İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAM SAYI KARIŞIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE HAZNE İŞLETMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan YAZIRLI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

Ocak 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAM SAYI KARIŞIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE HAZNE İŞLETMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Batuhan YAZIRLI
(501091523)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ

Ocak 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091523 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Batuhan YAZIRLI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"TAM SAYI KARIŞIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE HAZNE İŞLETMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Zekai ŞEN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Atilla AKKOYUNLU Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **16 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2014**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada su kaynakları sistemlerinde önemli bir yeri olan ve belirsizliklere çeşitli yaklaşımlarla cevap aranan işletme problemi ele alınmıştır. Doğru işletme politikası belirlenirken yaklaşımların sonuçları ne ölçüde değiştirdiği görülmüş bununla birlikte son yıllarda su rejimlerindeki belirsizliğin işletme politikalarının belirlenmesinde ne derece önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

İşletme politikasına yaklaşımlar aranırken günümüz yazılım avantajlarından yararlanılmıştır. Çalışmada problem bir en iyileme problemi olarak ele alınmış, çok değişkenli bu problemde amaçlara ve alınan kararlara göre çözüm yöntemlerinin değiştiği görülmüştür.

Hidroelektrik santrallerde serbest piyasa koşullarıyla işletmecilerin belli zaman aralıkları için beklenen enerji fiyatıyla üretime ayrılacak su miktarını ayarlamak zorunda kaldıkları bilinmektedir. Çalışmada gerçek verilerle senaryolar oluşturularak çeşitli zaman aralıkları için üretilen elektriğin ekonomik değerini maksimize ederek söz konusu baraj için işletme politikaları belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada birlikte çalışma imkanı bulduğum, bilgisi ve samimiyeti için kendimi çok şanslı saydığım değerli hocam, Prof. Dr. Bihrat Önöz'e, bilgisiyle çalışmamda önemli katkısı olan Sn. Yrd. Doç. Dr. Özgür Kabak'a (İTÜ, Endüstri Mühendisliği), tecrübelerini paylaşan ve veri sağlamamda çok önemli katkıları olan Sn. Ozan Korkmaz'a (Aplus Enerji), yazılımda ve modelde yardımları bulunan Sn. Mark Wiley'e (Lindo Systems) teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayla, bir araştırmacının öğrendiklerini çalışmalarına yansıtmasının yegane yolunun emeğinin, sabrın ve her zaman sonuca odaklanmasının gerekliliğini tecrübe ettim. Bu tecrübenin hayatımın her alanında ve daha sonraki çalışmalarımda iyi bir rehber olacağını umuyorum.

Son olarak bana bu çalışmada desteklerini esirgemeyen iş arkadaşlarıma, dostlarıma ve aileme sabırları ve koşulsuz destekleri için teşekkürümü bir borç bilirim.

Aralık 2013

Batuhan Yazırlı
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ…. v
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR xi
ÇİZELGE LİSTESİ xiii
ŞEKİL LİSTESİ xv
ÖZET…… xxi
SUMMARY xxiii
1 GİRİŞ…. 1
1.1 Tezin Amacı 1
2 BARAJ NEDİR ? 3
2.1 Enerji Üretimi 4
2.2 Serbest Enerji Piyasası 5
3. BARAJ İŞLETMESİ 7
3.1 Baraj İşletmesi Neden Gereklidir? 7
3.2 Baraj İşletmesinin Zorlukları 8
4. OPTİMİZASYON MODELİ 9
4.1 Su Kaynakları Sistemlerinde Optimizasyon 9
4.2 Optimizasyon Yöntemi 10
4.2.1 Doğrusal programlama 11
4.2.2 Tam sayı-karışık doğrusal programlama 12
4.2.3 Optimizasyon modeli programlamada Lingo 13
5. UYGULAMA 15
5.1 Sami Soydam Baraj Özellikleri 15
5.2 Baraj Giriş Akımları ve Enerji Fiyatları 20
5.2.1 Baraj giriş akımları aylık ortalamaları 20
5.2.2 Baraj giriş akımları yıllık ortalamaları ve enerji fiyat senaryosu 33
6. OPTİMİZASYON MODELİ 37
6.1 Model İçindeki Başlıca Kabuller 38
6.1.1 İşletme zaman aralığı 38
6.1.2 Yükseklik 38
6.1.3 Hacim-Yükseklik İlişkisi 39
6.1.4 Can suyu 39
6.1.5 Buharlaşma 39
6.1.6 Türbin Verimi 39
6.2 Temel Durum Denklemleri 40
6.2.1 Amaç Fonksiyonu 40
6.2.1.1 Normalleştirme Katsayıları (α) 40
6.2.1.2 Ağırlık Katsayıları (β) 40
6.3 Kısıtlar. 43
6.3.1 Süreklilik 43

