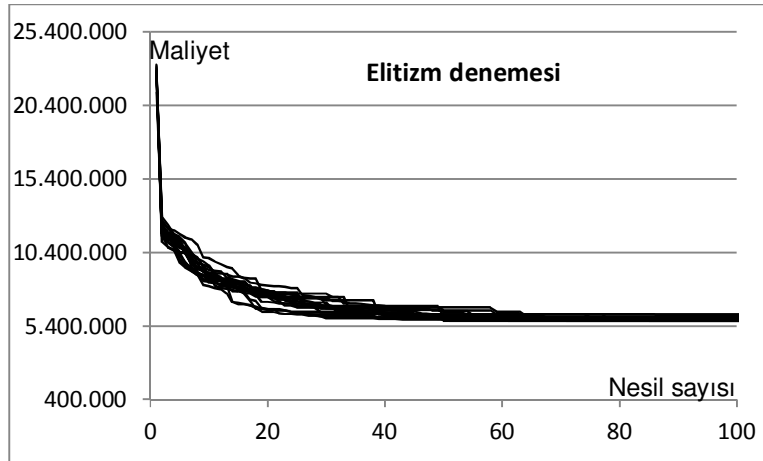
Şekil 9.63 Elitizm oranı %10 grafiği detay-1



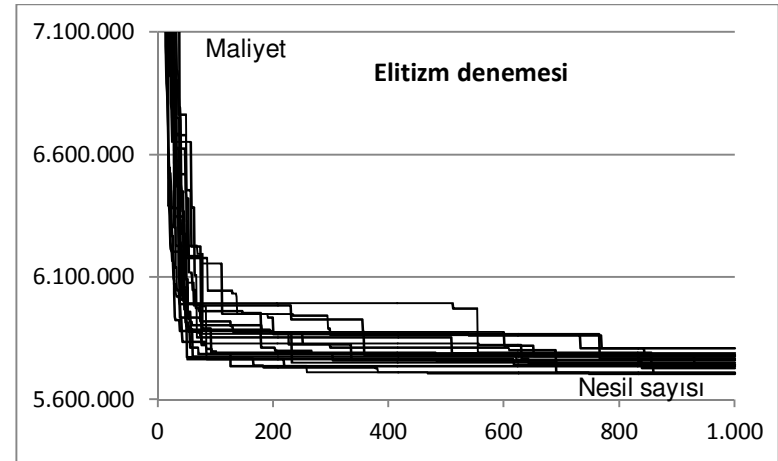
Şekil 9.64 Elitizm oranı %10 grafiği detay-2



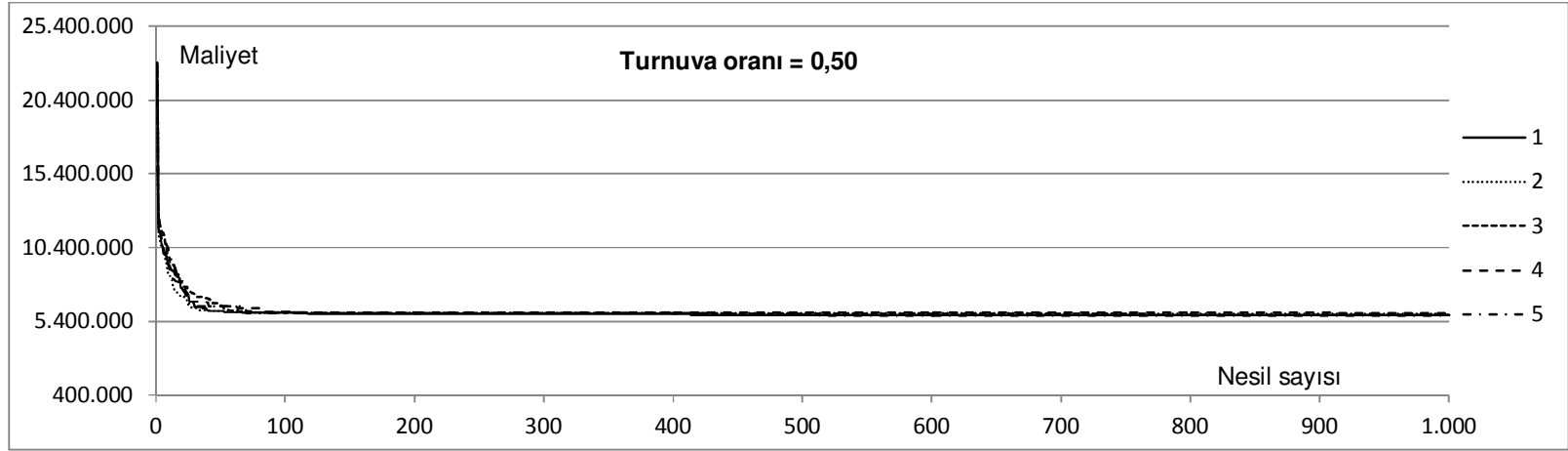
Şekil 9.65 Denenen tüm elitizm oranları grafiği



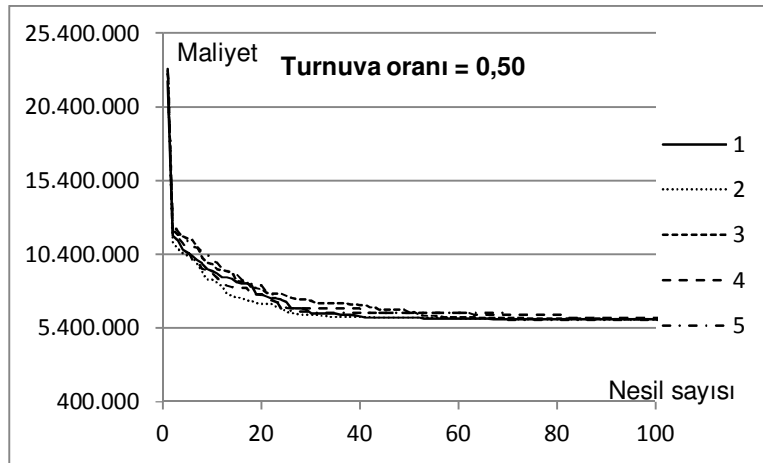
Şekil 9.66 Denenen tüm elitizm oranları grafiği detay-1



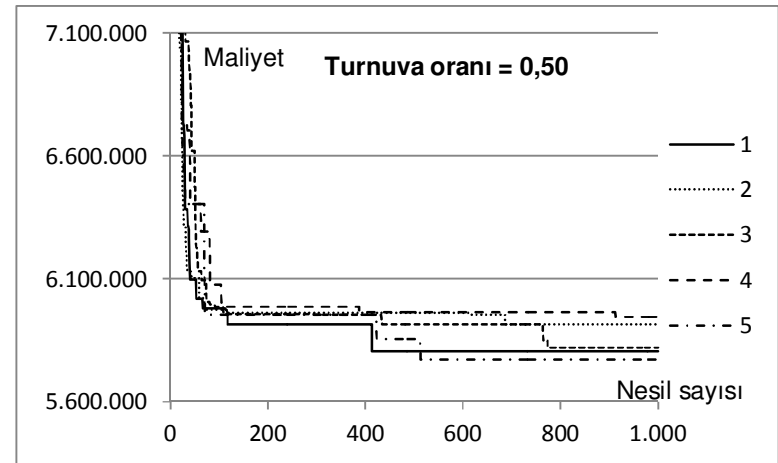
Şekil 9.67 Denenen tüm elitizm oranları grafiği detay-2



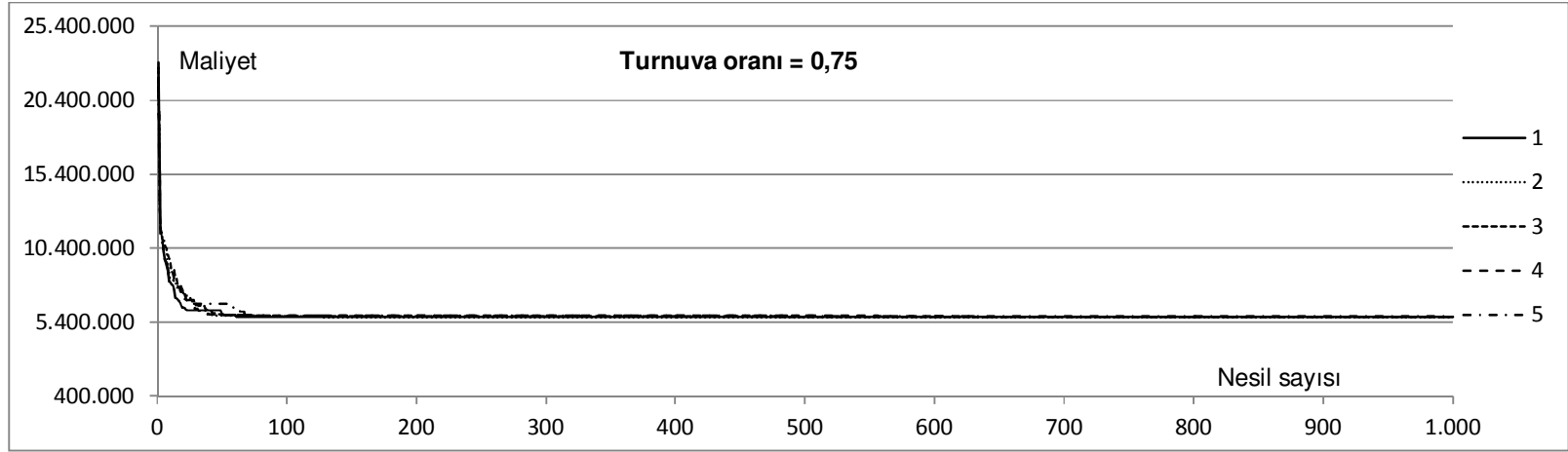
Şekil 9.68 Turnuva oranı = 0,50 için grafik



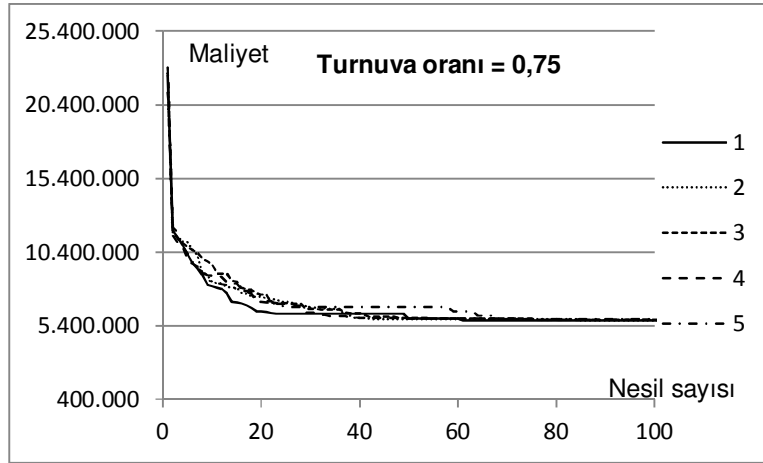
Şekil 9.69 Turnuva oranı = 0,50 grafiği detay-1



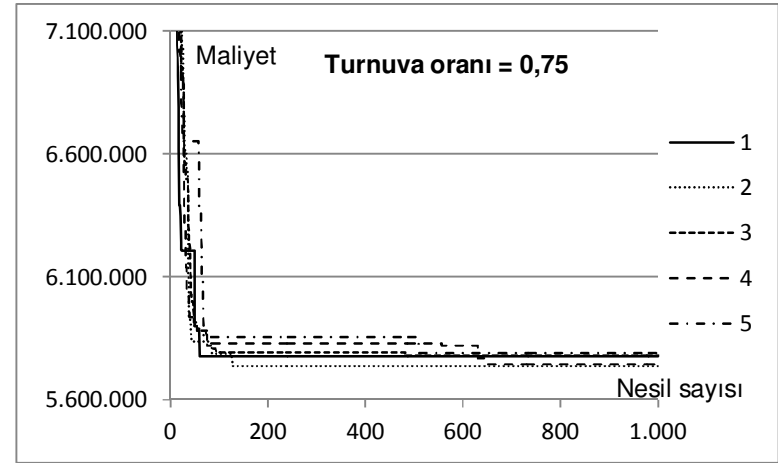
Şekil 9.70 Turnuva oranı = 0,50 grafiği detay-2



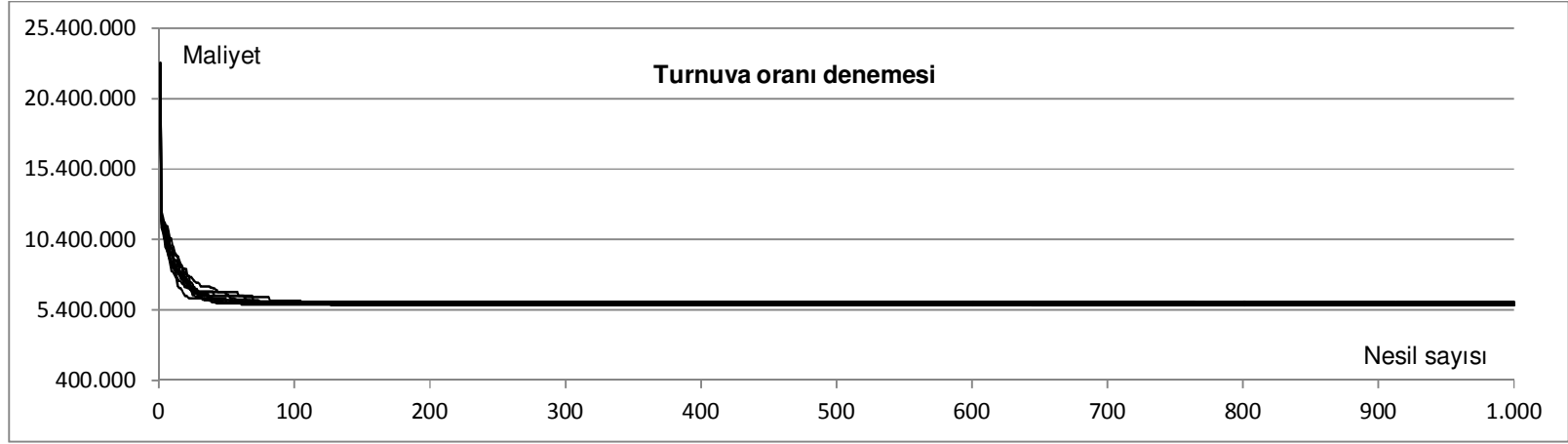
Şekil 9.71 Turnuva oranı = 0,75 için grafik



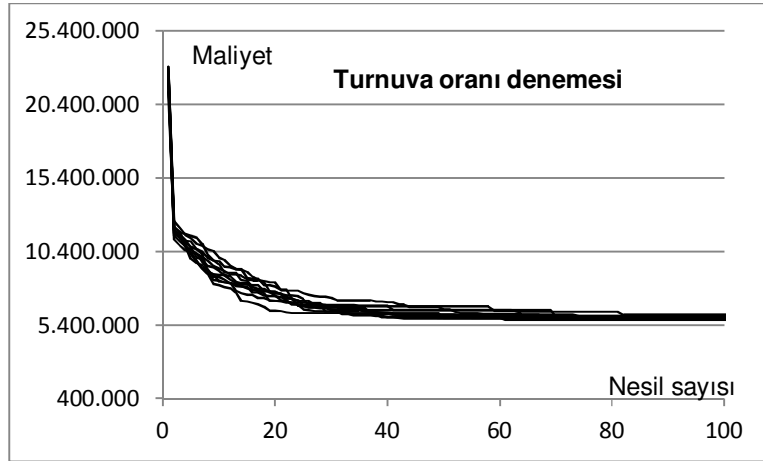
Şekil 9.72 Turnuva oranı = 0,75 grafiği detay-1



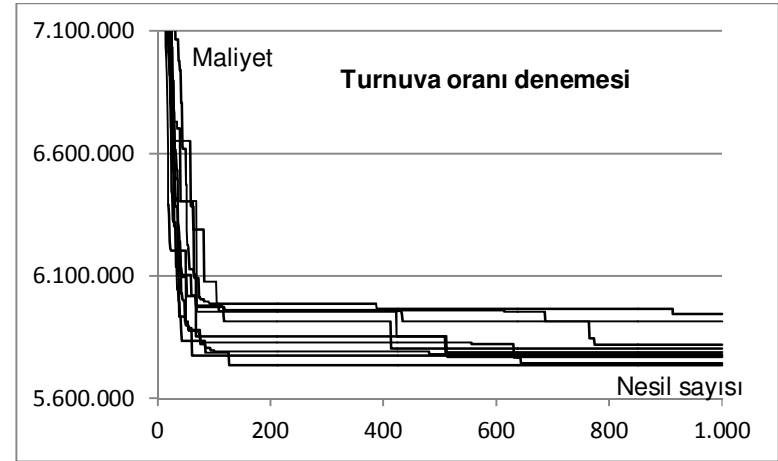
Şekil 9.73 Turnuva oranı = 0,75 grafiği detay-2



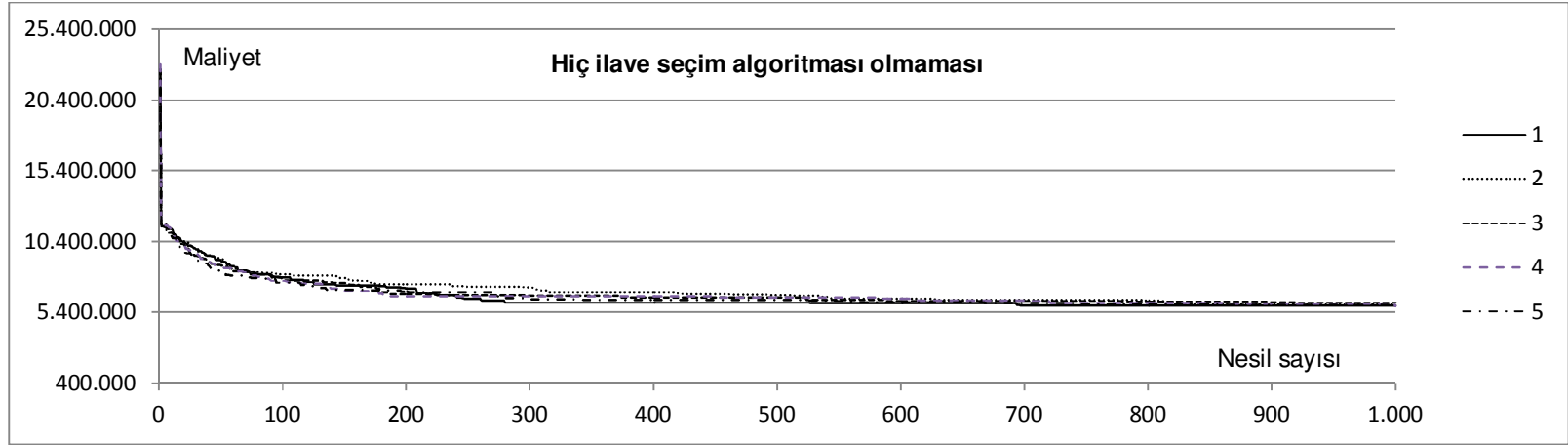
Şekil 9.74 Denenen tüm turnuva oranları için grafik



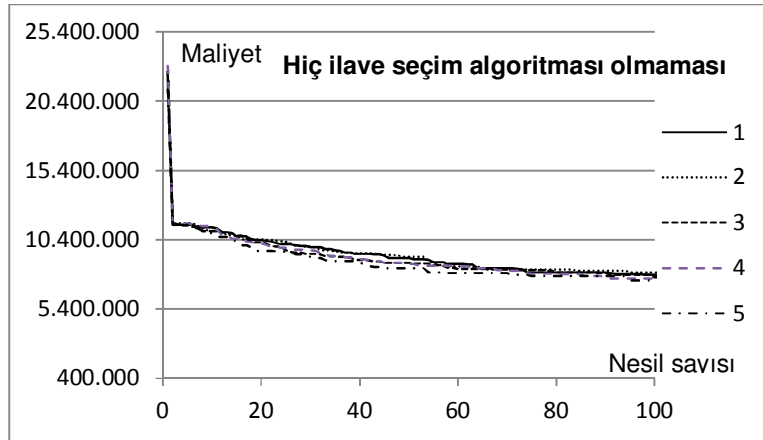
Şekil 9.75 Denenen tüm turnuva oranları grafiği detay-1