6.3.2 Hazne başlangıç-bitiş koşulu ... 43
6.3.3 Hazne toplam salım miktarı ... 43
6.3.4 Üretim ... 44
6.3.5 Ekonomik getiri ... 44
6.3.6 Hazne aktif hacim aralığı ... 44
6.3.7 Hazne aktif yükseklik aralığı ... 44
6.3.8 Maksimum salım kapasitesi ... 45
6.3.9 Türbin kapasiteleri ... 45
7 SENARYOLAR ... 47
7.1 1964-2003 Yılları İçin Oluşturulmuş Senaryolar ... 47
7.1.1 Dolu Hazne İle Başlama ve Bitirme ... 47
7.1.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 53
7.1.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 57
7.2 İlk Kısım 20 Su Yılı Senaryoları ... 61
7.2.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 61
7.2.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 66
7.2.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 70
7.3 İkinci Kısım 19 Su Yılı Senaryoları ... 74
7.3.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 74
7.3.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 79
7.3.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 83
7.4 İlk Kısım 9 Su Yılı Senaryoları ... 87
7.4.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 87
7.4.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 92
7.4.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 96
7.5 İkinci Kısım 11 Su Yılı Senaryoları ... 100
7.5.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 100
7.5.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 105
7.5.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 109
7.6 Üçüncü Kısım 10 Su Yılı Senaryoları ... 113
7.6.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 113
7.6.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 118
7.6.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 122
7.7 Dördüncü Kısım 9 Su yılı Senaryoları ... 126
7.7.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 126
7.7.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 131
7.7.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 135
7.8 Yıllık En İyi ve En Kötü Durum Varyasyonları ... 139
7.8.1 En düşük akım ortalaması ile en düşük enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en kötü durum senaryosu) ... 139
7.8.1.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 142
7.8.1.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme ... 146
7.8.1.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme ... 150

7.8.2 En yüksek akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en iyi durum senaryosu) 154
7.8.2.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme 157
7.8.2.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme 162
7.8.2.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme 166
7.8.3 En düşük akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyat ortalaması kombinasyonu 170
7.8.3.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme 170
7.8.3.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme 174
7.8.3.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme 178
7.8.4 En yüksek akım ortalaması ile en düşük enerji fiyat ortalaması kombinasyonu 182
7.8.4.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme 182
7.8.4.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme 187
7.8.4.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme 191
7.9 Karşılaştırmalı Senaryo Sonuçları 195
7.9.1 1964-2003 Yılları optimizasyon modeli için karşılaştırma 201
7.9.2 En düşük akım ortalaması ile en düşük enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en kötü durum senaryosu) karşılaştırması 203
7.9.3 En fazla akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en iyi durum senaryosu) karşılaştırması 204
8 SONUÇ ve ÖNERİLER 205
KAYNAKLAR 209
ÖZGEÇMİŞ 211

KISALTMALAR

DP : Doğrusal Programlama

HES **:** Hidroelektrik Santral

SGÖF : Saatlik gün öncesi fiyatlar

TP :Tamsayılı Programlama

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1 : 39 senelik modelde ağırlık katsayıları değişimine bağlı sonuçlar (üretim debi ağırlık katsayısı değiştirilmesine bağlı ekonomik getiri) 41
Çizelge 7.1 : Dolu başlama-dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (39 su yılı). 48
Çizelge 7.2 : Yarı dolu başlama - yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları. (39 su yılı) 53
Çizelge 7.3 : Yarı boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (39 su yılı) 57
Çizelge 7.4 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk 20 su yılı). 61
Çizelge 7.5 : Yarı Dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk 20 su yılı). 66
Çizelge 7.6 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk 20 su yılı). 70
Çizelge 7.7 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 19 su yılı). 74
Çizelge 7.8 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 19 su yılı). 79
Çizelge 7.9 : Boş başlama - boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 19 su yılı). 83
Çizelge 7.10 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 9 su yılı). 87
Çizelge 7.11 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 9 su yılı). 92
Çizelge 7.12 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 9 su yılı) 96
Çizelge 7.13 : Dolu başlama – dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 11 su yılı). 100
Çizelge 7.14 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 11 su yılı). 105
Çizelge 7.15 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 11 su yılı). 109
Çizelge 7.16 : Dolu başlama – dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (üçüncü kısım 10 su yılı). 113
Çizelge 7.17 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (üçüncü kısım 10 su yılı). 118
Çizelge 7.18 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (üçüncü kısım 10 su yılı). 122

Çizelge 7.19 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (dördüncü kısım 9 su yılı). 126
Çizelge 7.20 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (dördüncü kısım 9 su yılı). 131
Çizelge 7.21 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (dördüncü kısım 9 su yılı). 135
Çizelge 7.22 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en kötü durum senaryosu). 142
Çizelge 7.23 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en kötü durum senaryosu). 146
Çizelge 7.24 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en kötü durum senaryosu). 150
Çizelge 7.25 : Dolu başlama – dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en iyi durum senaryosu). 157
Çizelge 7.26 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en iyi durum senaryosu). 162
Çizelge 7.27 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en iyi durum senaryosu). 166
Çizelge 7.28 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları 170
Çizelge 7.29 : Yarı dolu başlama-yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları 174
Çizelge 7.30 : Boş başlama - boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları. 178
Çizelge 7.31 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları. 182
Çizelge 7.32 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları. 187
Çizelge 7.33 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları. 191
Çizelge 7.34 : Optimizasyon modeli sonuçları (uzun model varyasyonları). 195
Çizelge 7.34 devamı : Optimizasyon modeli sonuçları (uzun model varyasyonları). 196
Çizelge 7.34 devamı : Optimizasyon modeli sonuçları (uzun model varyasyonları). 197
Çizelge 7.35 : Optimizasyon modeli sonuçları (senelik varyasyonlar). 198
Çizelge 7.35 devamı : Optimizasyon modeli sonuçları (senelik varyasyonlar). 199

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Zamana bağlı enerji istemi. 7
Şekil 4.1 : Konveks ve konveks olmayan durumlar 11
Şekil 5.1 : Barajın Türkiye'deki yeri (HES fizibilite raporu, Mart 2005). 16
Şekil 5.2 : Barajın genel yerleşim planı (HES fizibilite raporu, Mart 2005). 17
Şekil 5.3 : Sami Soydam Barajı giriş akımları: 8-103 AGİ akışyukarı tam developman çıkışı ve (8-74 AGİ ile 8-103 AGİ ara havza doğal akımları şeklinde hesaplanmıştır (HES fizibilite raporu, Mart 2005). . 18
Şekil 5.4 : Baraj Giriş Akımları Ekim Ayları Ortalamaları. 21
Şekil 5.5 : Baraj Giriş Akımları Kasım Ayları Ortalamaları. 22
Şekil 5.6 : Baraj Giriş Akımları Aralık Ayları Ortalamaları. 23
Şekil 5.7 : Baraj Giriş Akımları Ocak Ayları Ortalamaları. 24
Şekil 5.8 : Baraj Giriş Akımları Şubat Ayları Ortalamaları. 25
Şekil 5.9 : Baraj Giriş Akımları Mart Ayları Ortalamaları. 26
Şekil 5.10 : Baraj Giriş Akımları Nisan Ayları Ortalamaları. 27
Şekil 5.11 : Baraj Giriş Akımları Mayıs Ayları Ortalamaları. 28
Şekil 5.12 : Baraj Giriş Akımları Haziran Ayları Ortalamaları. 29
Şekil 5.13 : Baraj Giriş Akımları Temmuz Ayları Ortalamaları. 30
Şekil 5.14 : Baraj Giriş Akımları Ağustos Ayları Ortalamaları. 31
Şekil 5.15 : Baraj Giriş Akımları Eylül Ayları Ortalamaları. 32
Şekil 5.16 : Baraj Giriş Akımları Yıllık Ortalamaları. 34
Şekil 5.17 : Senaryo için oluşturulan enerji fiyatları 2010-2012 SGÖF fiyatlarının ardışık dizilmesiyle oluşturulmuştur. 35
Şekil 6.1 : Ağırlık katsayılarıyla değişen yükseklik değerleri. 42
Şekil 7.1 : 39 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları. 49
Şekil 7.2 : 39 su yılı hazne dolu başlama-dolu bitirme durumu için aylık gelir toplamları ve 10 senelik gelir ortalamaları. 50
Şekil 7.3 : 39 su yılı hazne dolu başlama-dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 51
Şekil 7.4 : Baraj hazne aksı düzeltilmiş istasyon akım girdileri aylık ortalamaları (tüm senaryolar için geçerli olduğundan grafik tekrar verilmemiştir). . 52
Şekil 7.5 : 39 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları. 54
Şekil 7.6 : 39 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 55
Şekil 7.7 : 39 su yılı hazne yarı dolu başlama-yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 56
Şekil 7.8 : 39 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları. 58

Şekil 7.9 : 39 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 59
Şekil 7.10 : 39 su yılı hazne boş başlama - boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 60
Şekil 7.11 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk 20 su yılı)..... 62
Şekil 7.12 : İlk 20 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları (İlk 20 su yılı). 63
Şekil 7.13 : İlk 20 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..... 64
Şekil 7.14 : İlk 20 su yılı hazne ortalama su girdileri (m^3/s)..... 65
Şekil 7.15 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk 20 su yılı). 67
Şekil 7.16 : 20 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları (İlk 20 su yılı). 68
Şekil 7.17 : 20 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL), (ilk 20 su yılı).. 69
Şekil 7.18 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk 20 su yılı)..... 71
Şekil 7.19 : 20 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları (İlk 20 su yılı). 72
Şekil 7.20 : 20 su yılı hazne boş başlama - boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL), (ilk 20 su yılı). 73
Şekil 7.21 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 19 su yılı)..... 75
Şekil 7.22 : İkinci kısım 19 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 76
Şekil 7.23 : İkinci kısım 19 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..... 77
Şekil 7.24 : İkinci kısım 19 su yılı hazne ortalama su girdileri (m^3/s)..... 78
Şekil 7.25 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 19 su yılı)..... 80
Şekil 7.26 : İkinci kısım 19 su yılı hazne yarı dolu başlama–yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları..... 81
Şekil 7.27 : İkinci kısım 19 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 82
Şekil 7.28 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 19 su yılı)..... 84
Şekil 7.29 : İkinci kısım 19 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 85
Şekil 7.30 : İkinci kısım 19 su yılı hazne boş başlama–boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).. 86
Şekil 7.31 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk kısım 9 su yılı)..... 88
Şekil 7.32 : İlk kısım 9 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 89
Şekil 7.33 : İlk kısım 9 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..... 90
Şekil 7.34 : İlk kısım 9 su yılı hazne ortalama su girdileri (m^3/s)..... 91