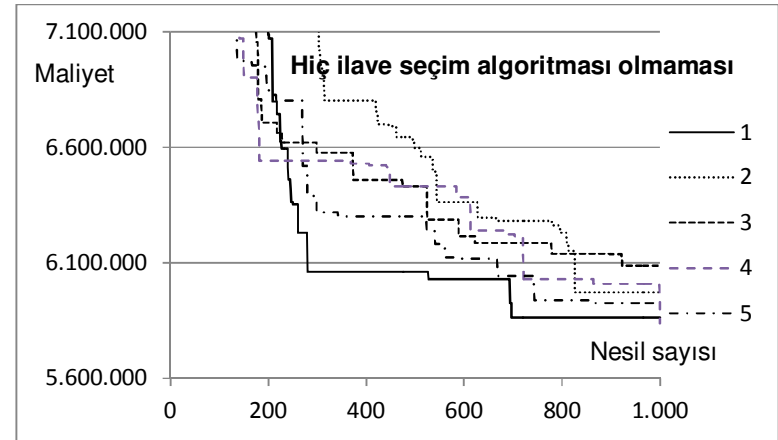
Şekil 9.76 Denenen tüm turnuva oranları grafiği detay-2



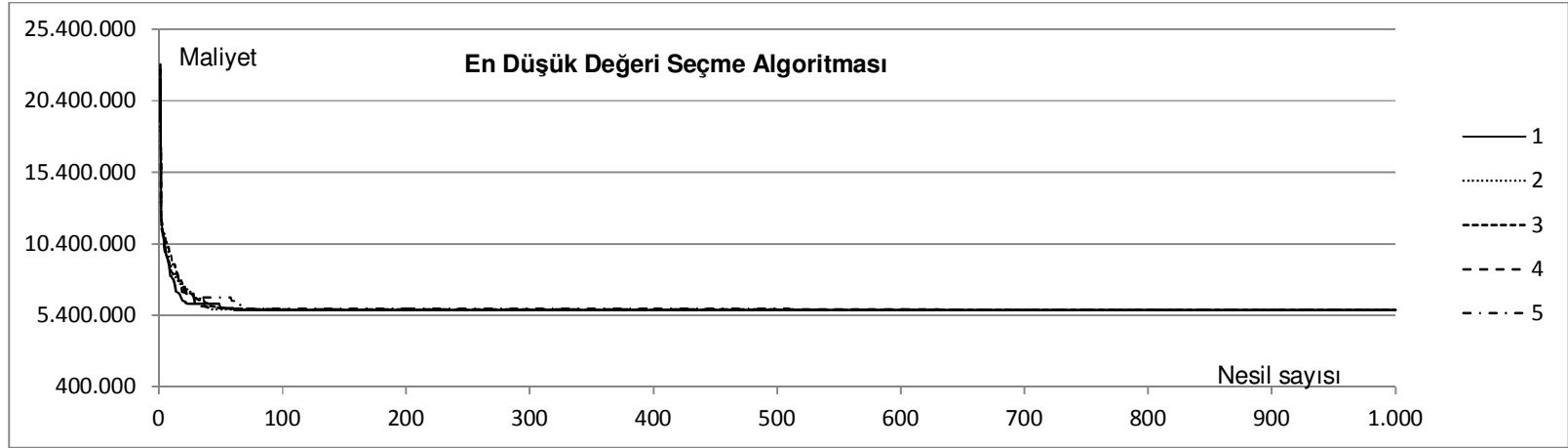
Şekil 9.77 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu için grafik



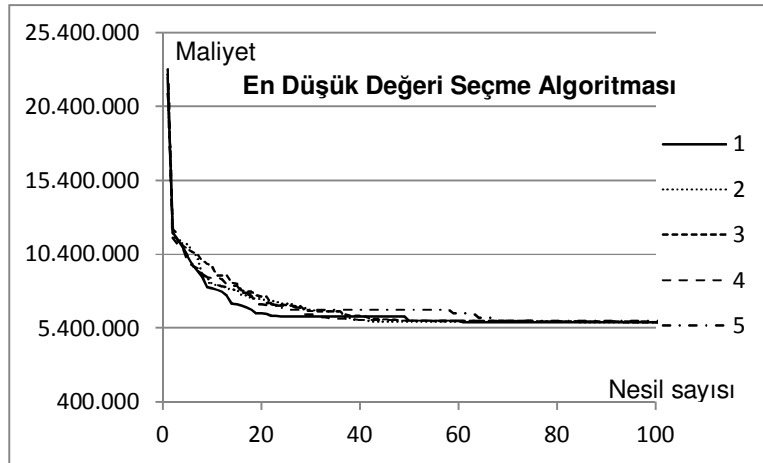
Şekil 9.78 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu grafiği detay-1



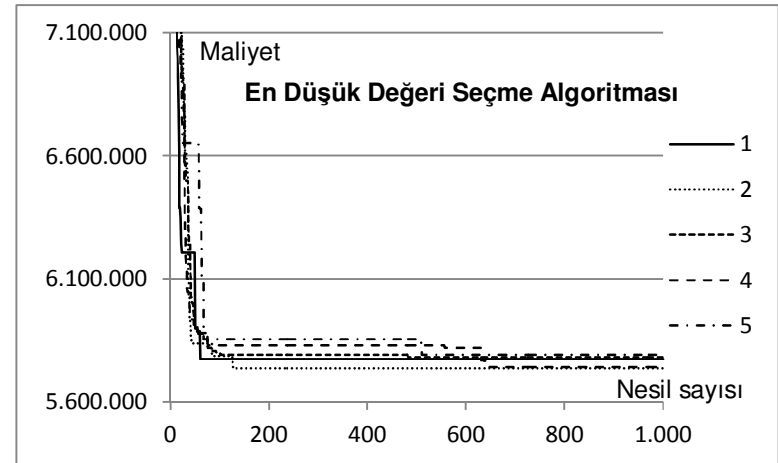
Şekil 9.79 Hiç ilave seçim algoritması kullanılmaması durumu grafiği detay-2



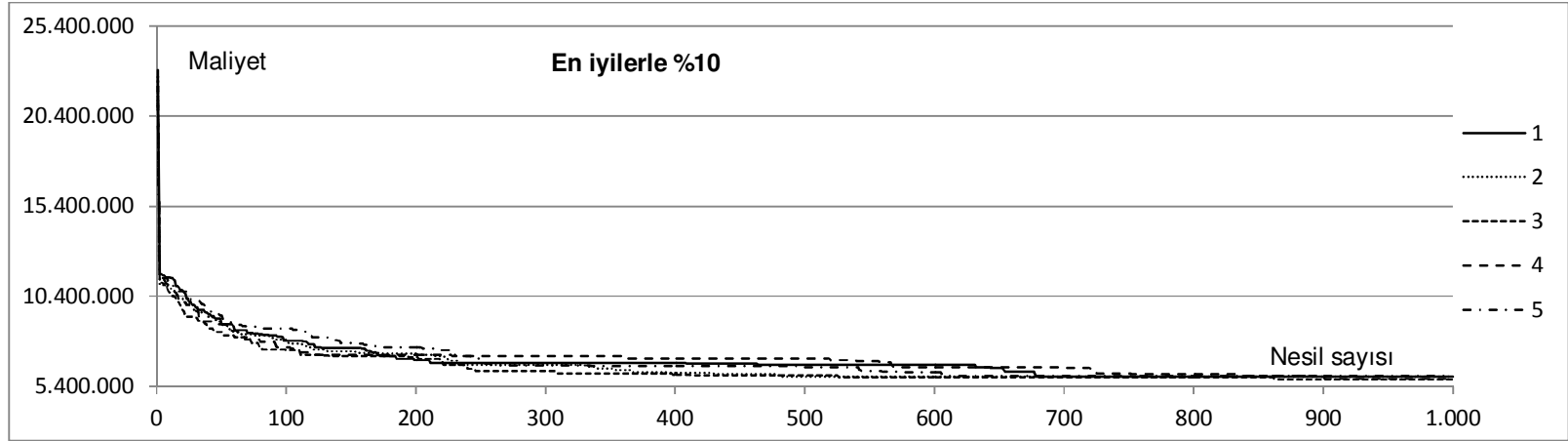
Şekil 9.80 En düşük değerle (1 adet) seçim algoritması için grafik



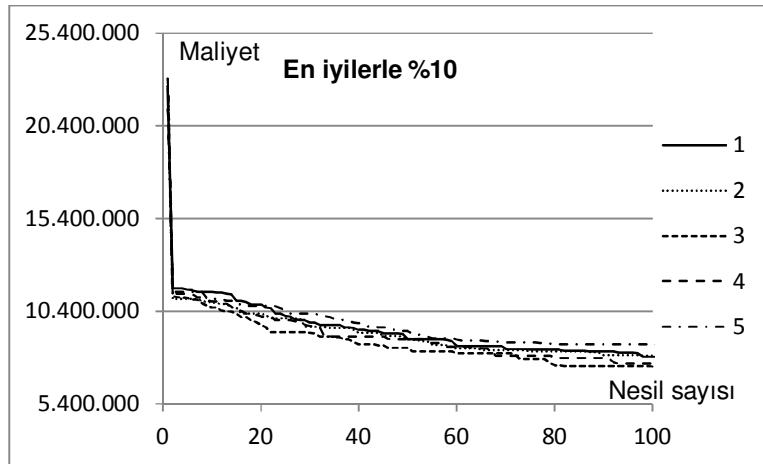
Şekil 9.81 En düşük değerle (1 adet) seçim algoritması grafiği detay-1



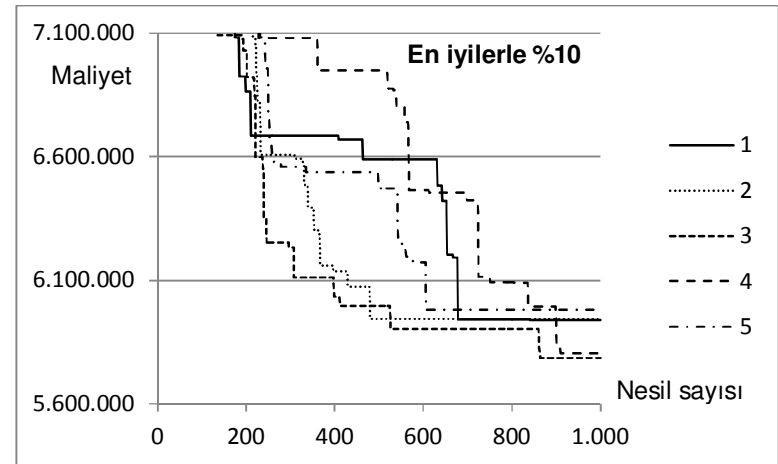
Şekil 9.82 En düşük değerle (1 adet) seçim algoritması grafiği detay-2



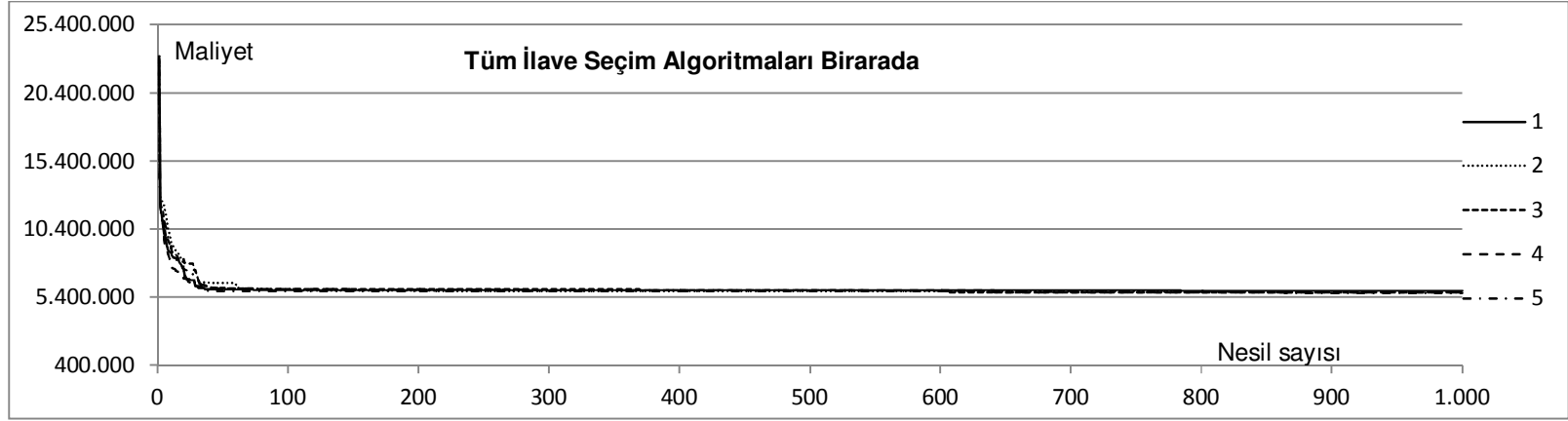
Şekil 9.83 En iyilerle (%10) seçim algoritması için grafik



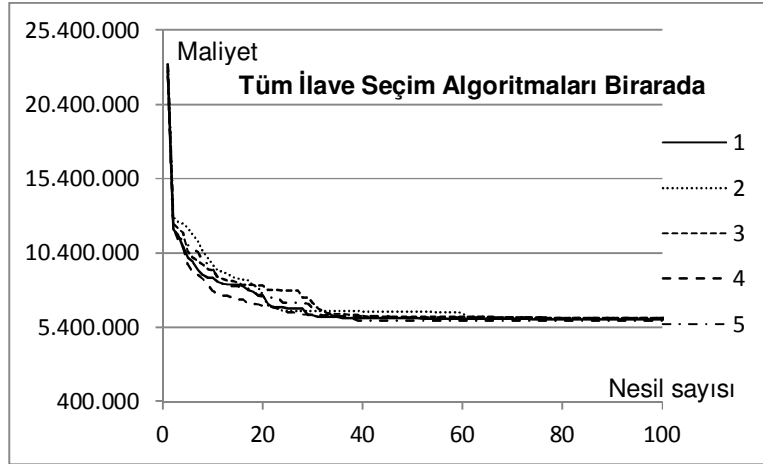
Şekil 9.84 En iyilerle (%10) seçim algoritması grafiği detay-1



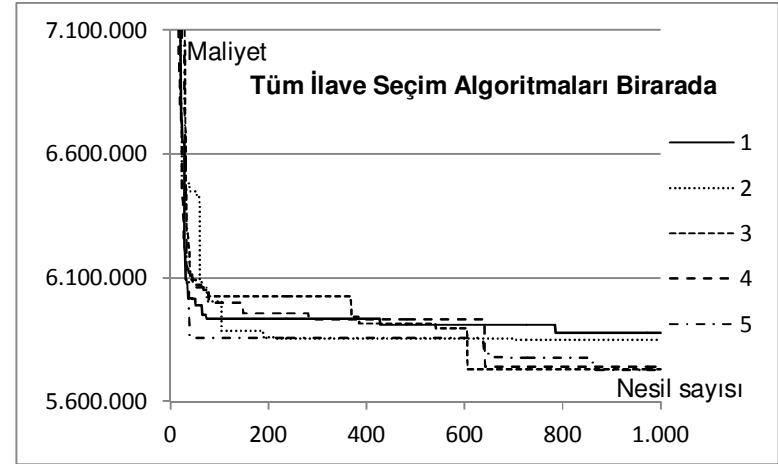
Şekil 9.85 En iyilerle (%10) seçim algoritması grafiği detay-2



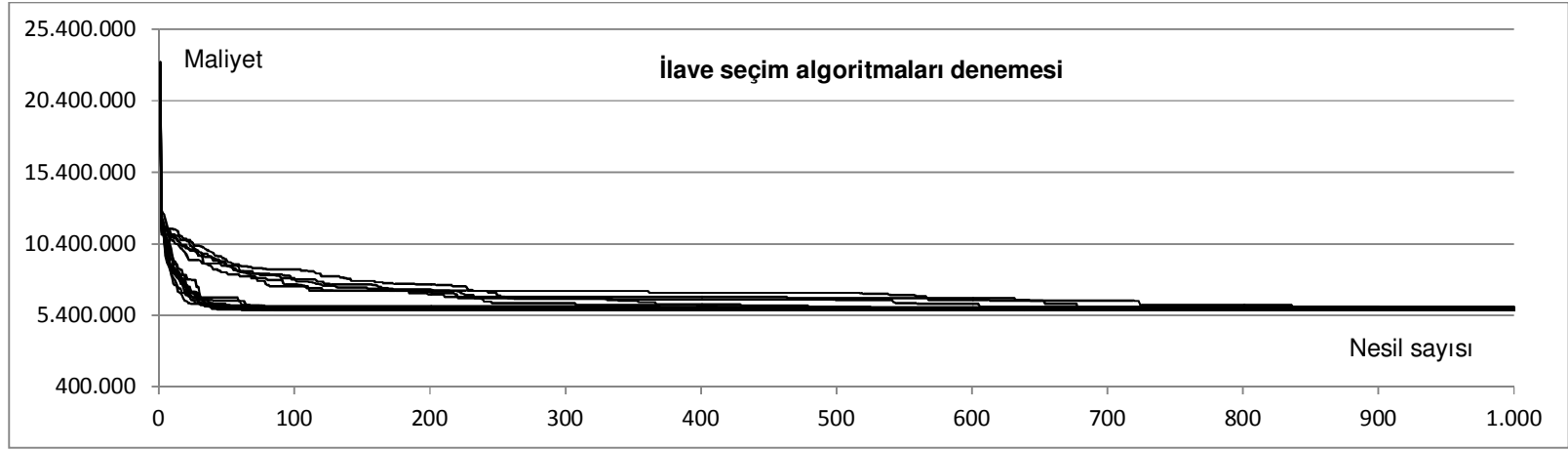
Şekil 9.86 En düşük değer ve en iyilerle seçim algoritmaları kullanılması grafiği



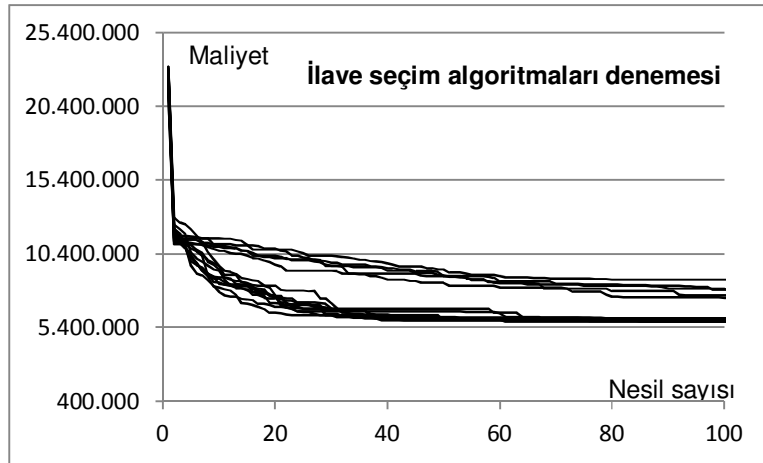
Şekil 9.87 En düşük değer ve en iyilerle seçim algoritmaları kullanılması grafiği detay-1



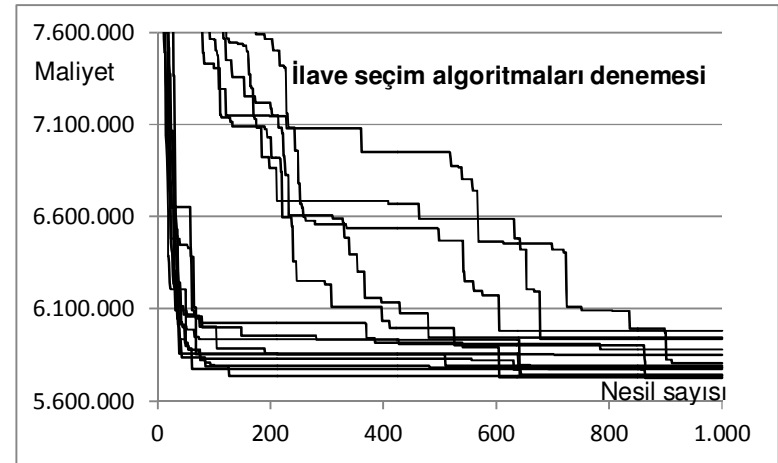
Şekil 9.88 En düşük değer ve en iyilerle seçim algoritmaları kullanılması grafiği detay-2