Şekil 7.35 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk kısım 9 su yılı).....93
Şekil 7.36 : İlk kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.....94
Şekil 7.37 : İlk kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).. 95
Şekil 7.38 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk kısım 9 su yılı). 97
Şekil 7.39 : İlk kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 98
Şekil 7.40 : İlk kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).....99
Şekil 7.41 : Hazne dolu başlama–dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 11 su yılı).....101
Şekil 7.42 : İkinci kısım 11 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 102
Şekil 7.43 : İkinci kısım 11 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).....103
Şekil 7.44 : İkinci kısım 11 su yılı hazne ortalama su girdileri (m^3/s).....104
Şekil 7.45 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 11 su yılı).....106
Şekil 7.46 : İkinci kısım 11 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 11 yıllık gelir ortalamaları.....107
Şekil 7.47 : İkinci kısım 11 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 108
Şekil 7.48 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 11 su yılı).....110
Şekil 7.49 : İkinci kısım 11 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 11 yıllık gelir ortalamaları 111
Şekil 7.50 : İkinci kısım 11 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).....112
Şekil 7.51 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (üçüncü kısım 10 su yılı). 114
Şekil 7.52 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.....115
Şekil 7.53 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 116
Şekil 7.54 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne ortalama su girdileri (m^3/s).....117
Şekil 7.55 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (üçüncü kısım 10 su yılı). 119
Şekil 7.56 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 120
Şekil 7.57 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).....121
Şekil 7.58 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (üçüncü kısım 10 su yılı). 123
Şekil 7.59 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları. 124

Şekil 7.60 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..... 125
Şekil 7.61 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (dördüncü kısım 9 su yılı). 127
Şekil 7.62 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 9 yıllık gelir ortalamaları. 128
Şekil 7.63 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL). 129
Şekil 7.64 : Dördüncü kısım 9 su yılı baraj hazne aksı düzeltilmiş istasyon akım girdileri aylık ortalamaları. 130
Şekil 7.65 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (dördüncü kısım 9 su yılı)..... 132
Şekil 7.66 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 9 yıllık gelir ortalamaları. 133
Şekil 7.67 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..... 134
Şekil 7.68 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (dördüncü kısım 9 su yılı). 136
Şekil 7.69 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 9 yıllık gelir ortalamaları. 137
Şekil 7.70 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..... 138
Şekil 7.71 : Ekim 2000 ve Ekim 2001 yılları boyunca senaryoda kullanılan en düşük (2010 2011) enerji fiyatı serisi. 140
Şekil 7.72 : Ekim 2000 ve Ekim 2001 yılları boyunca hazneye gelen günlük debi ortalamaları (aylık değerler günlük ortalamalara çevrilmiştir)... 141
Şekil 7.73 : En kötü durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 143
Şekil 7.74 : En kötü durumda, dolu başlama - dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 144
Şekil 7.75 : En kötü durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 145
Şekil 7.76 : En kötü durumda yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi..... 147
Şekil 7.77 : En kötü durumda, yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği..... 148
Şekil 7.78 : En kötü durumda, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 149
Şekil 7.79 : En kötü durumda boş başlama boş bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 151
Şekil 7.80 : En kötü durumda, boş başlama – boş bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 152
Şekil 7.81 : En kötü durumda, boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 153
Şekil 7.82 : Ekim 1967 ve Ekim 1968 yılları boyunca senaryoda kullanılan en yüksek (2011 2012) enerji fiyatı serisi. 155
Şekil 7.83 : Ekim 1967 ve Ekim 1968 yılları boyunca hazneye gelen günlük debi ortalamaları (aylık değerler günlük ortalamalara çevrilmiştir)... 156

Şekil 7.84 : En iyi durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 158
Şekil 7.85 : En iyi durumda, dolu başlama – dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 159
Şekil 7.86 : En iyi durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 160
Şekil 7.87 : En iyi durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük can suyu ve ilave zorunlu hazne salımları (m3/s). 161
Şekil 7.88 : En iyi durumda, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 163
Şekil 7.89 : En iyi durumda, yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 164
Şekil 7.90 : En iyi durumda, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 165
Şekil 7.91 : En iyi durumda, boş başlama boş bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 167
Şekil 7.92 : En iyi durumda, boş başlama – boş bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 168
Şekil 7.93 : En iyi durumda, boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 169
Şekil 7.94 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 171
Şekil 7.95 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama – dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 172
Şekil 7.96 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 173
Şekil 7.97 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 175
Şekil 7.98 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 176
Şekil 7.99 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları. 177
Şekil 7.100 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama boş bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 179
Şekil 7.101 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama – boş bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 180
Şekil 7.102 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı 181
Şekil 7.103 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi 183
Şekil 7.104 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği 184
Şekil 7.105 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı. 185
Şekil 7.106 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük can suyu ve ilave zorunlu hazne salımları (m^3/s) 186

Şekil 7.107 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 188
Şekil 7.108 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 189
Şekil 7.109 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı. 190
Şekil 7.110 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi. 192
Şekil 7.111 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği. 193
Şekil 7.112 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı. 194
Şekil 7.113 : Senaryolarda elde edilen ortalama yıllık enerji üretimi..... 200
Şekil 7.114 : 1964-2003 yılları için başlangıç-bitiş varyasyonlarında optimizasyon çalışması sonucu en iyi ekonomik getiriyi sağlayan işletme politikaları. 201
Şekil 7.115 : 1964-2003 yılları için başlangıç-bitiş varyasyonlarında optimizasyon çalışması sonucu elde edilen 10 yılık ortalama ekonomik getiri miktarları. 202
Şekil 7.116 : En kötü senaryoda enerji fiyatı (karşılaştırma için tekrar verilmiştir). 203
Şekil 7.117 : En düşük akım ortalaması ile en düşük enerji fiyatı ortalaması senaryosunda hacim başlangıç – bitiş şartlarının etkisi. 203
Şekil 7.118 : En iyi senaryoda enerji fiyatı (karşılaştırma için tekrar verilmiştir). . 204
Şekil 7.119 : En fazla akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyatı ortalaması senaryosunda hacim başlangıç – bitiş şartlarının etkisi. 204

TAM SAYI KARIŞIK DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE HAZNE İŞLETMESİ

ÖZET

Bu çalışmada hidroelektrik santral işletmelerinde serbest piyasa koşullarının da etkisiyle ekonomik kaygılarla işletilmesi konusu ele alınmış, belirlenen işletme modeliyle Muğla İli Dalaman İlçesinde bulunan Sami Soydam Barajı fiziksel özellikleri ele alınarak elektrik üretim maksadıyla çeşitli senaryolar altında günlük olarak işletilmiştir. En uzun model için 39 su yılı boyunca 1964 Ekim – 2002 Ekim tarihleri arası düzeltilmiş baraj aksı istasyon akım girdileri ile 2010 Ekim- 2012 Ekim yılları SGÖF (sistem gün öncesi fiyatları) ardışık dizilerek işletme senaryosu oluşturulmuştur.

Santral 124 MW kurulu güce sahip olup iki adet 25,15 m^3/s kapasiteli 62 MW gücünde düşey eksenli Francis tipi ünite ile donatılmıştır. Santralin baraj gövdesine olan uzaklığı 4,5 km'dir. Üretim debisinin bu hat boyunca ekosisteme katkısı olmayacağından baraja özgü bu durum için sürekli olarak can suyu salımı yapılmıştır. Örnek çalışmalardan yola çıkarak uygun bir optimizasyon modeliyle bu senaryolara bağlı hazne durumları ile hidroelektrik santralin elde ettiği ekonomik getiri sonuçları incelenmiştir. Senaryolarda 39 senelik model, 20 sene ve 19 senelik iki parçalı model ve sırasıyla 9, 10, 11, 9 senelik 4 parçalı modeller oluşturulmuştur. Başlangıç ve bitiş koşulları için dolu-dolu, yarı dolu-yarı dolu, boş-boş senaryo varyasyonları denenmiş buna bağlı hazne hacimlerinin seyiri ve ekonomik getirileri incelenmiştir. Senaryolar arasına bir sene süreli işletmeler eklenmiştir. Bu süreler için baraj aksında bulunan akım girdilerinin ölçüldüğü ilgili istasyon verilerinin minimum su girdi ortalamasına sahip (2000-2001) su yılı, maksimum su girdi ortalamasına sahip (1967-1968) su yılı ile, düşük enerji fiyat ortalamasına sahip (2010-2011) su yılı enerji fiyatları ve yüksek enerji fiyat ortalamasına sahip (2011-2012) su yılları enerji fiyatlarının oluşturduğu senaryo kombinasyonları denenmiştir. Santralin mevcut su girdisiyle tam kapasite çalışabileceği gün sayısı gözönüne alındığında optimizasyon çalışmaları sonucunda %90'nın üzerinde tam kapasite çalışma oranı görülmüştür. Senelik modellerin dışında bahsedilen uzun modellerde bu oran %97 seviyelerine kadar çıkmıştır.

Model için önce doğrusal programlama ile yola çıkıldıysa da çözüm için türbinlerdeki verim kaygısı gözetilerek türbinlerin kapasite kullanımının %40'ın altına düşmesine izin verilmemesine bağlı olarak problemin tam sayı karışık doğrusal programlama yöntemiyle çözümü mümkün olmuştur.

Çalışılan optimizasyon modellerinin su işletmecilerine belirlenen zaman aralığı için doğru tahminlerle, uygun bir işletme politikası öngörülmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

A MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR OPTIMISATION OF BASIN MANAGEMENT

SUMMARY

In this study, management of a Hydropower plant under economic concerns due to the influence of open market issue is handled. A proper model is determined and applied to Sami Soydam Hydropower Dam with its own characteristics for daily management which is located in Dalaman district of the province of Mugla on the south west coast of Turkey. The model is applied for one basin and only for economical income maximizing purpose. Adjusted station gauged flows between September 1964 – September 2002 and energy costs between September 2010 - September 2012 periods are aligned consecutively to create an operation scenario for the model.

The plant is installed with two 62 MW vertical-axis Francis Turbine with 25,15 m3/s charge capacity that produce 124 MW in total. The station is 4,5 km away from the basin and the production release is not able to contribute to the ecosystem along this channel, therefore a constant basic flow (life water) is released for the ecosystem continuously.