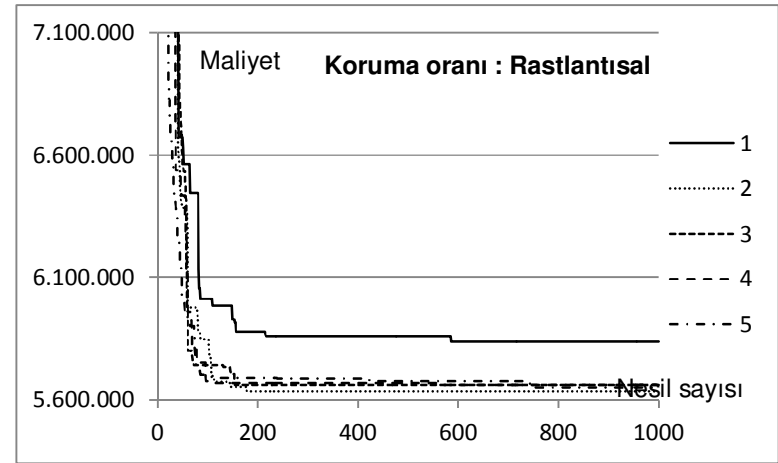
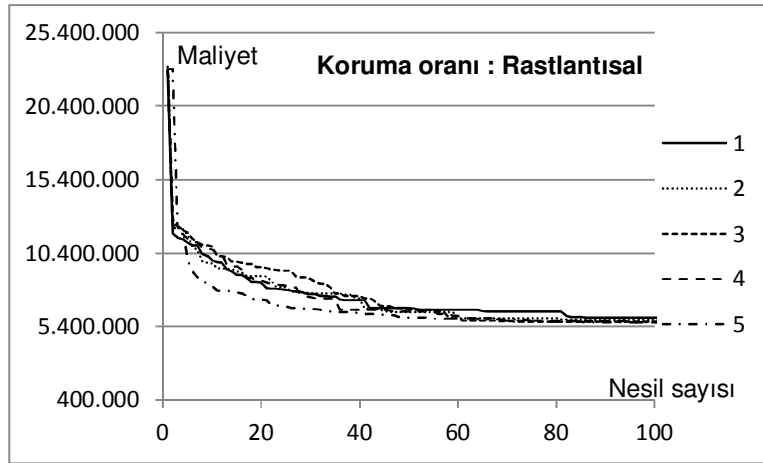
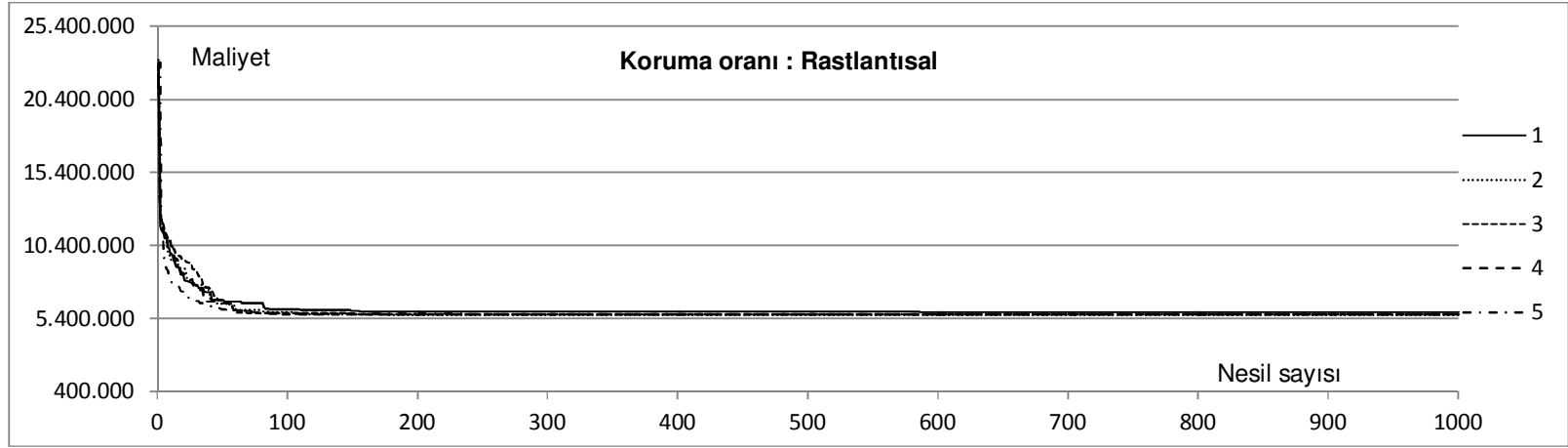
Şekil 9.89 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği

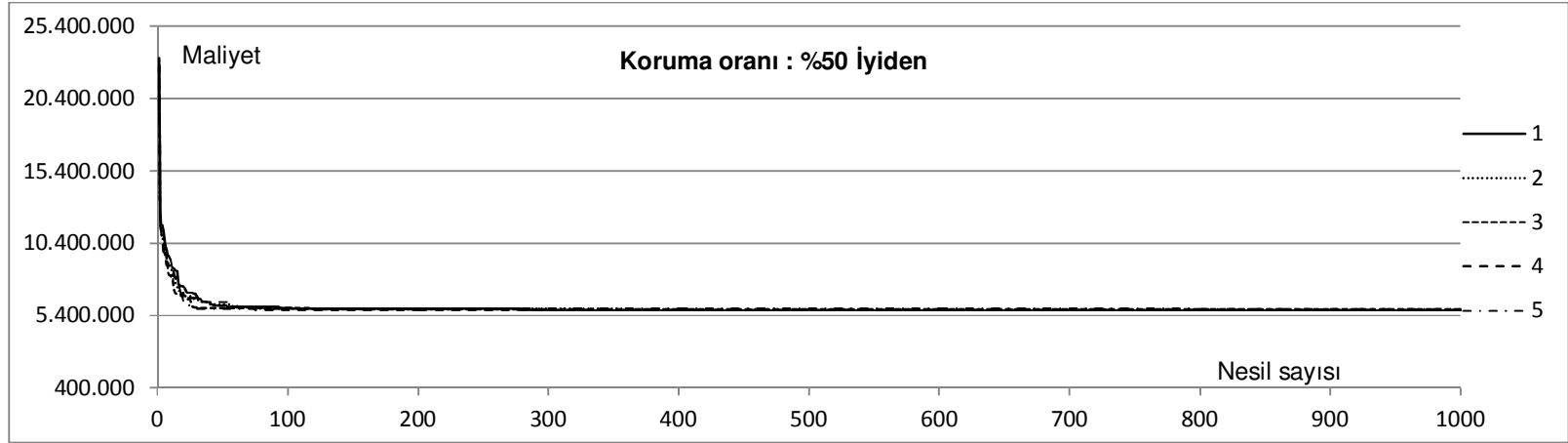


Şekil 9.90 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği detay-1

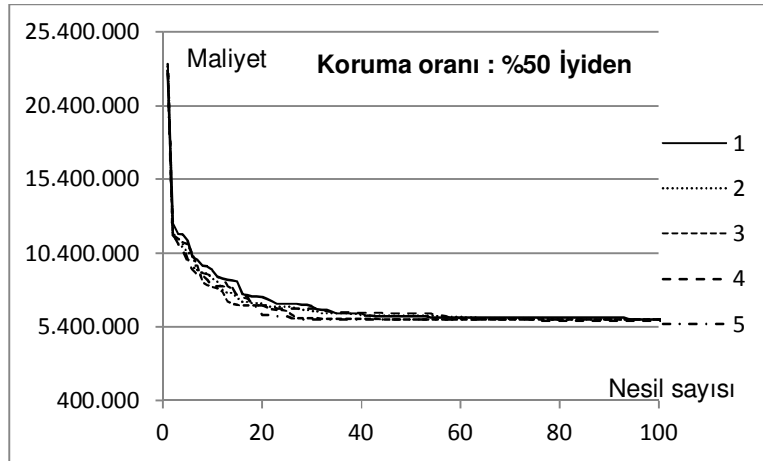


Şekil 9.91 Denenen tüm ilave seçim algoritmaları grafiği detay-2

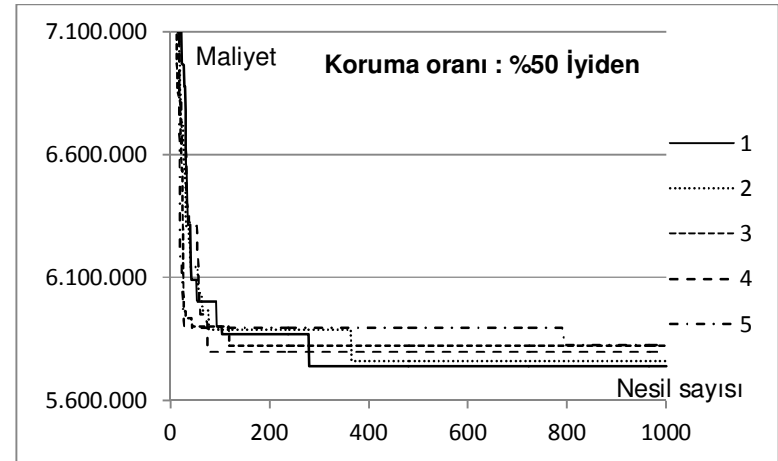




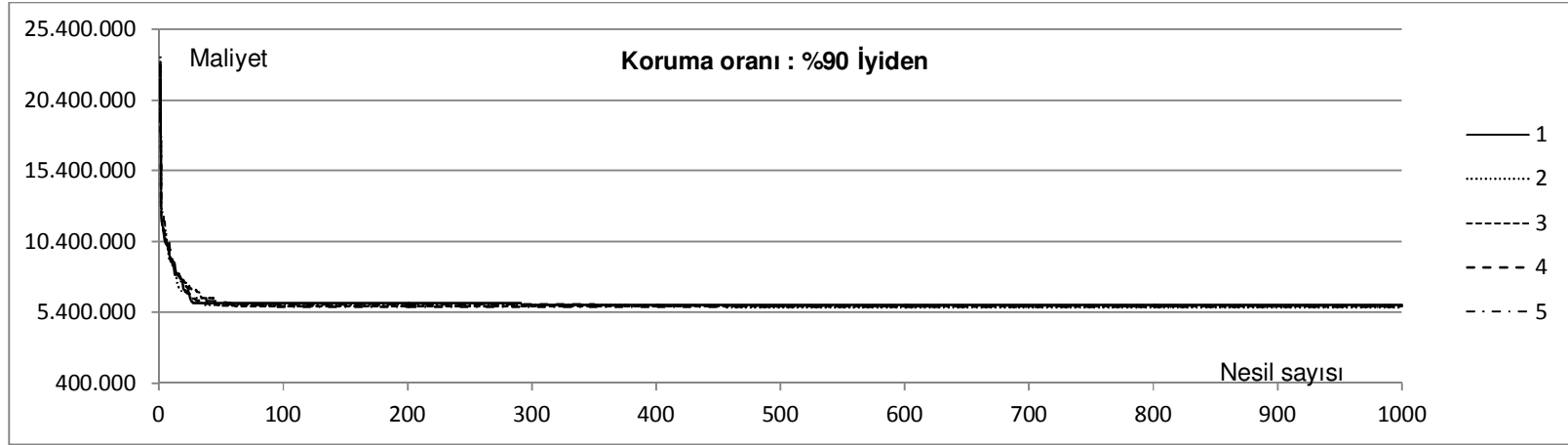
Şekil 9.95 %50 iyiden koruma yöntemi için grafik



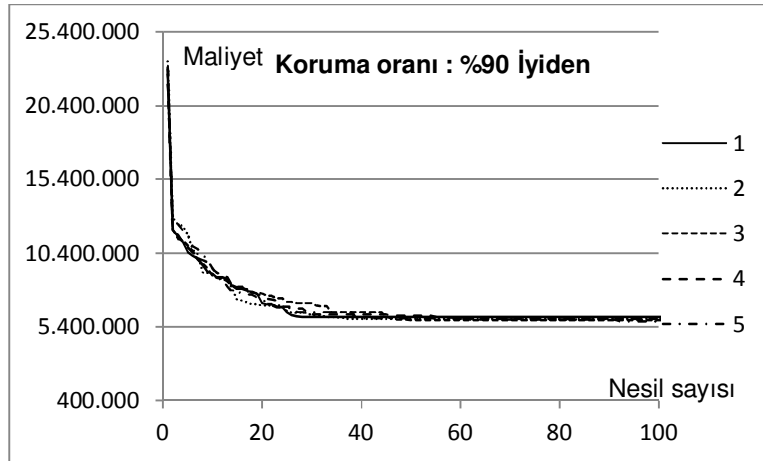
Şekil 9.96 %50 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-1



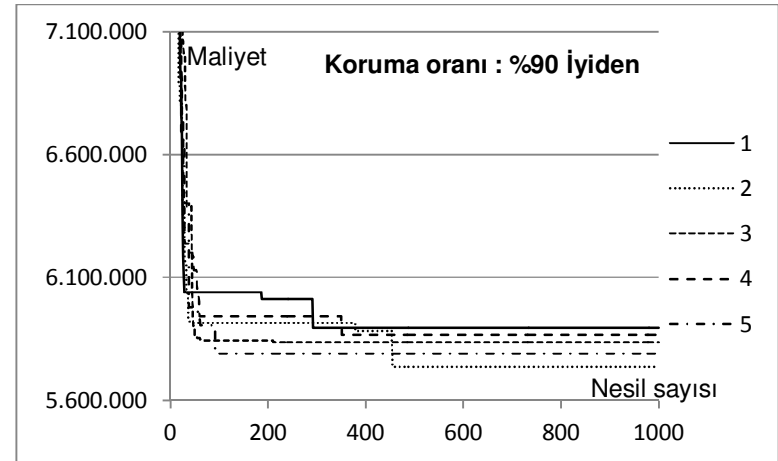
Şekil 9.97 %50 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-2



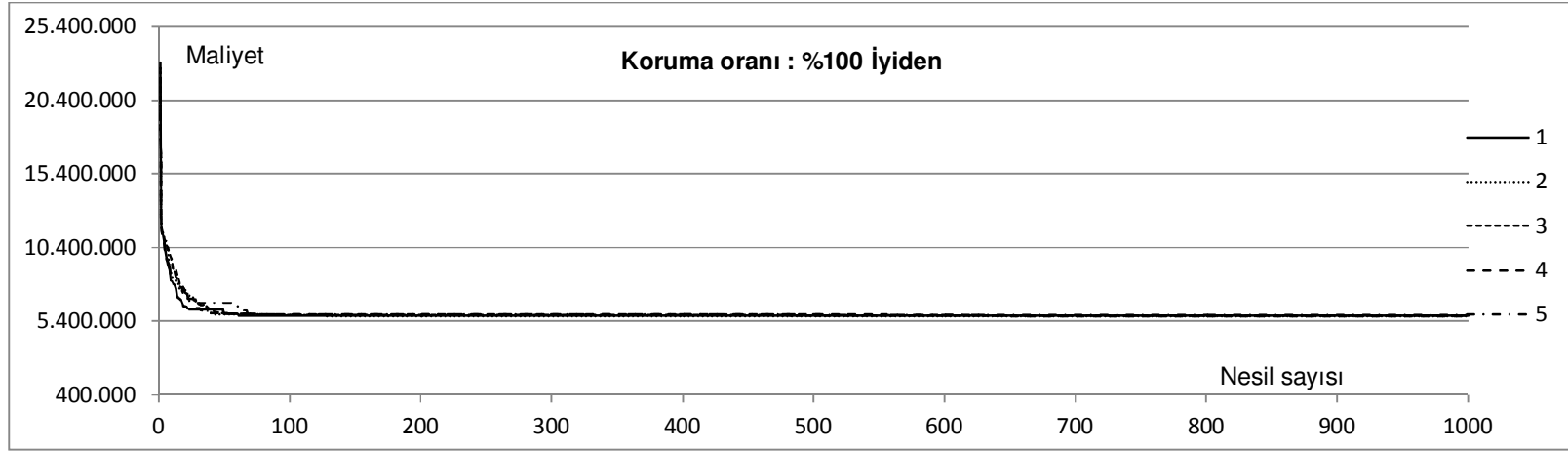
Şekil 9.98 %90 iyiden koruma yöntemi için grafik



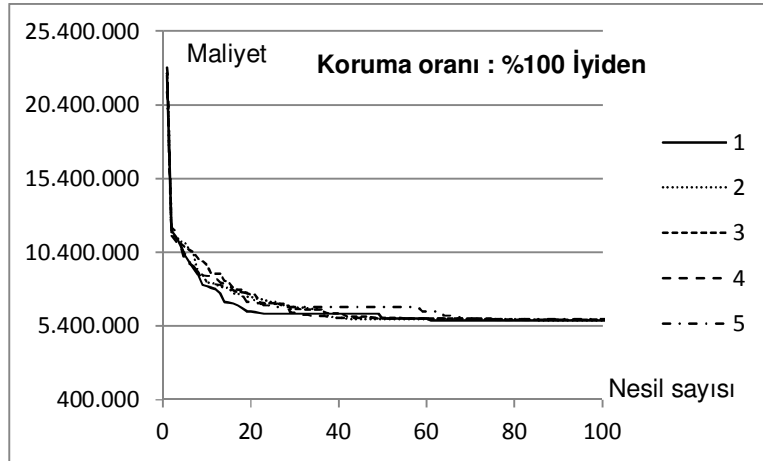
Şekil 9.99 %90 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-1



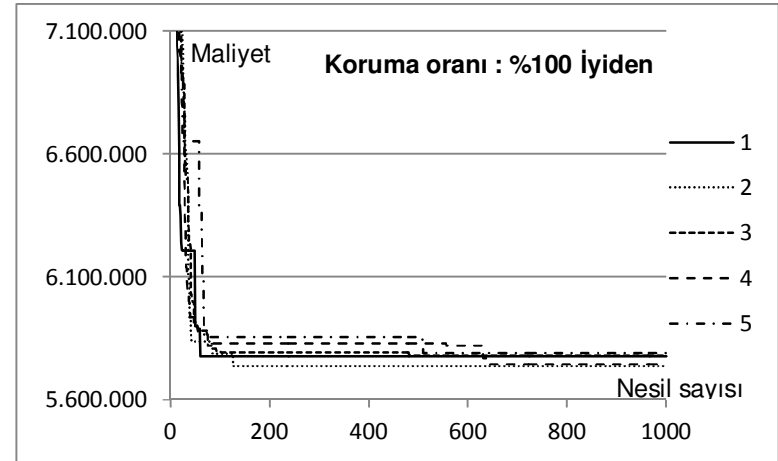
Şekil 9.100 %90 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-2



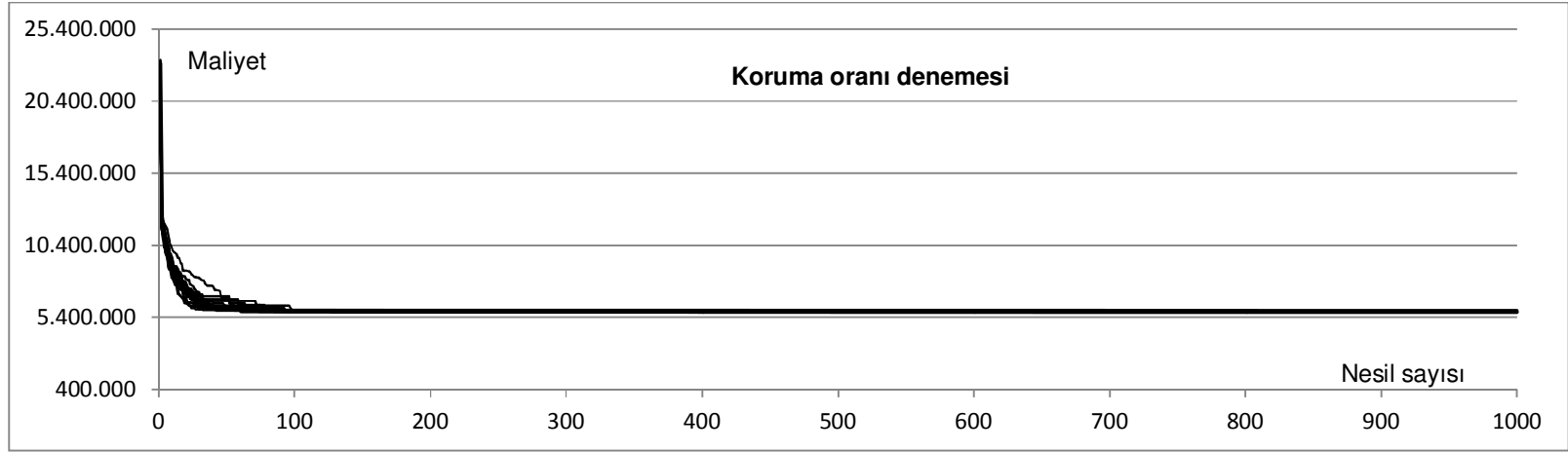
Şekil 9.101 %100 iyiden koruma yöntemi için grafik