The length combinations as a whole 39 years, 20, 19 years sequentially as two parts of whole and 9, 11,10, 9 years sequentially four parts of whole, scenarios are applied. Based on similar studies, basin conditions connected with these scenarios and the economic returns generated by hydroelectric power plants were examined with an appropriate optimization model. In these scenarios; a model of 39 years, two-part model of 20 and 19 years, and a 4-piece model of respectively 9, 10, 11, 9 years were created.

Variations of scenarios such as full start-full end, half full start-half full end, empty start-empty end were tested for start and end conditions and the progress of basin volume and economic benefits were examined accordingly. The results are discussed due to conditions like the start - end basin volumes, scenario length variations, and the best – worst annual scenario combinations between (2000-2001) minimum mean flow year, (1967-1968) maximum mean flow year, (2010-2011) minimum mean energy costs, (2011-2012) maximum mean energy costs. When the number of days which the santral is able to work at full capacity with the available water influx is considered, over 90% full capacity working rate has been observed as a result of optimization. Annual models aside, this rate has risen up to 97% for the long models.

Hydropower is one of the cleanest energy production way as competent scientists support. Hydropower helps energy producers encounter peak energy demand very

quickly when it is compared with others. A management policy must be determined to encounter peak demands and maximize income. For best management policy, complex datas need to be evaluate and read accurately. Turkey has entered to open market in energy production in 2001 for cost decreasing, efficiency enhancements and constitute a competitive market thus it has become inevitable to estimate energy costs and water inflow accurately.

Optimization is the current method for evaluation the complex datas and choose the best operating policy. A basin management requires benefit maximizing or cost minimizing while providing needed water properly.

In this study economical income results are taken into account while determining the best management policy. The scenerio variations income are matched and discussed while trying to state the meaning of the basin volüme process due to water income and energy costs.

At the beginning of the study linear programming model was foreseen however due to efficiency concerns, a 40% constraint inserted in to the model and the problem was solved by mixed integer linear programming method.

It is known that hydropower production is nonlinear. For a linear optimization some admittions are made during the study. Especially height is one of the most important nonlinear issue for hydropower. In the model a constant height is taken into account. But the model is limited for energy production with production flow minimization. Consequently a calibration study is performed for all scenario variations so that height positive affect for energy production is also taken into account. Linear programming model was foreseen however due to efficiency concerns, the problem was solved by mixed integer linear programming method. Branch and bound method is used by the program during optimization process.

Lingo optimization program of Lindo Systems is used during the study for its flexible and easy programming language. The program is compatible with Microsoft's Excel program so that it was available to evaluate the results effectively with excel data sheets. Every result is graphed and matched during the study so that affects of the datas to income can be understood. For example negative affect of a full capacity start with a big quantitity of basin inflow clearly determined.

Long time models start-end conditions were easily tolerated after a while due to inflow quantity. The inflow quantity determined the toleration time span. The big inflow quantitity shortened the toleration time clearly.

Short time models are more vulnerable to start-end conditions. Inflow quantity can not tolerate the restriction affects as well as in long time models. It is obviously seen

that short time model conditions must be fictionalized logically or tolerated segments must be taken into account for determining the management policy.

In the study it has clearly seen that the station gauged flows are decreasing especially between 1984-2002 years. It affects also the income in parallel with power generation. Flow regime distortions makes estimating uncertain datas difficult for the model which is tried to be constructed accurately.

At first 20 years segment of model, it is clearly seen that inflow quantity can directly affect power generation and income values positively. Third decade is the droughty part of the scenario. In parallel with this situation minimum production and income values are acquired in this part of the model.

In this study because of calibrations, model variations and the extention of models data management were essential and it needed to be done perfectly. Today's software technology helps to gathering and evaluating data at the same time. It is believed that the given optimization model will be helpful for water managers/operators for determining a management policy at a certain time with accurate predictions.

1 GİRİŞ

En iyileme, bir sistemde varolan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet enazaltılması, kârençoklanması, kapasite kullanımının enyükseltilmesi ve verimliliğin ençoklanması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Gass, 2000).

Günümüzde hazne sistemlerinin işletilmesinde karmaşık verilerin değerlendirilip en iyi işletme politikasının belirlenmesinde sıkça başvurulan yöntem optimizasyondur. Bir hazne sisteminde işletmenin amacı kütle denge denklemleri ve diğer kısıtlar altında değişken su talepleri karşılanırken faydaları maksimize etmek veya masrafları minimize ederek iyi bir işletme politikası sürdürmektir. Bu süreçte optimizasyon tekniklerinin doğru biçimde uygulanmasının yanında belirsizliklerin de ortadan kaldırılması çok önemlidir.

Son 20 yıllık süreçte su kaynakları mühendisliğinde yapılan en önemli gelişmelerden biri optimizasyon tekniklerinin karmaşık su kaynakları sistemlerinin planlanması, tasarımı ve işletilmesi için uygulanması ve geliştirilmesi olmuştur. Donanım ve yazılım bilgi teknolojilerinin sürekli gelişmesiyle birlikte yeni karar alma mekanizmalarına geçiş için uygun ortamlar oluşmaktadır. Bu süreçte teorik gelişmeler ile pratik uygulamalar arasındaki kopukluğun gün geçtikçe azalması beklenmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezde su kaynakları sistemlerinde optimizasyon tekniklerinin araştırılması ve halihazırda bulunan bir sisteme gerçek verilerle belirlenen optimizasyon tekniği uygulanarak ekonomik getirinin en büyüklenmesi amaçlanmıştır. En yüksek ekonomik getiri en iyi işletme politikası olarak belirlenmiş bunun yanında verilerdeki ve kısıtlardaki değişikliğin işletme politikasına nasıl yansıyacağı araştırılmıştır.

2 BARAJ NEDİR ?

Suyun, akarsu üzerine yapılan bentler yardımıyla içme suyu temini, sulama, taşkın kontrolü, elektrik üretimi maksadıyla tutulması sonucu oluşan sisteme baraj denir.

“Su biriktirmek veya bir depo oluşturmak amacıyla bir vadinin iki yakası arasına inşa edilen bariyer” (DSİ, 2013).

Hizmet yönüyle barajların amacı yoğunlukla elektrik üretmeye dayanıyorsa Hidroelektrik santral adını almaktadırlar.

Çeşitli enerji kaynakları içerisinde hidroelektrik enerji santralleri çevre dostu olmaları ve düşük potansiyel risk taşımaları sebebiyle tercih edilmektedir. Hidroelektrik santraller; çevreye uyumlu, temiz, yenilenebilir, yüksek verimli, yakıt gideri olmayan, enerji fiyatlarında sigorta rolü üstlenen, uzun ömürlü, işletme gideri çok düşük dışa bağımlı olmayan yerli bir kaynaktır.

31 Ağustos 2012 tarihi itibari ile Türkiye toplam elektrik kurulu gücü 55.380 MW’a ulaşmıştır. Bu toplam içinde, termik yakıtlı santralların payı % 63 (34.656 MW) ve yenilenebilir yakıtlı santraların payı % 37 (20.724 MW) olmuştur. 2012 yılının başından 31 Ağustos 2012 tarihine kadar geçen süre içerisinde üretilen elektrik miktarı 163 TWh olup kaynaklar bazında dağılımında % 70 termik ve % 30 yenilenebilir enerji kaynaklıdır. (EİE, 2013)

“Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek tüm hidroelektrik potansiyelin 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretiminde kullanılması hedeflenmektedir” (Enerji Bakanlığı, 2013).

‘‘Hidroelektrik santrallar (HES) akan suyun gücünü elektriğe dönüştürürler. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Büyük bir nehirde akan su büyük miktarda enerji taşımaktadır. Ya da su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde de yine yüksek miktarda enerji elde edilir. Her iki yolla da kanal yada borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi

kolları olan türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinler jeneratörlere bağlıdır ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler'' (EİE, 2013).

"Hidroelektrik tesisler diğerlerine göre çevreye daha az zarar verirler. Su ve hava kirlenmesine ve nükleer kirlenmeye neden olmazlarsa da doğanın bozulmasına ve arazinin su altında kalmasına yol açabilirler" (Bayazıt, 1994).

Hidroelektrik santrallerin, hava kirliliği, sıcaklık kirliliği, radyoaktif atıklar ve uçucu kül azaltılmasında önemli katkıları vardır. Haznedeki suyun boşaltılması veya geri pompalanmasındaki (pompaj biriktirmeli hazneler) kolaylığından dolayı hidroelektrik santraller kömür santralleri, doğalgaz santralleri ve nükleer santraller gibi termik santraller ile birlikte kullanılırlar. Bunun yanında hızlı devreye alınabilmeleri pik denilen yüksek enerji taleplerini karşılamada büyük kolaylık sağlar. (Moore, 2000)

"Türkiye'de işletmede olan 303 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 17.372 MW ve ortalama yıllık üretimi ise 62.000 GWh olup, bu değer toplam teknik potansiyelin %28,7'sine karşılık gelmektedir" (DSİ, 2013).

2.1 Enerji Üretimi

Üretim santrali açısından üç ana üretim tipi vardır: Termal (buhar), doğalgaz ve hidroelektrik. Bu birimler ayrı işletme prosedürlerine sahiptirler. Termal santrallerin devreye alınmaları ve devreden çıkmaları uzun sürdüğünden büyük talep artışlarına hemen karşılık veremez. Bir hidroelektrik santralin devreye alınması ve devreden çıkarılması iki dakikayı almaktadır. Bu sebepten hidroelektrik santraller pik talepleri karşılamak için ilk tercihtir. Aynı anda termal santral ve hidroelektrik santralin şebekeye bağlanabilmesi için senkronize edilmesi gerekmektedir. Bu senkronizasyon santralin doğru frekansta işletilmesini sağlar. (Moore, 2000)

"Bu senkronizasyonun gerçekleşmesi için; üretecin ve şebeke frekanslarının eşit olması, üreteç ile şebekenin faz sırasının birbiriyle eşlenmesi, üreteç emk'si (elektromotor kuvvet) ile şebeke voltajının büyüklük bakımından eşitlenmesi, emk ve şebeke voltajının eşit fazda olması gerekir." (Elgerd, 1982)

2.2 Serbest Enerji Piyasası

“2001 yılında kabul edilen 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile Türkiye'de liberal elektrik piyasasına geçiş başlamıştır. Bu kanun ile temel olarak enerji arz güvenliğinin sağlanması, verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılması, rekabetçi bir piyasa yapısı oluşturulması amaçlanmıştır” (Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 2009).