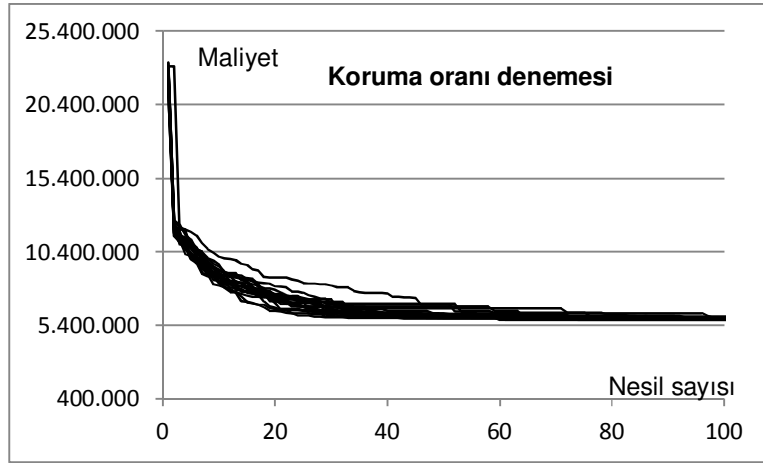
Şekil 9.102 %100 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-1



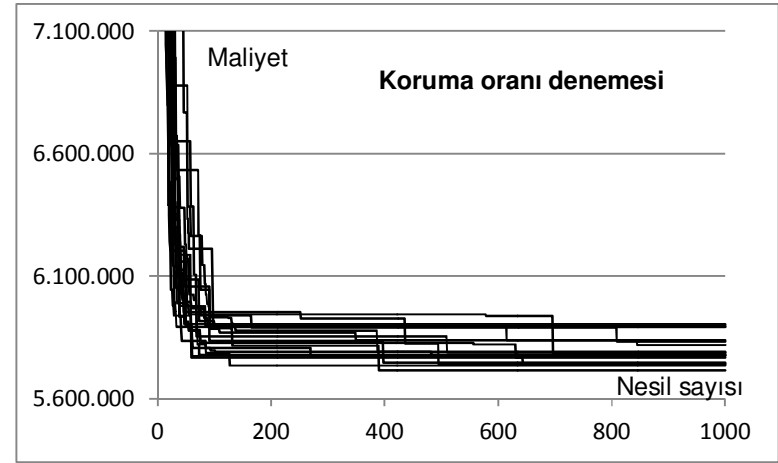
Şekil 9.103 %100 iyiden koruma yöntemi grafiği detay-2



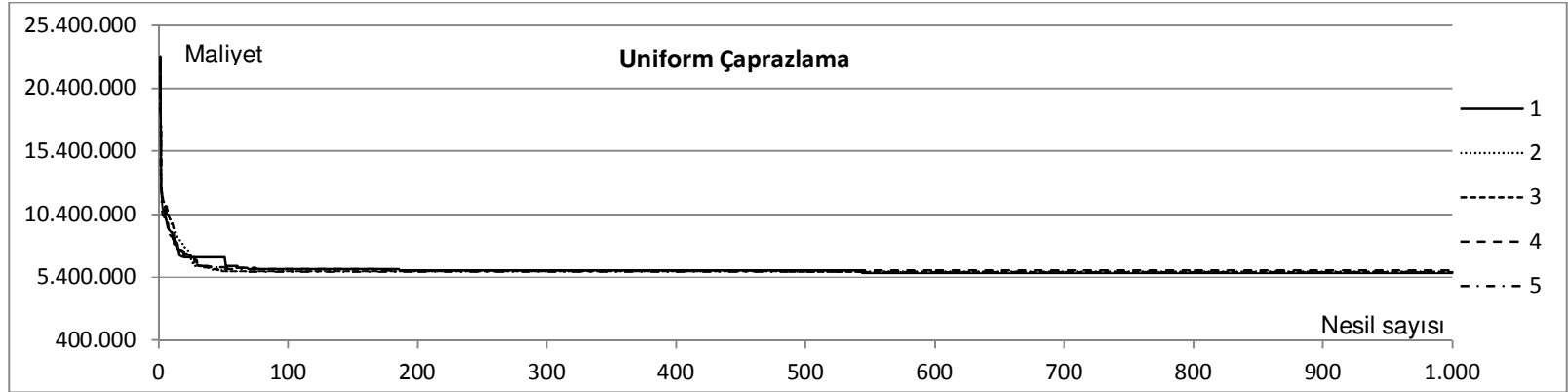
Şekil 9.104 Denenen tüm koruma yöntemleri için grafik



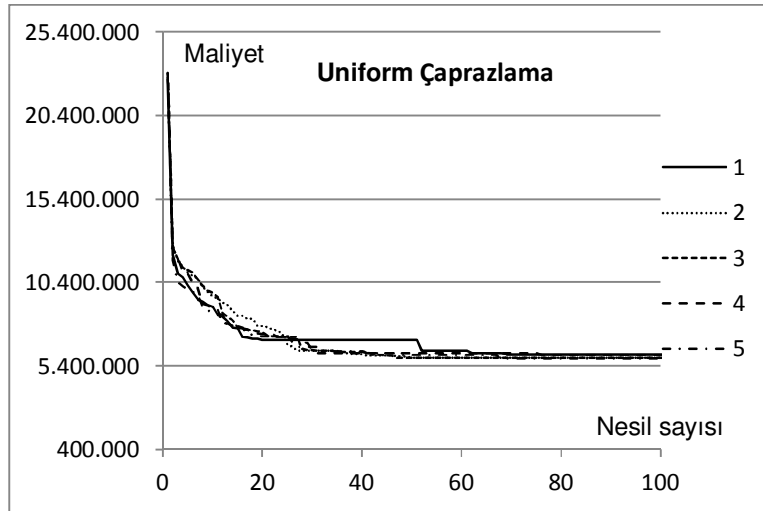
Şekil 9.105 Denenen tüm koruma yöntemleri grafiği detay-1



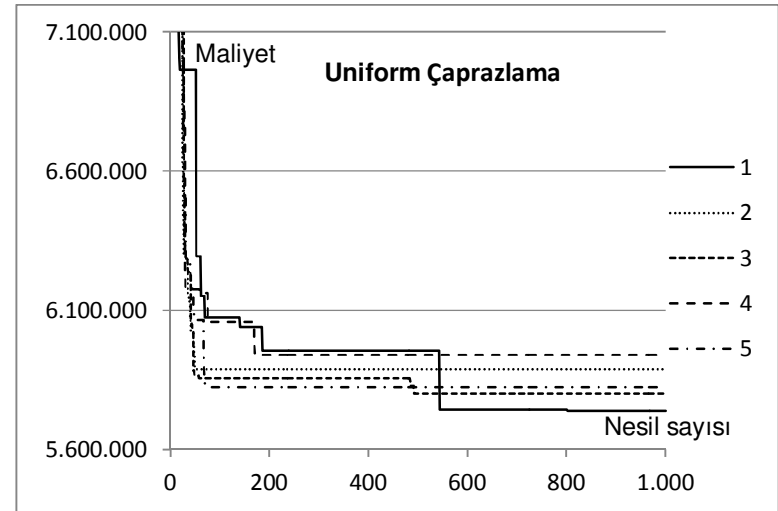
Şekil 9.106 Denenen tüm koruma yöntemleri grafiği detay-2



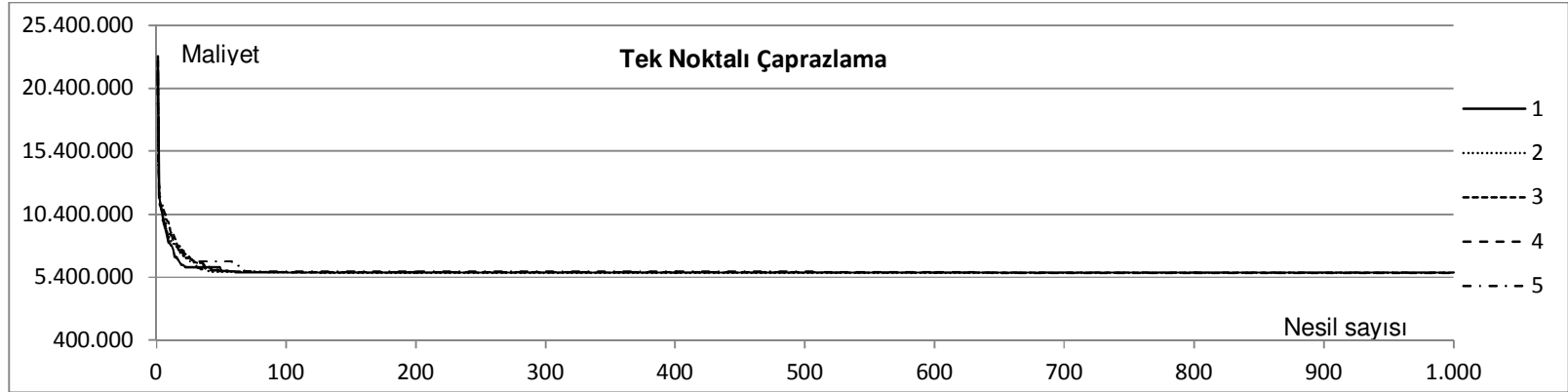
Şekil 9.107 Uniform çaprazlama yöntemi için grafik



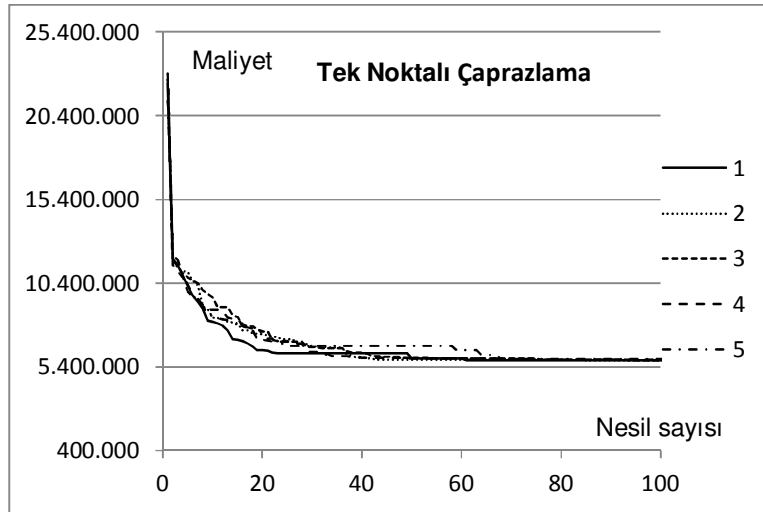
Şekil 9.108 Uniform çaprazlama yöntemi grafiği detay-1



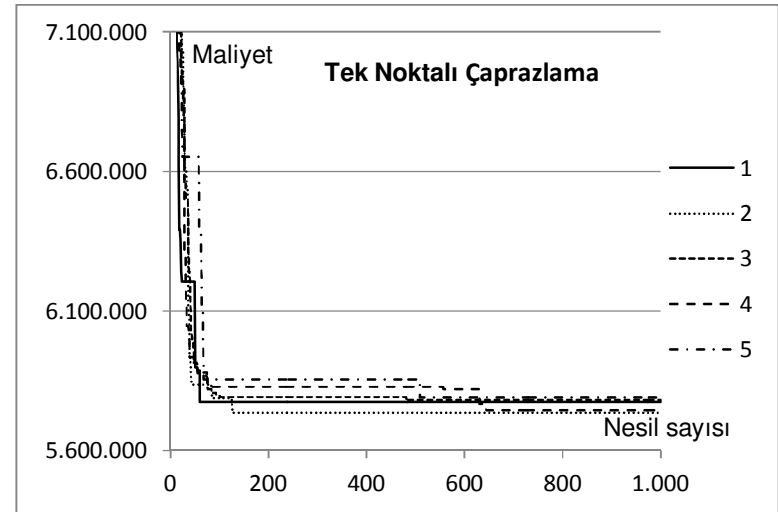
Şekil 9.109 Uniform çaprazlama yöntemi grafiği detay-2



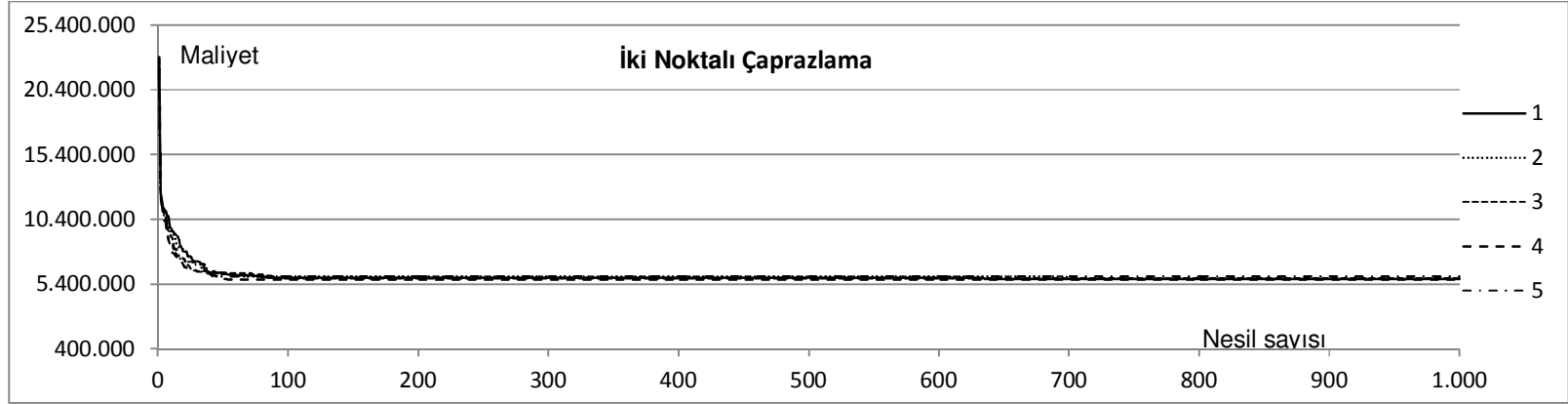
Şekil 9.110 Tek noktalı çaprazlama yöntemi için grafik



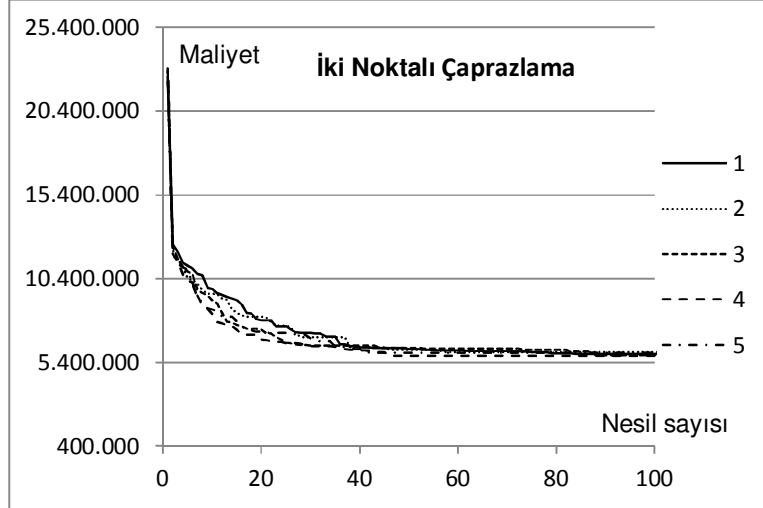
Şekil 9.111 Tek noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-1



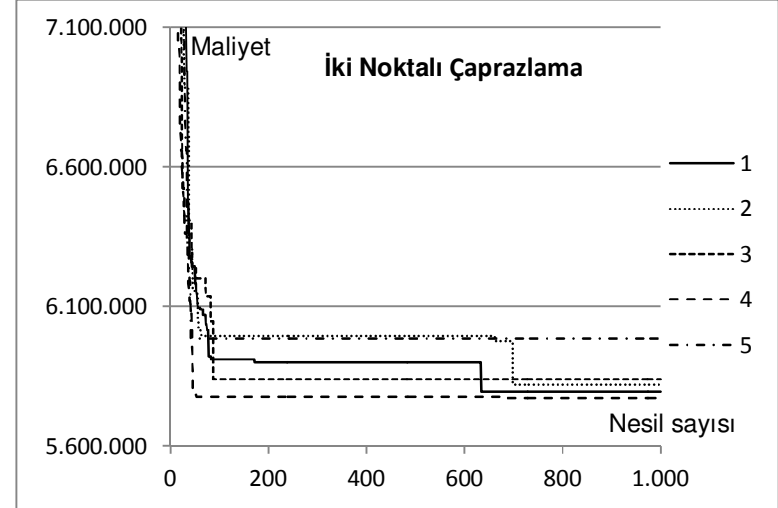
Şekil 9.112 Tek noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-2



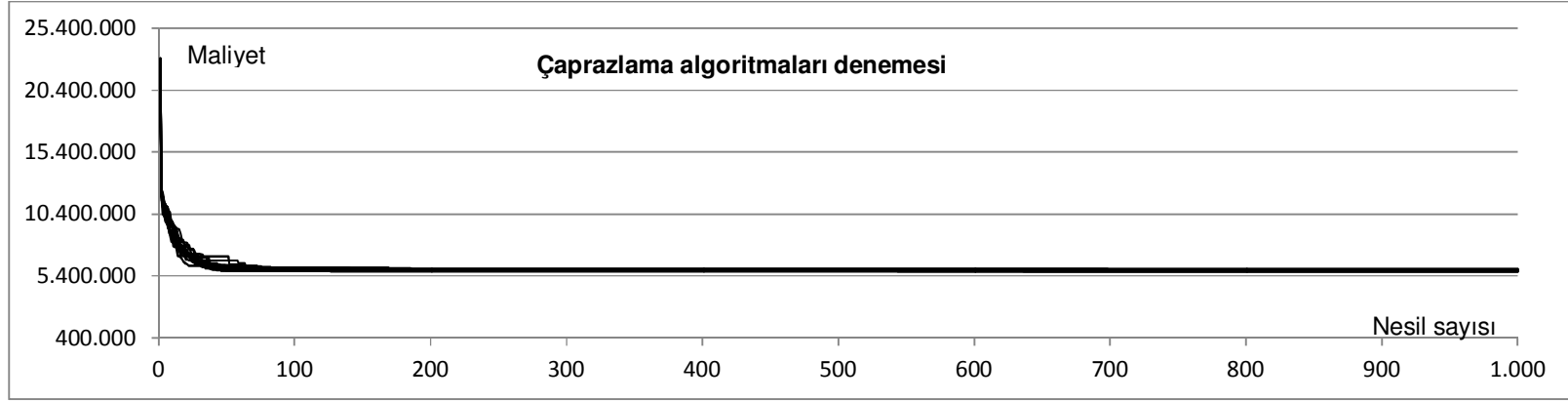
Şekil 9.113 İki noktalı çaprazlama yöntemi için grafik



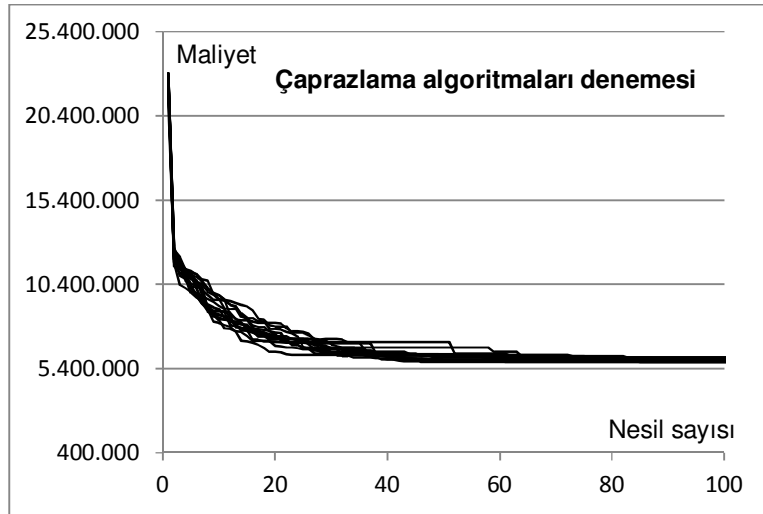
Şekil 9.114 İki noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-1



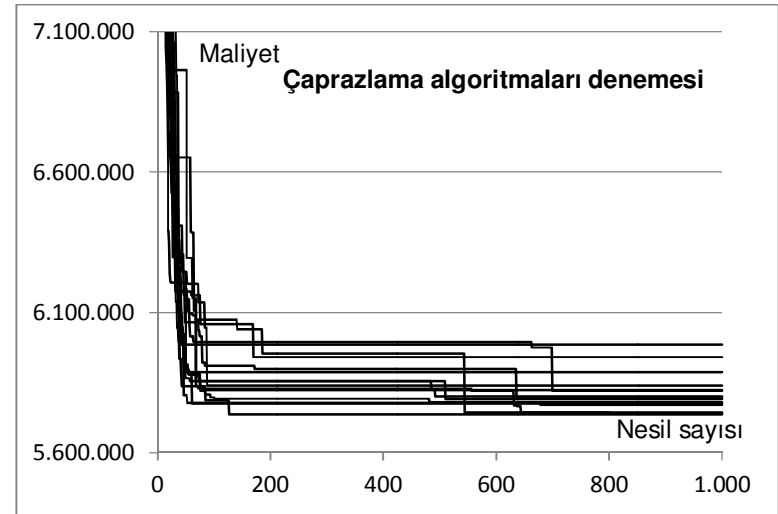
Şekil 9.115 İki noktalı çaprazlama yöntemi grafiği detay-2



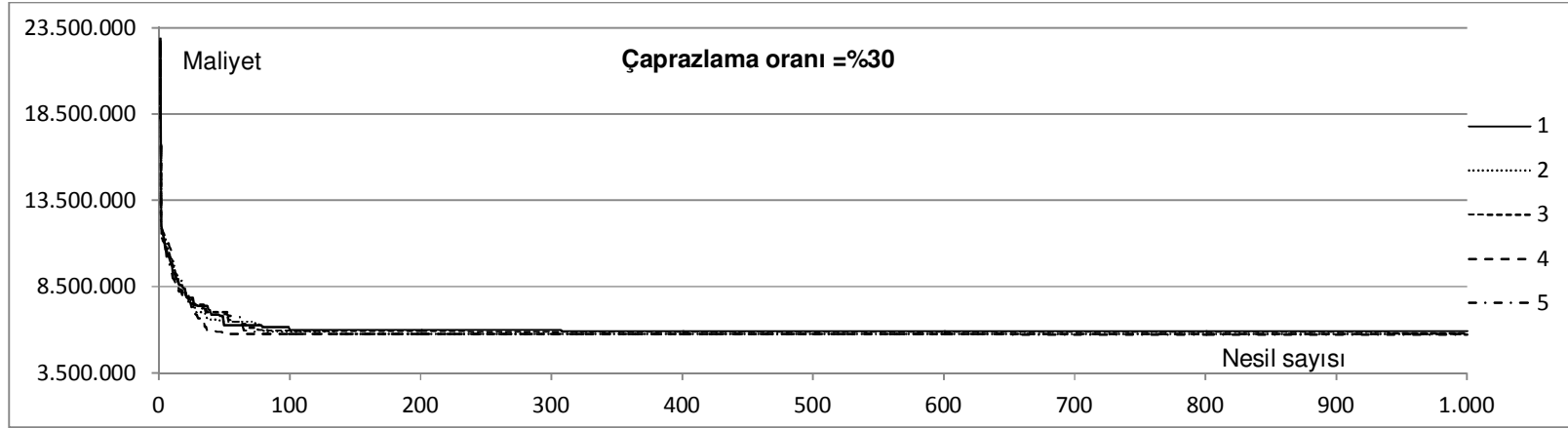
Şekil 9.116 Denenen tüm çaprazlama algoritmaları için grafik



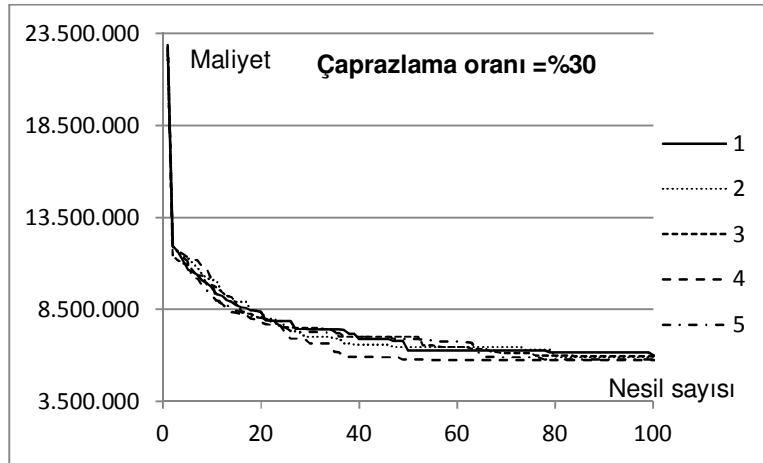
Şekil 9.117 Denenen tüm çaprazlama algoritmaları grafiği detay-1



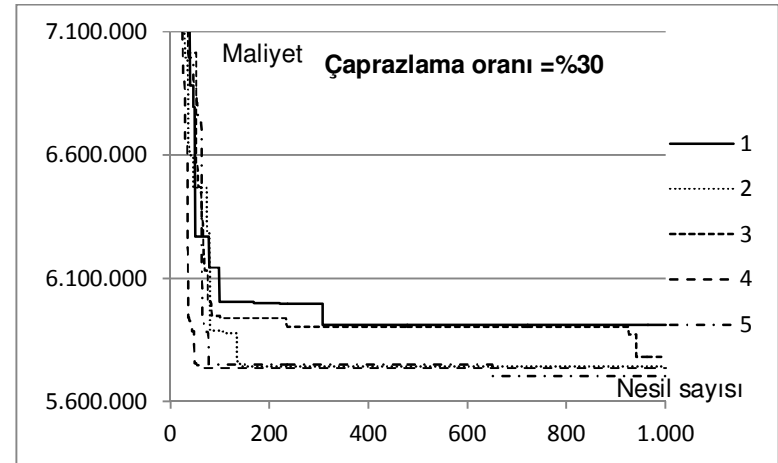
Şekil 9.118 Denenen tüm çaprazlama algoritmaları grafiği detay-2



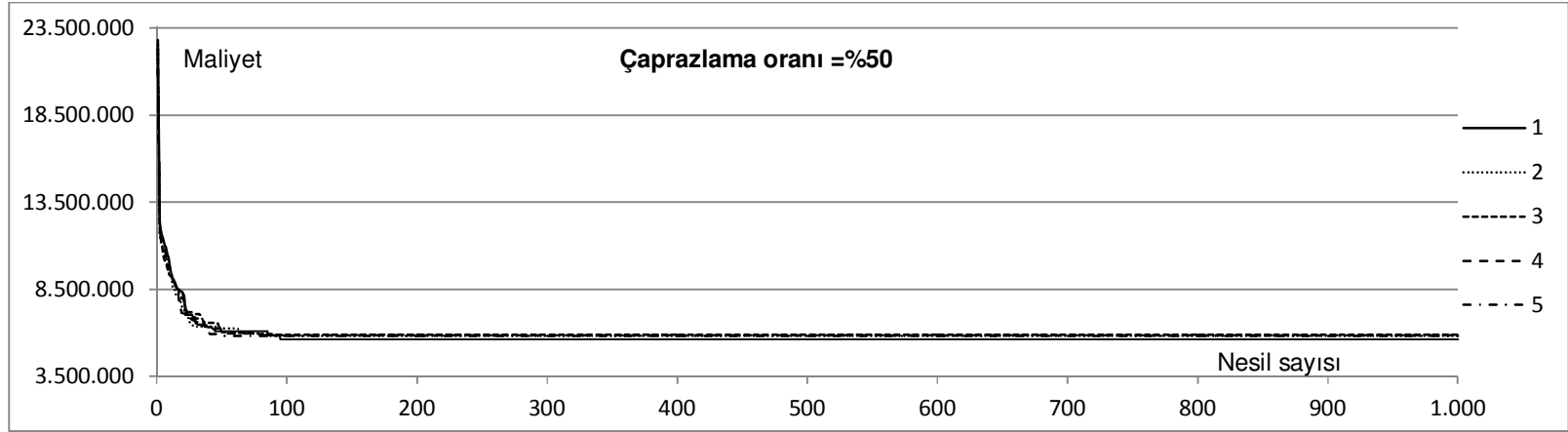
Şekil 9.119 Çaprazlama oranı %30 için grafik



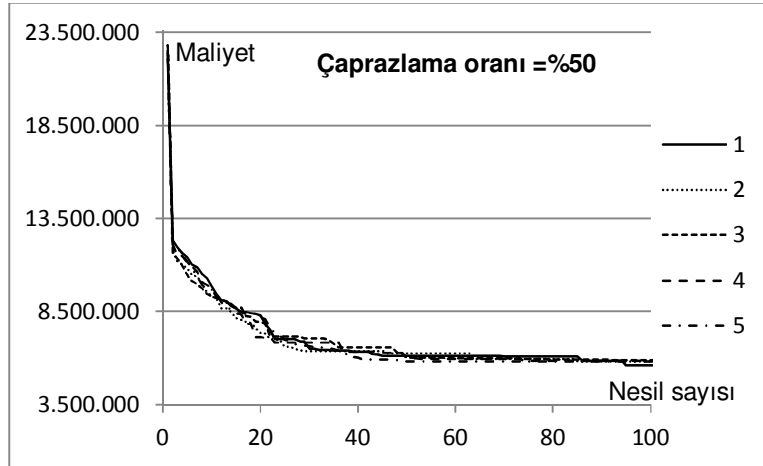
Şekil 9.120 Çaprazlama oranı %30 grafiği detay-1



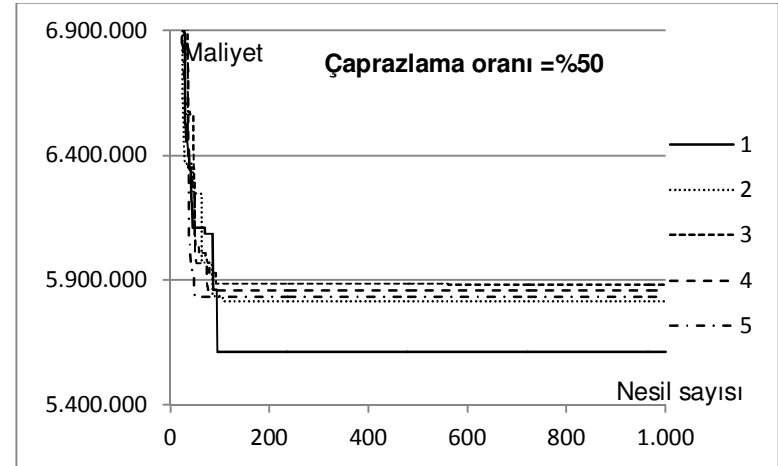
Şekil 9.121 Çaprazlama oranı %30 grafiği detay-2



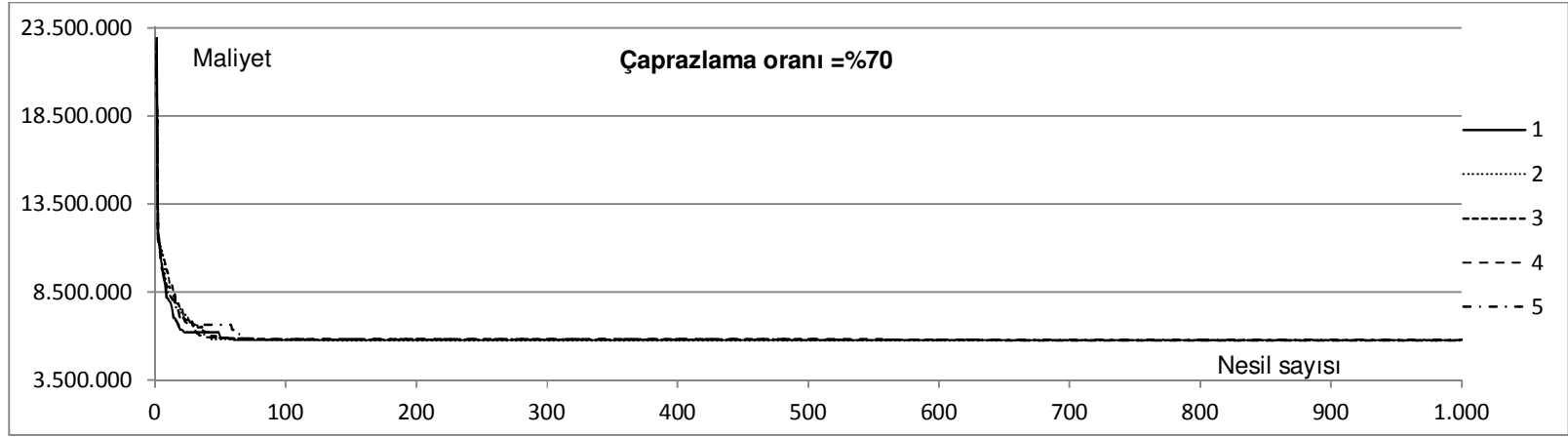
Şekil 9.122 Çaprazlama oranı %50 için grafik



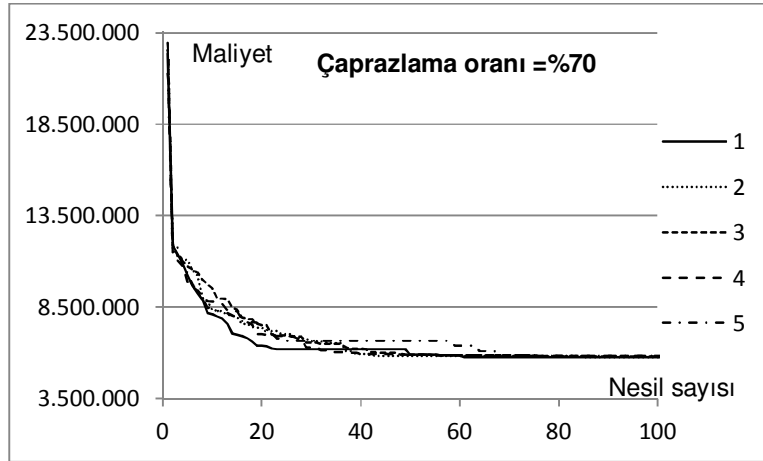
Şekil 9.123 Çaprazlama oranı %50 grafiği detay-1



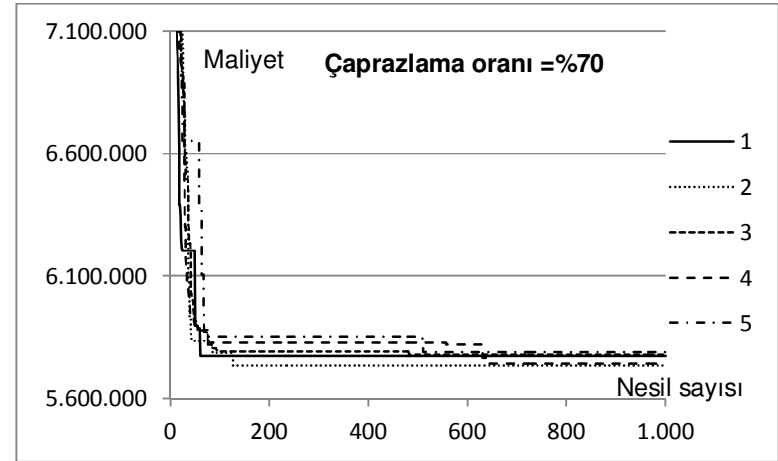
Şekil 9.124 Çaprazlama oranı %50 grafiği detay-2



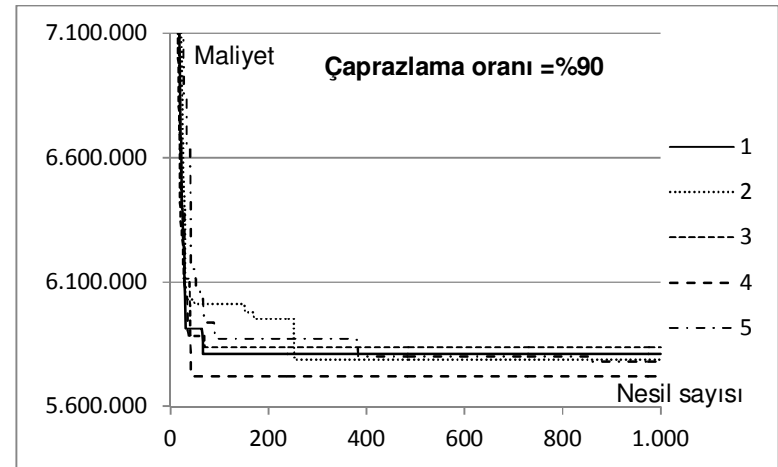
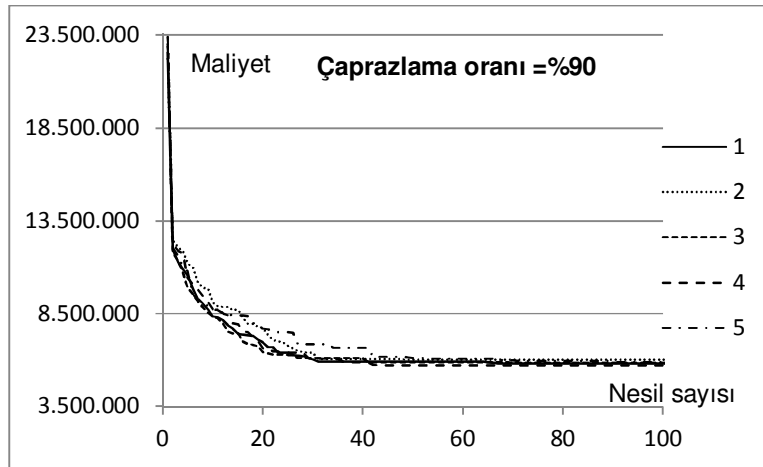
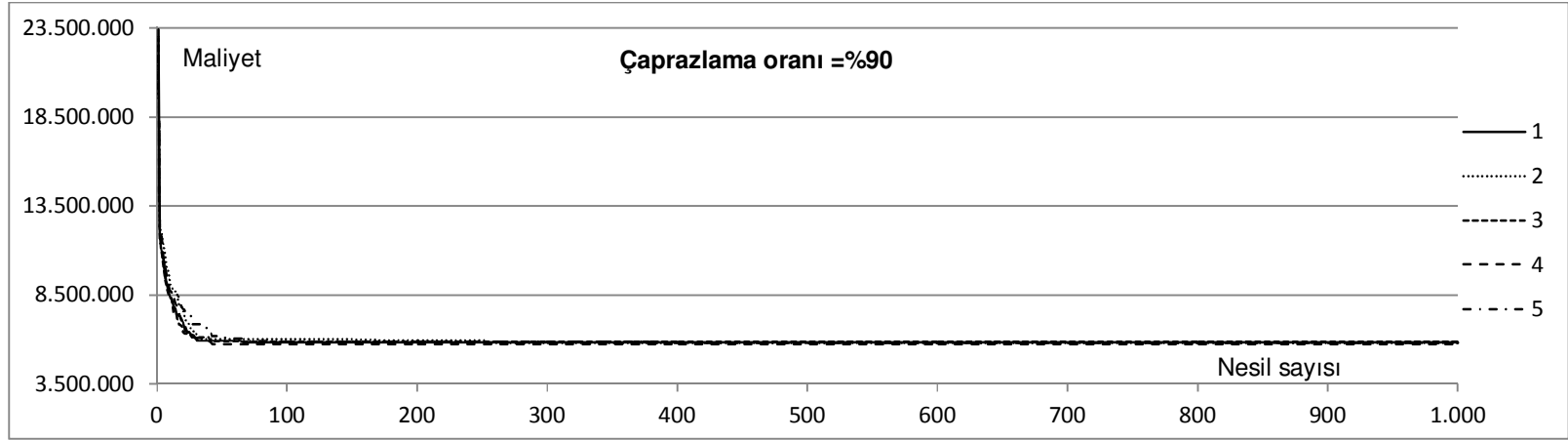
Şekil 9.125 Çaprazlama oranı %70 için grafik

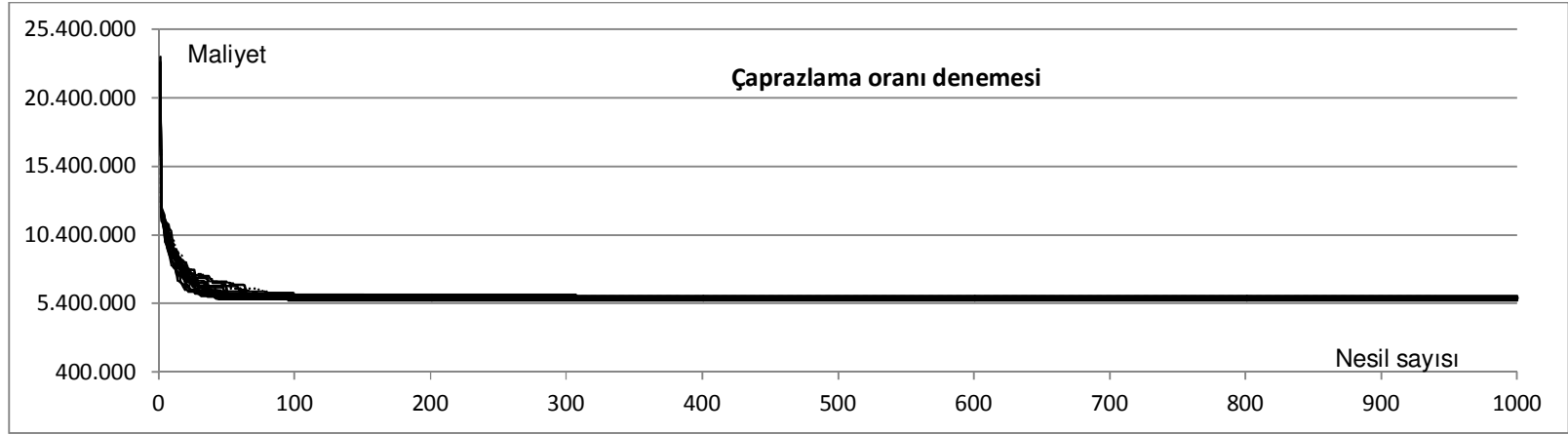


Şekil 9.126 Çaprazlama oranı %70 grafiği detay-1

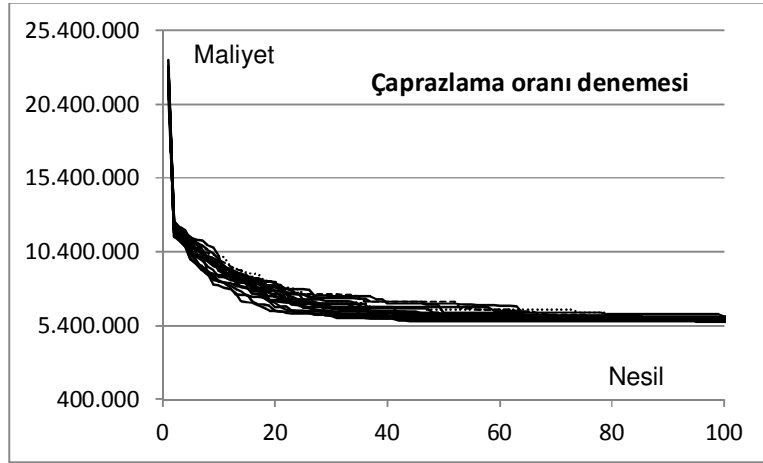


Şekil 9.127 Çaprazlama oranı %70 grafiği detay-2

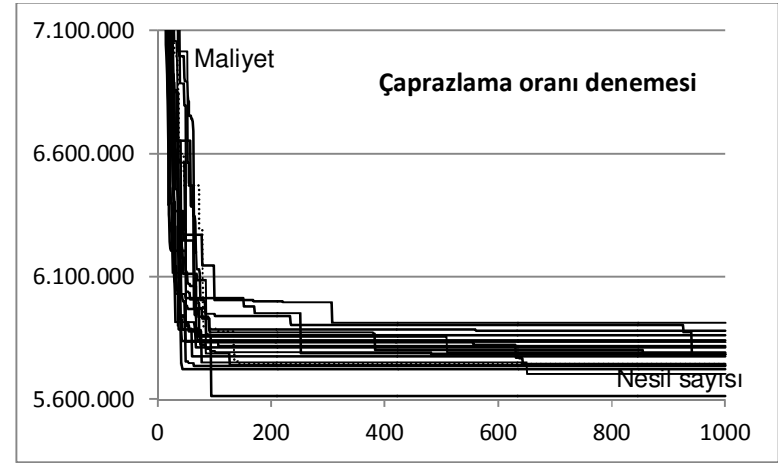




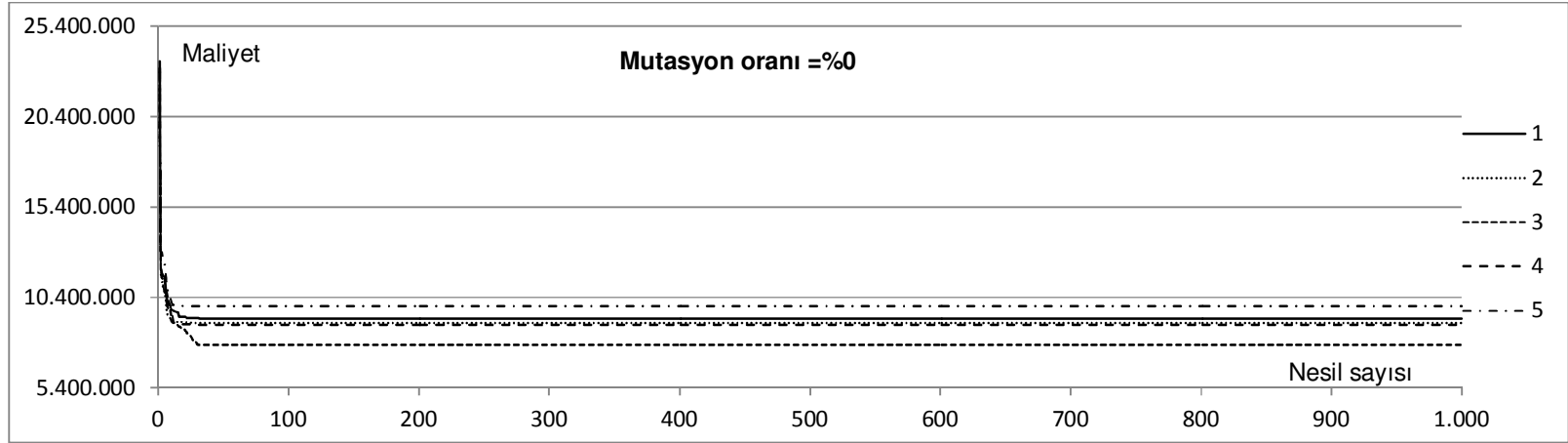
Şekil 9.131 Denenen tüm çaprazlama oranları için grafik



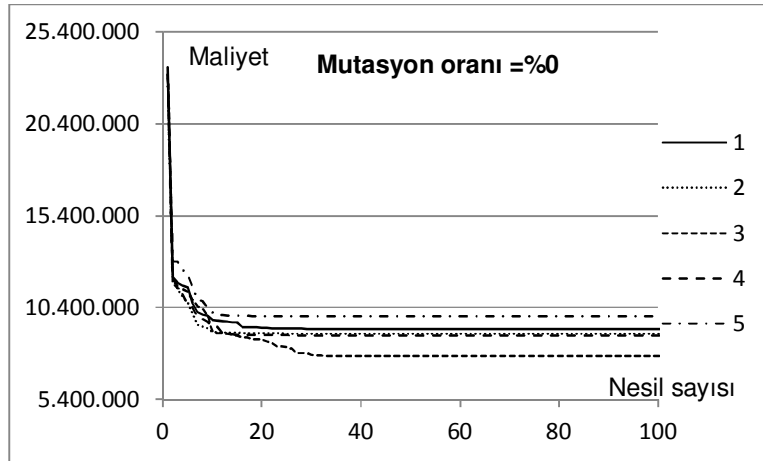
Şekil 9.132 Denenen tüm çaprazlama oranları grafiği detay-1



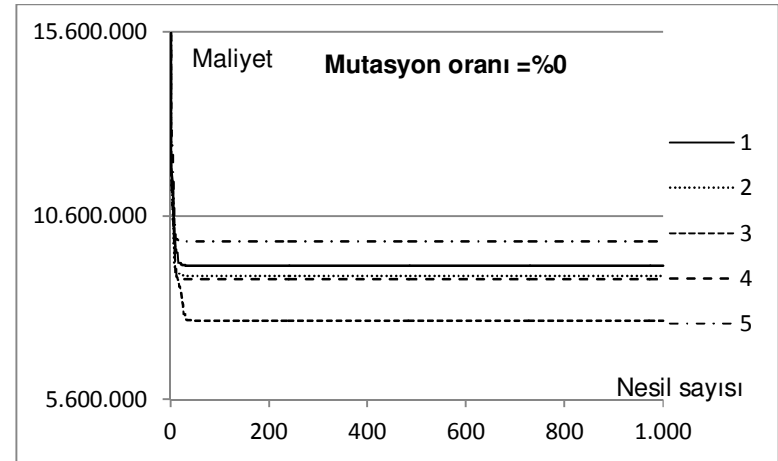
Şekil 9.133 Denenen tüm çaprazlama oranları grafiği detay-2



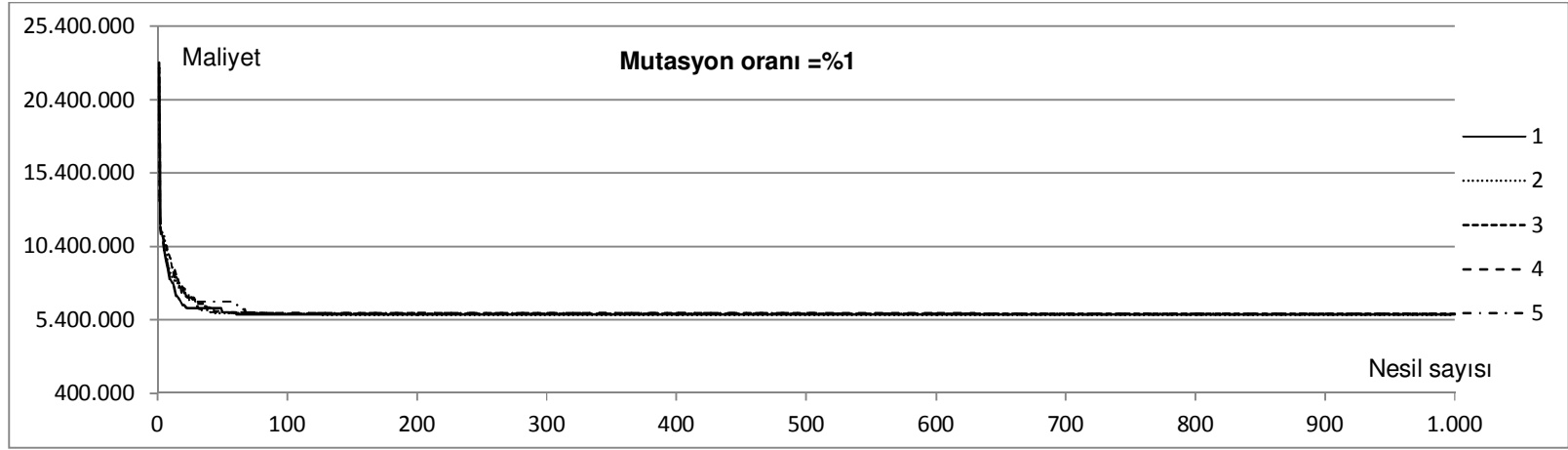
Şekil 9.134 Mutasyon oranı %0 için grafik



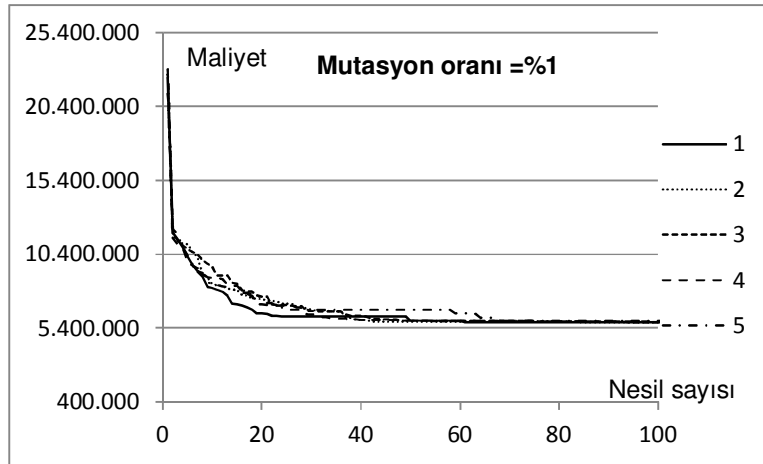
Şekil 9.135 Mutasyon oranı %0 grafiği detay-1



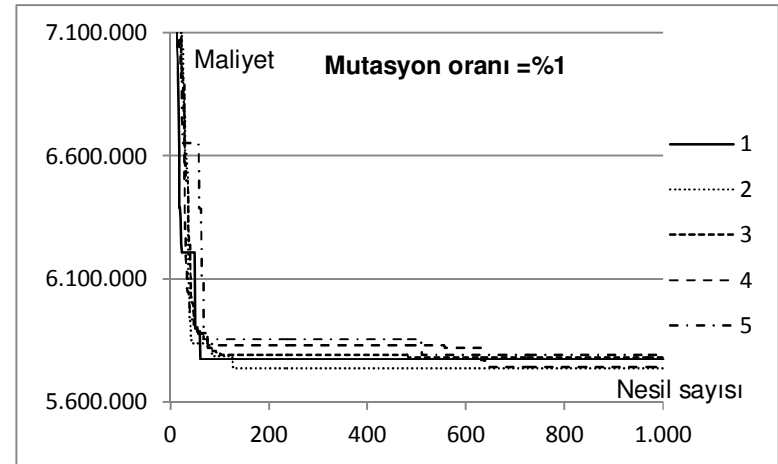
Şekil 9.136 Mutasyon oranı %0 grafiği detay-2



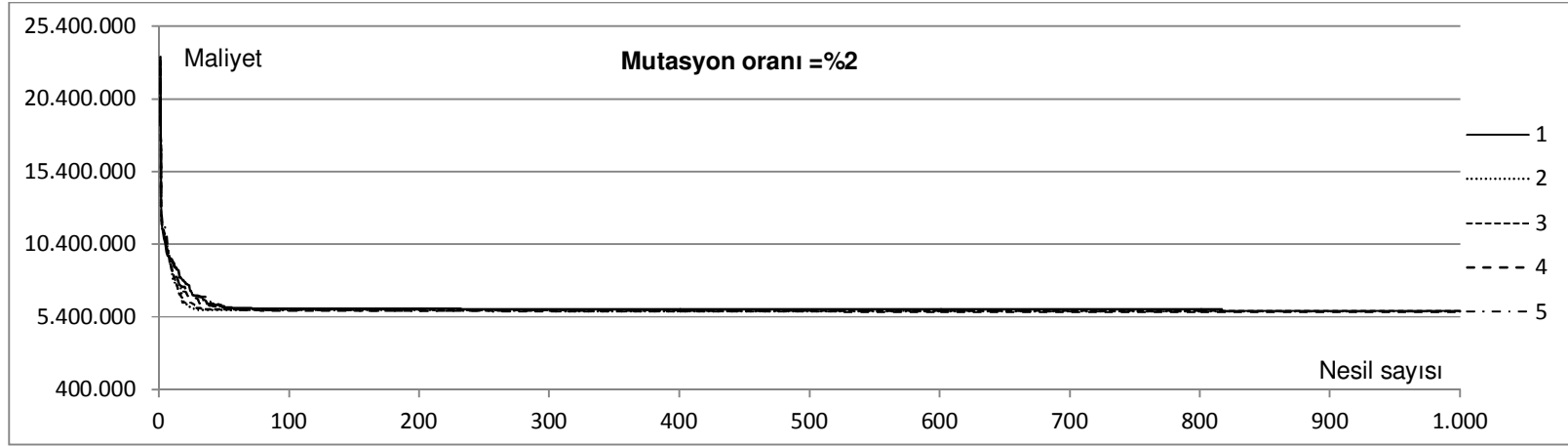
Şekil 9.137 Mutasyon oranı %1 için grafik



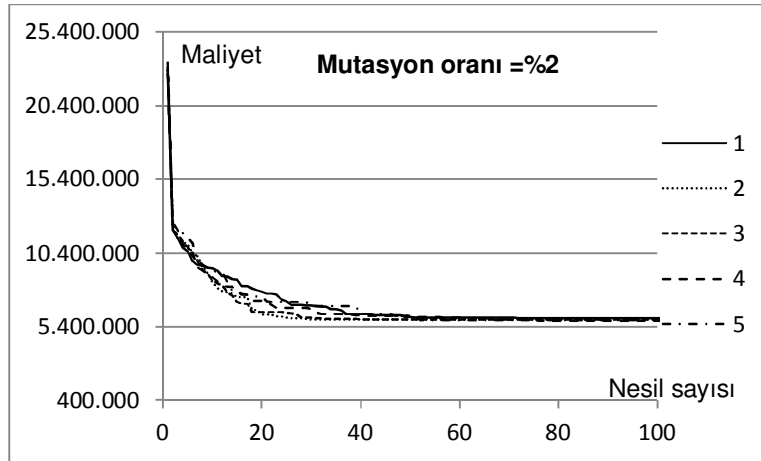
Şekil 9.138 Mutasyon oranı %1 grafiği detay-1



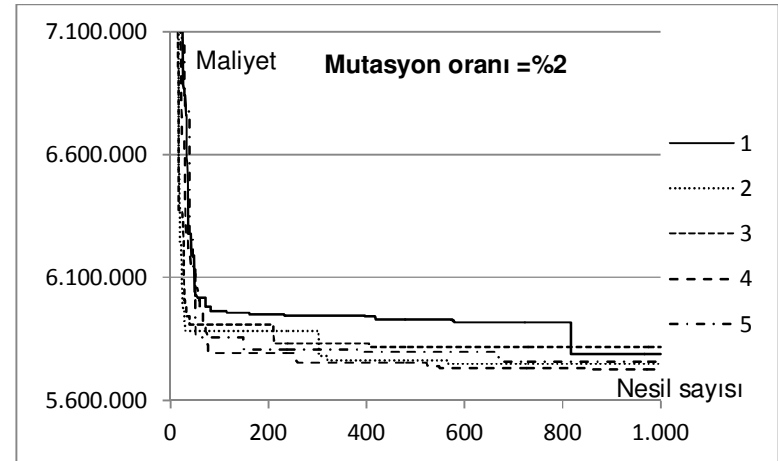
Şekil 9.139 Mutasyon oranı %1 grafiği detay-2



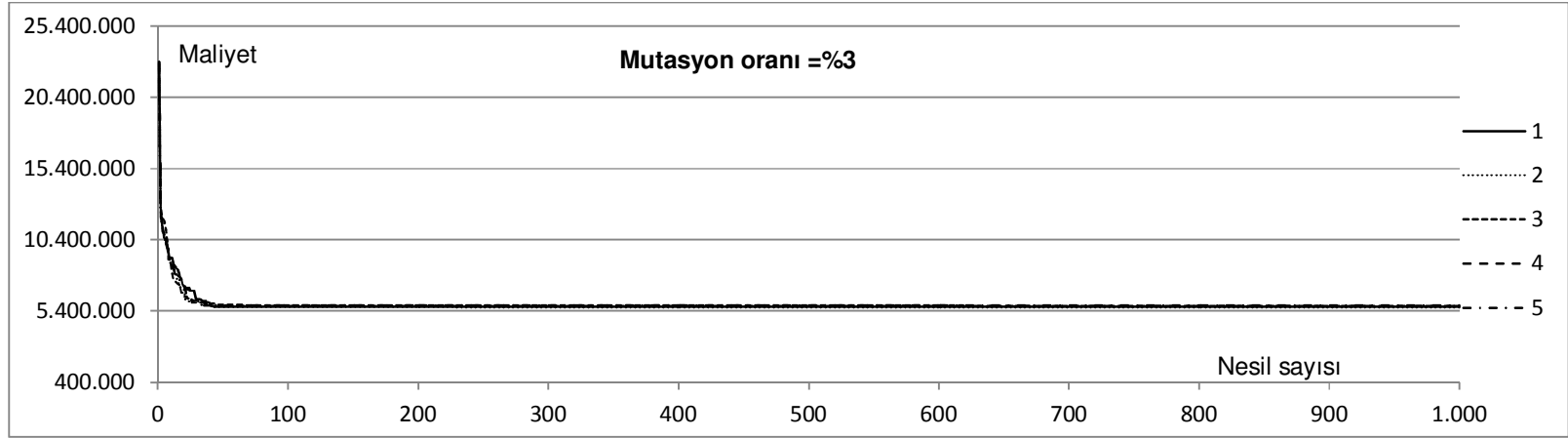
Şekil 9.140 Mutasyon oranı %2 için grafik



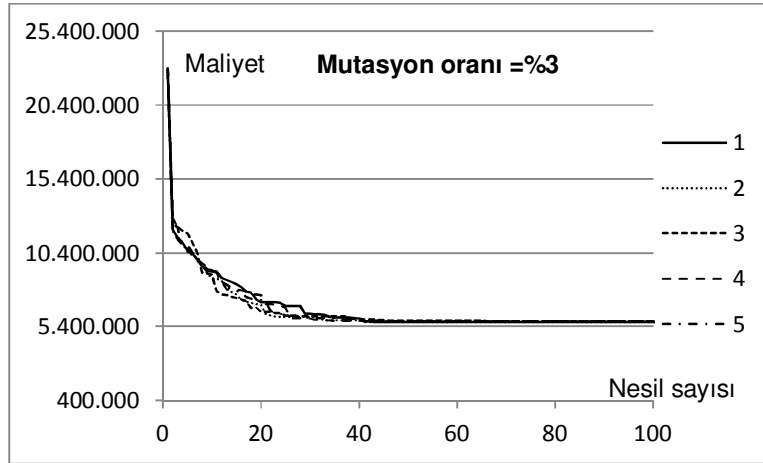
Şekil 9.141 Mutasyon oranı %2 grafiği detay-1



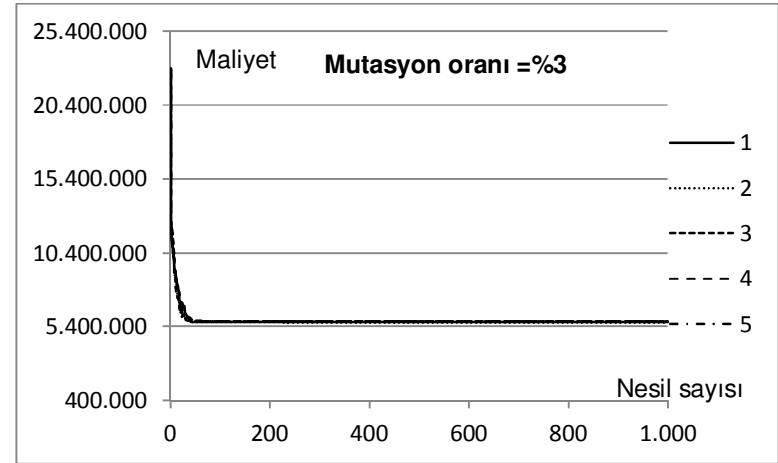
Şekil 9.142 Mutasyon oranı %2 grafiği detay-2



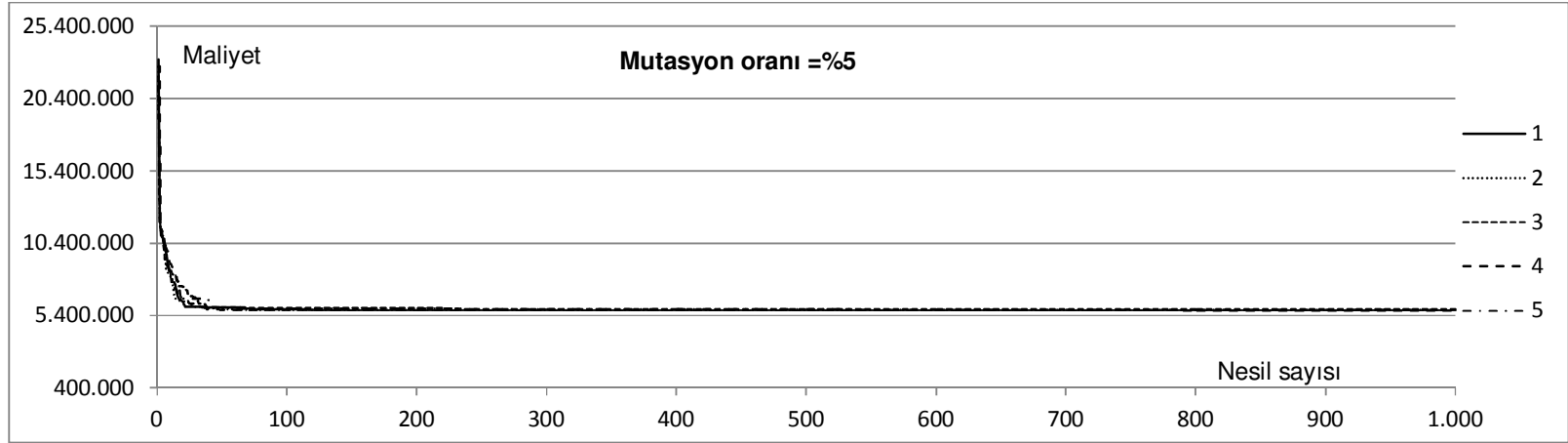
Şekil 9.143 Mutasyon oranı %3 için grafik



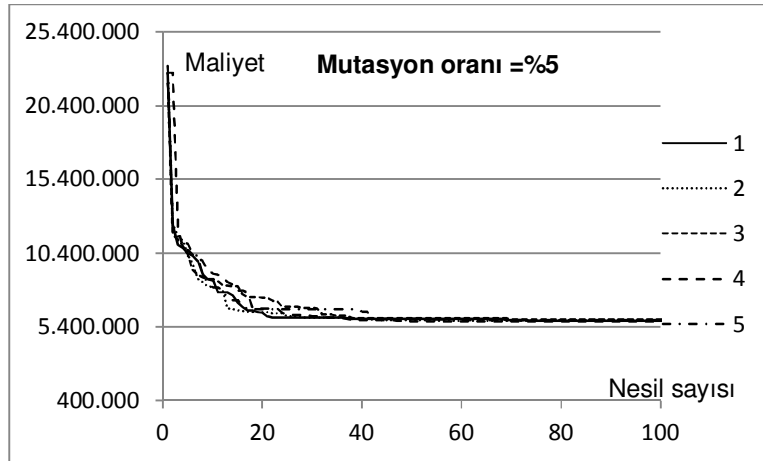
Şekil 9.144 Mutasyon oranı %3 grafiği detay-1



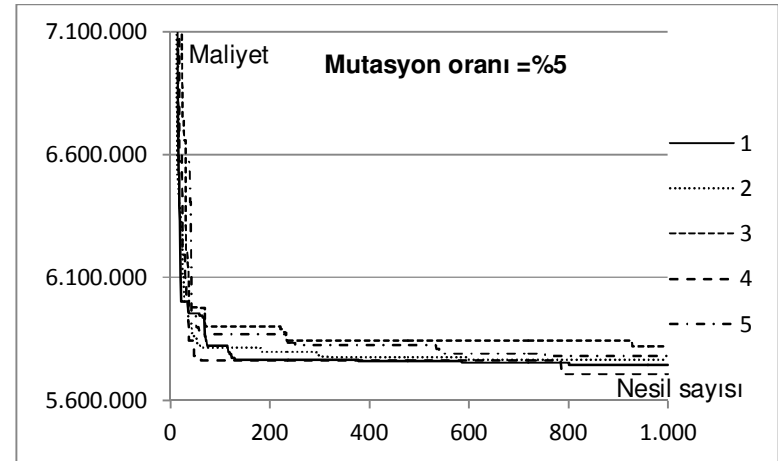
Şekil 9.145 Mutasyon oranı %3 grafiği detay-2



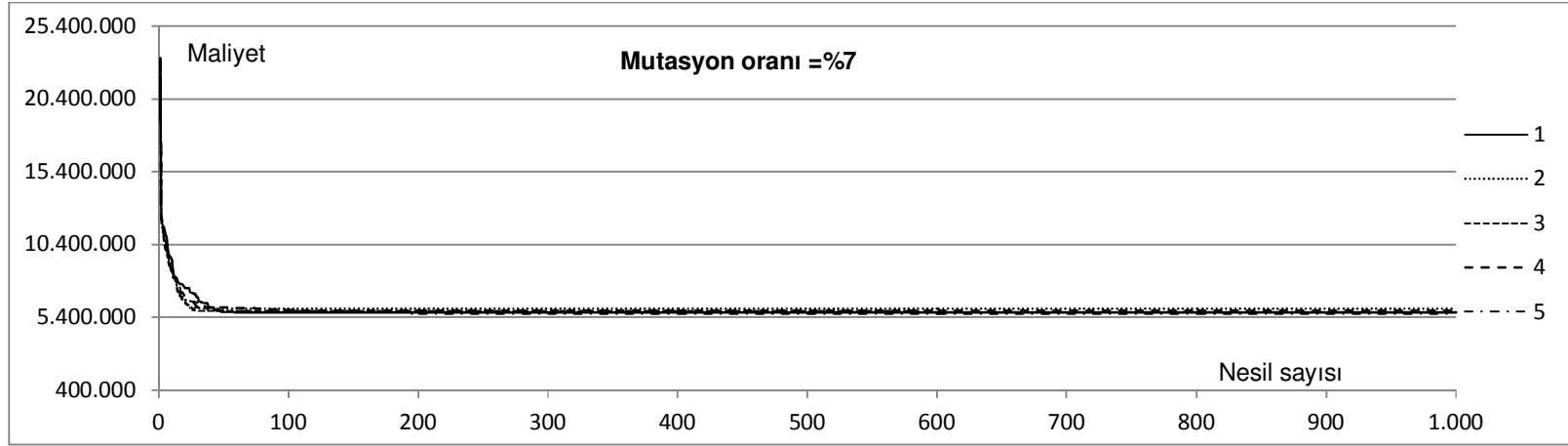
Şekil 9.146 Mutasyon oranı %5 için grafik



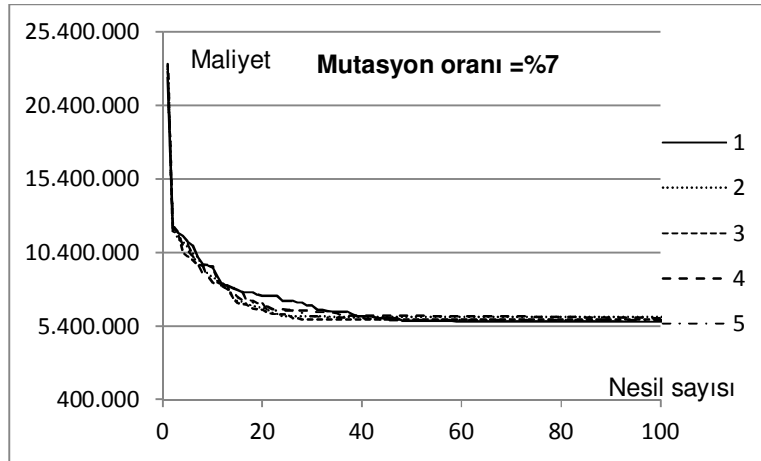
Şekil 9.147 Mutasyon oranı %5 grafiği detay-1



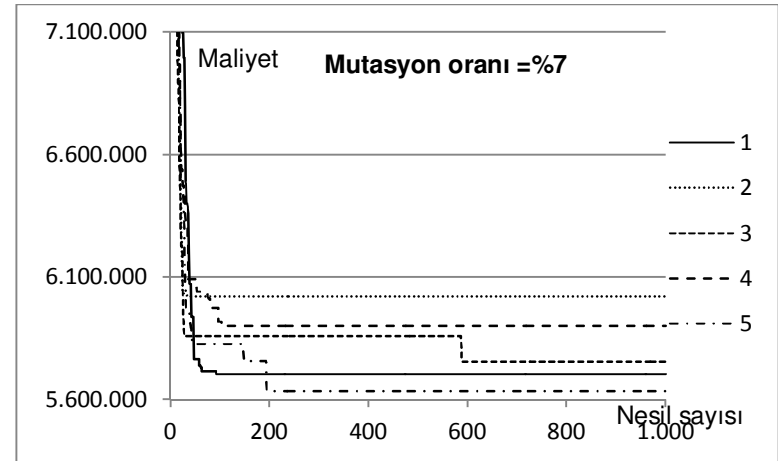
Şekil 9.148 Mutasyon oranı %5 grafiği detay-2



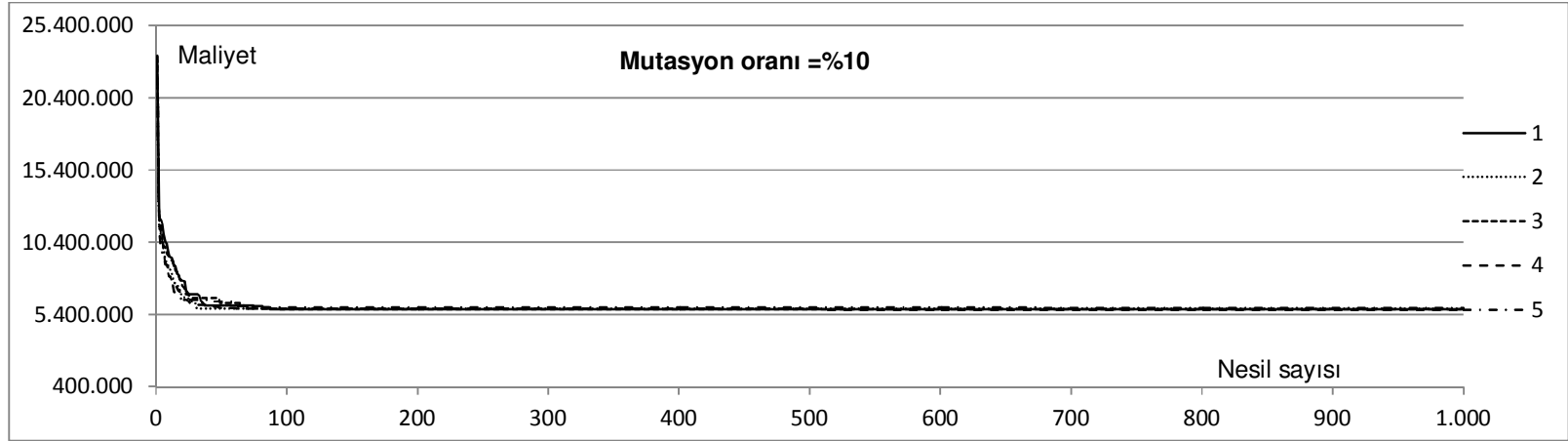
Şekil 9.149 Mutasyon oranı %7 için grafik



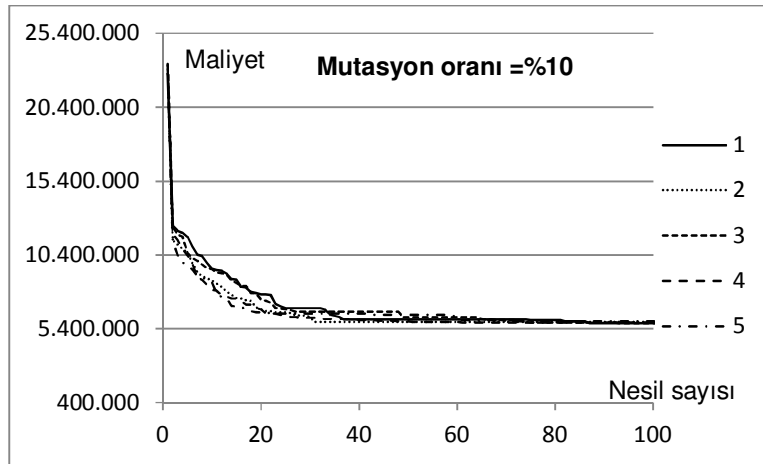
Şekil 9.150 Mutasyon oranı %7 grafiği detay-1



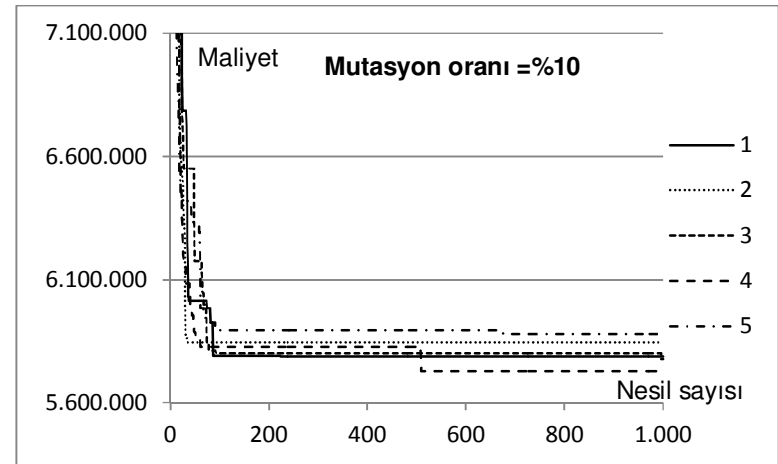
Şekil 9.151 Mutasyon oranı %7 grafiği detay-2



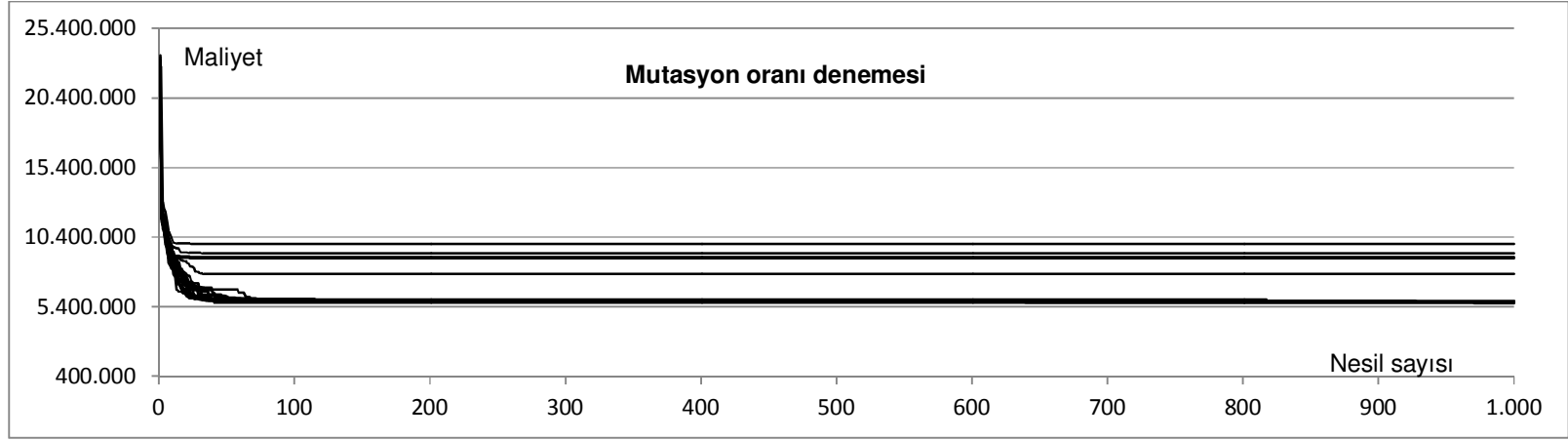
Şekil 9.152 Mutasyon oranı %10 için grafik



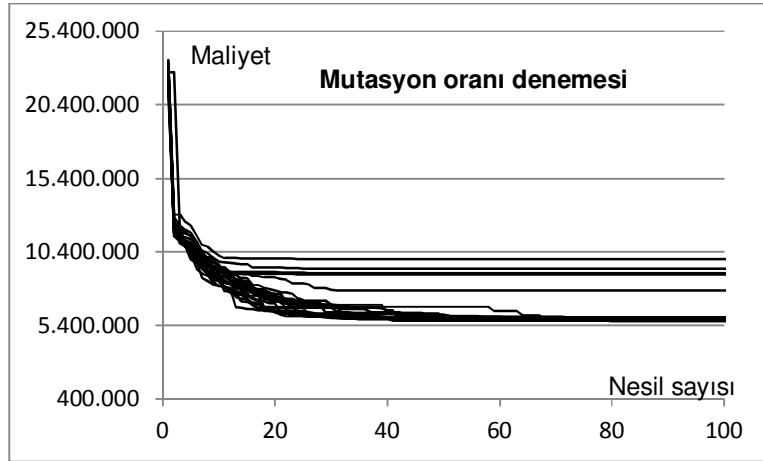
Şekil 9.153 Mutasyon oranı %10 grafiği detay-1



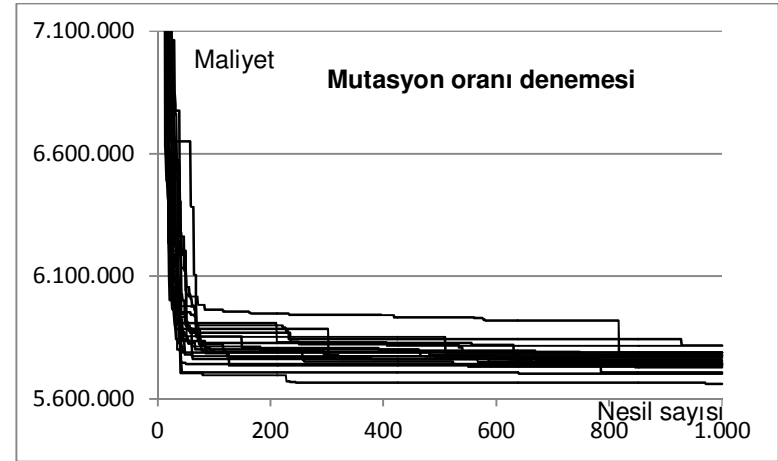
Şekil 9.154 Mutasyon oranı %10 grafiği detay-2



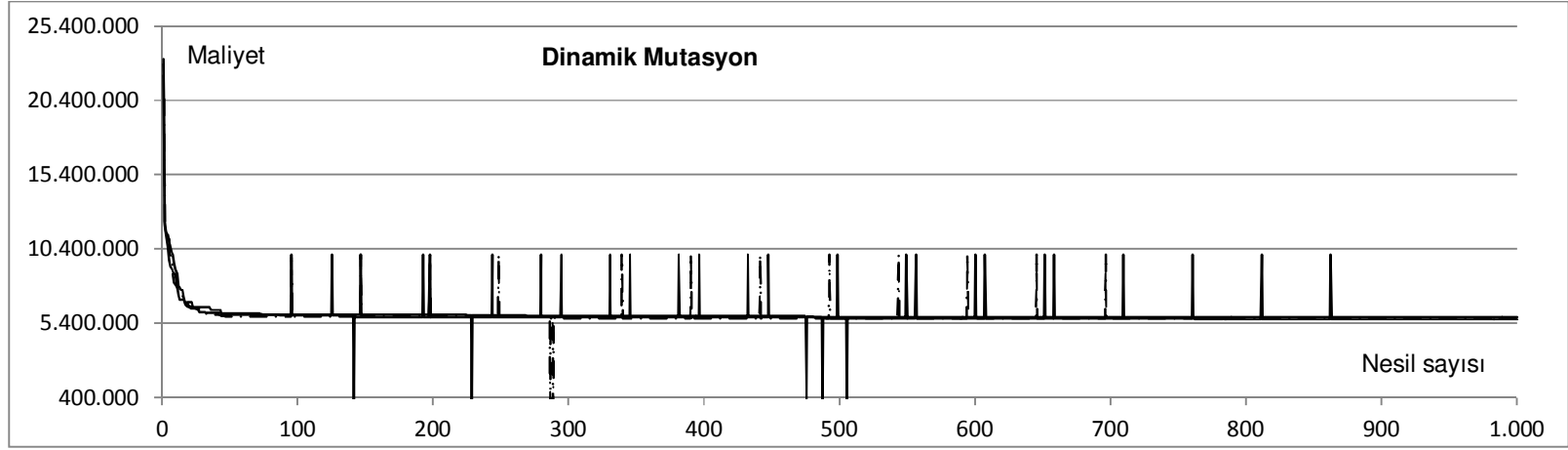
Şekil 9.155 Denenen tüm mutasyon oranları için grafik



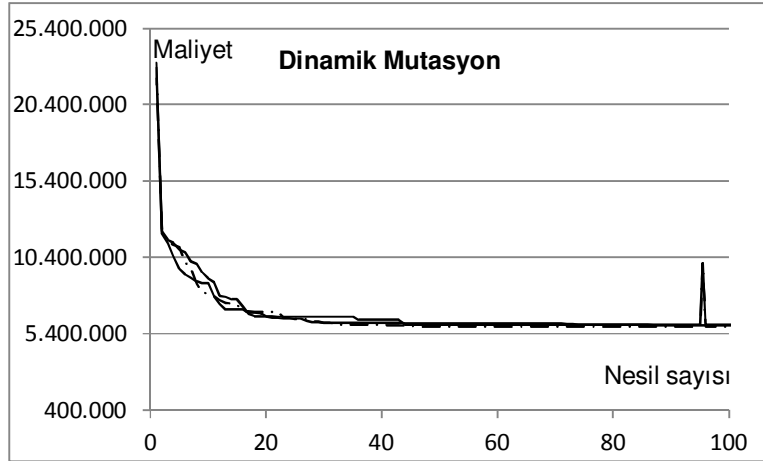
Şekil 9.156 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-1



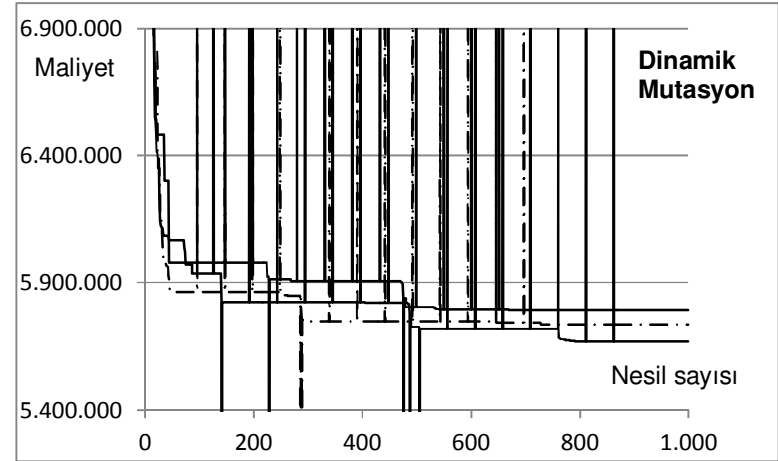
Şekil 9.157 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-2



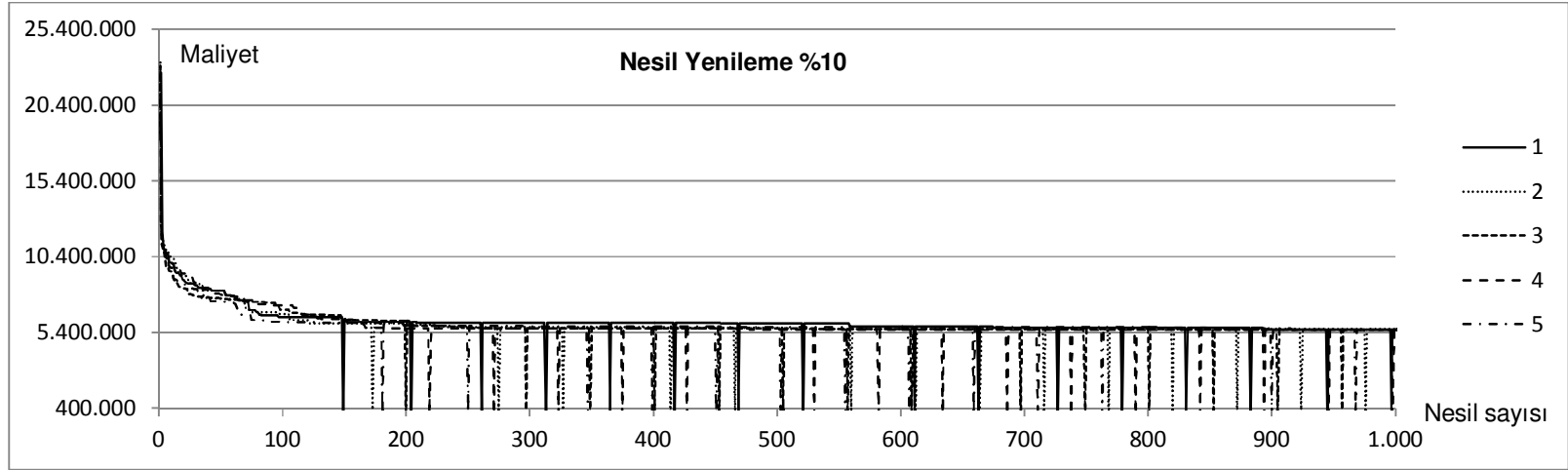
Şekil 9.158 Denenen tüm mutasyon oranları için grafik



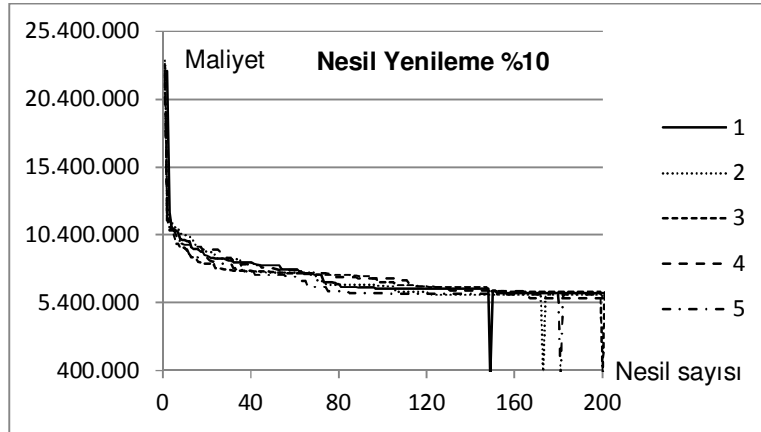
Şekil 9.159 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-1



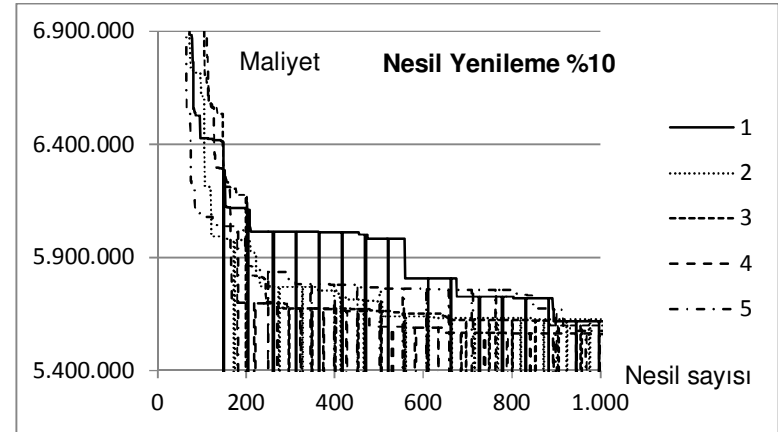
Şekil 9.160 Denenen tüm mutasyon oranları grafiği detay-2



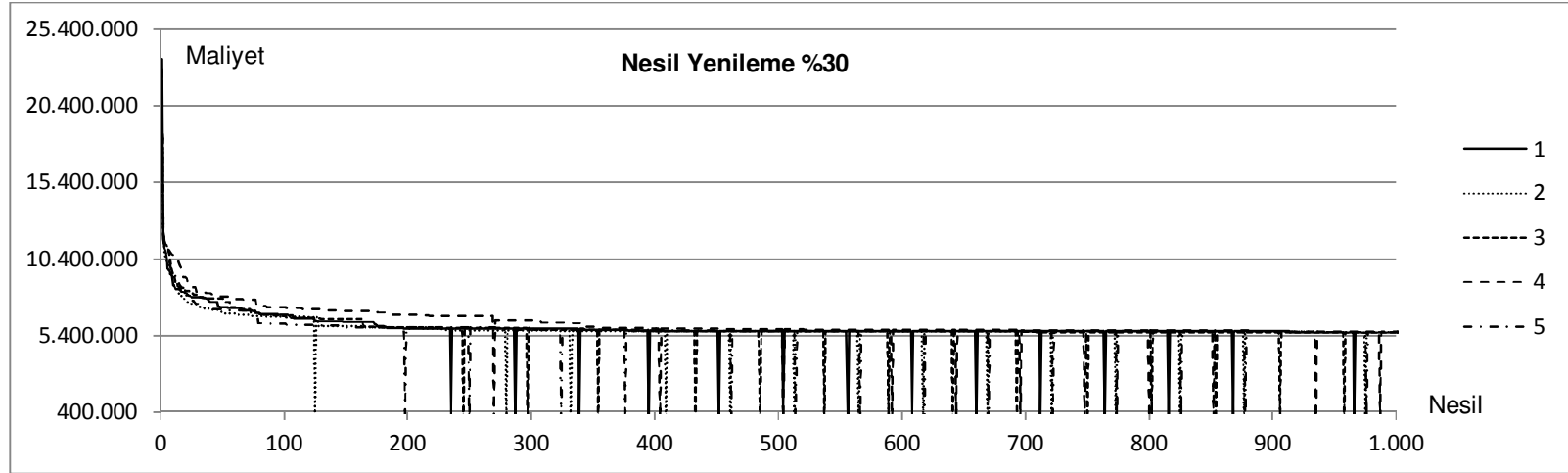
Şekil 9.161 %10 Nesil yenileme için grafik



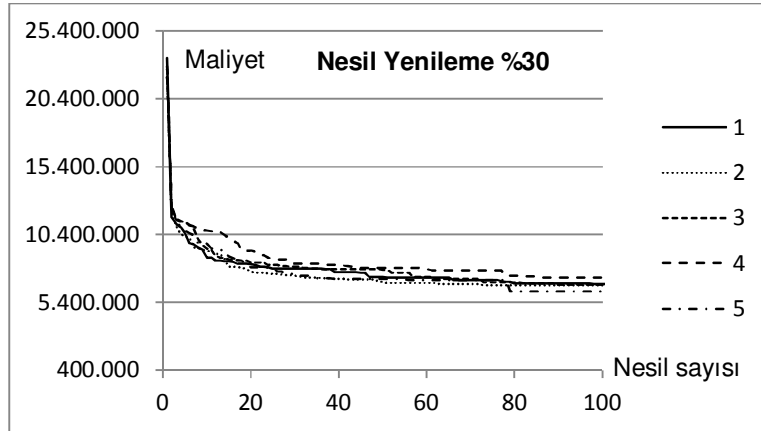
Şekil 9.162 %10 Nesil yenileme grafiği detay-1



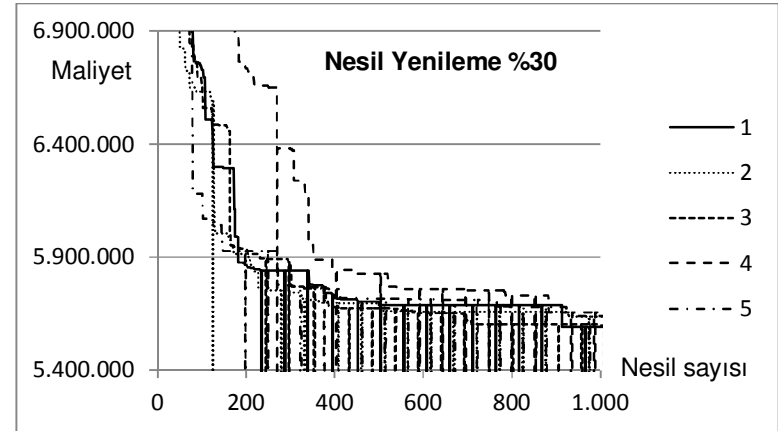
Şekil 9.163 %10 Nesil yenileme grafiği detay-2



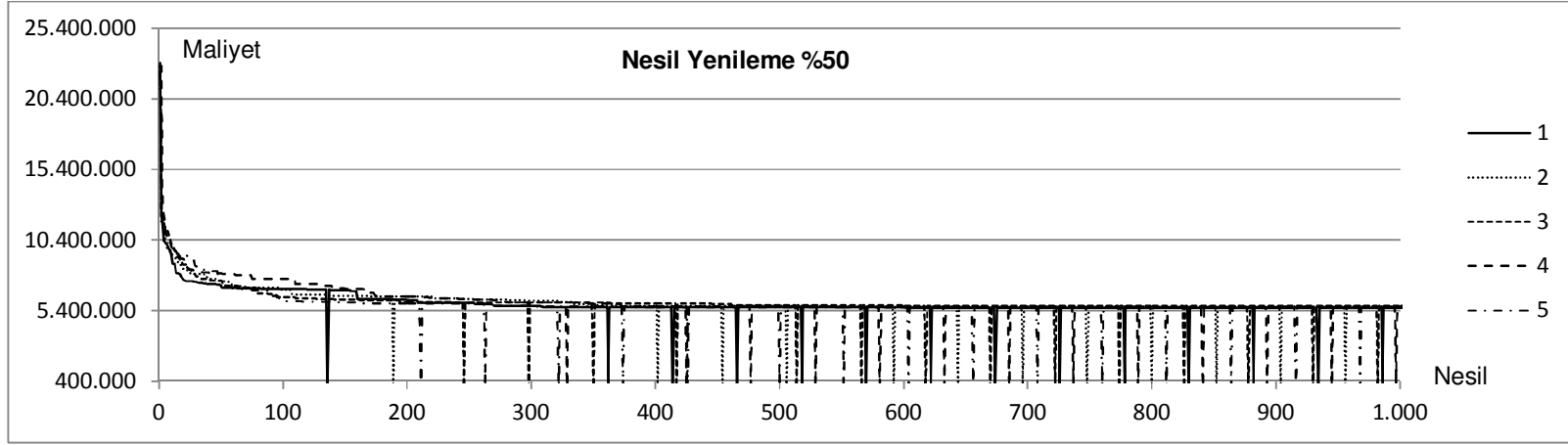
Şekil 9.164 %30 Nesil yenileme için grafik



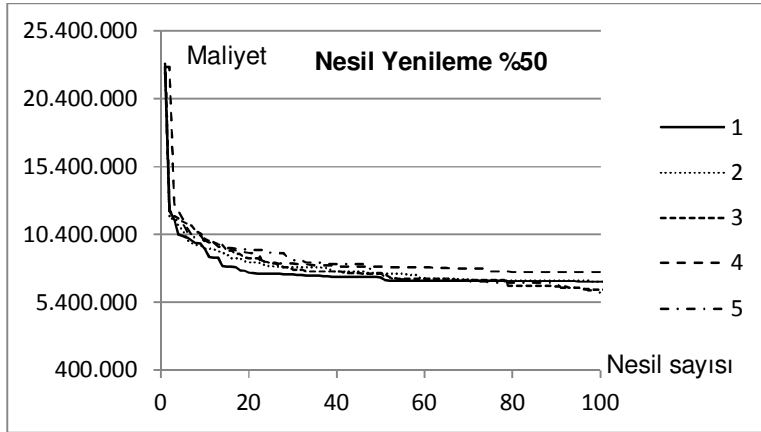
Şekil 9.165 %30 Nesil yenileme grafiği detay-1



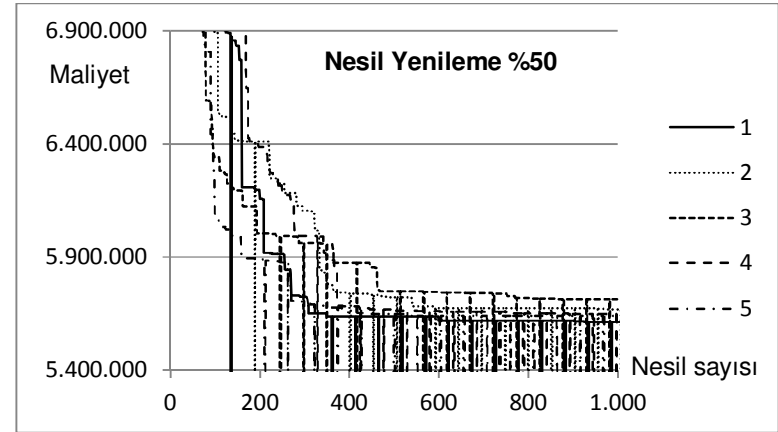
Şekil 9.166 %30 Nesil yenileme grafiği detay-2



Şekil 9.167 %50 Nesil yenileme için grafik



Şekil 9.168 %50 Nesil yenileme grafiği detay-1



Şekil 9.169 %50 Nesil yenileme grafiği detay-2

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Tülin ÇETİN

Doğum Tarihi : 1970

Doğum Yeri : Almanya

Eğitim

Lise : Kayseri Fen Lisesi, 1984 – 1987

Lisans : Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
1987 – 1992 (Bölüm 2.si)

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
2001 – 2004 (Bölüm ve Fakülte 1.si)

Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
2007 – 2010

Doktora : Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
2010 – 2014