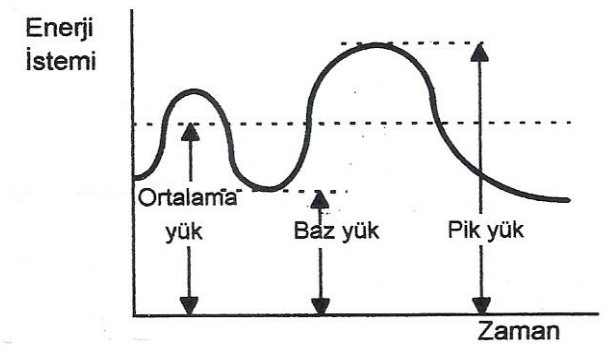
3. BARAJ İŞLETMESİ

3.1 Baraj İşletmesi Neden Gereklidir?

Türkiye'de kişi başına yıllık elektrik tüketimi 3.060 kWh düzeylerinde olup, bu miktar kalkınmış ve kalkınmakta olan ülkeler ortalamasının çok altındadır. Ülkemizin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınmasının sağlanması için sanayileşme bir hedef olduğuna göre bu endüstrinin ve diğer kullanıcıların ihtiyacı olan enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması büyük önem arz etmektedir (DSİ, 2013).

"Bir hazne sistemi planlanırken sistem performansının zaman içerisinde değişen mevcut su taleplerini karşılaması göz ününe alınır, rezarvuar sisteminin işletilmesi ve planlanmasında amaç kütle denge denklemleri ve diğer kısıtlar altında faydaları en büyüklemek, masrafları en küçüklemek, değişken su taleplerini karşılamaktır" (Rani ve Moreira, 2009).

Elektrik enerjisi istemi zaman içinde değişkendir (Şekil 3.1). Hidroelektrik santrallerde yük çok kısa zaman içerisinde kolayca değiştirilebilir. Bunun yanında bir termik santralin devreye sokulması ise en az yarım saatlik bir sürede yapılabilmektedir. Hidroelektrik santraller bu nedenle pik kapasiteyi karşılamakta kullanılırlar (Bayazıt, 1994).



Şekil 3.1 : Zamana bağlı enerji istemi.

Büyük Barajlar Uluslararası Komisyonu (ICOLD, 1996) raporuna göre, dünya çapında bütün barajların sayısı (15 m ve üzeri olan) 42000'i aşmaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler göz önüne alındığında barajların işletilmesinde en iyinin aranmasının ne kadar önemli olduğu anlaşılabilmektedir.

3.2 Baraj İşletmesinin Zorlukları

Hazneler, kanallar, tüneller, iletim hatları, pompalama istasyonları, hidroelektrik santraller, sulama alanları ve şehir su şebekeleri gibi fiziksel bileşenlerden oluşan tek veya çoklu hazne sistemleri; kentsel kullanım, endüstriyel kullanım ve sulama ihtiyacı, hidroelektrik üretimi, taşkın kontrolü, rekreasyon, ulaşım, veya ekolojik gereksinimlere su sağlamak amacıyla işletilirler.

"Bu sistemlerin işletilmesi; akım girdileri, geri akışlar, hazneler, derivasyonlar, debi, hazne içi ve hazneler arası transferler, sulama ve endüstriyel ve/veya şehir şebeke suyu ihtiyacı gibi birden çok karmaşık değişkenle ilgili olması nedeniyle oldukça zordur.

İşletme modellerindeki hesaplama zorluğunun başlıca nedenleri arasında hazne sistemindeki belirsizlikler, birbiriyle orantılı veya orantısız amaçlar, hidroelektrik üretimi, buhar ve diğer kayıplar gibi doğrusal olmayan fonksiyonların dahil olması gibi nedenler gösterilebilir" (Rani ve Moreira, 2009).

Bu çalışmada Hidroelektrik santrallerde santral operatörlerinin karşılaştığı dinamik optimizasyon problemi ele alınmıştır. "Hidroelektrik santral operatörü salım yapılabilecek su miktarı ile belli zaman aralığı için beklenen enerji fiyatıyla üretime ayrılacak su miktarını ayarlamak zorundadır. Bu seçimleriyle üretilen elektriğin ekonomik değerini maksimize etmektedir" (U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center Denver, Mart 2012).

4. OPTİMİZASYON MODELİ

Optimizasyon en yüksek faydayı, çıktıyı veya genel anlamda mutluluğu ya da en düşük maliyet, atık veya memnuniyetsizliği elde ederek en iyi sonucu bulmamıza yardımcı olur. Genel olarak bu problemler para, zaman, ekipman, personel, envanter gibi kaynakların en verimli şekilde kullanımını içermektedir. Optimizasyon problemleri problem içi değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerin doğrusal olup olmamasına bağlı olarak doğrusal veya doğrusal olmayan şeklinde sınıflandırılırlar.

4.1 Su Kaynakları Sistemlerinde Optimizasyon

"Bir hazne sistemi işletilmesinde; değerlendirmeler, sistem performansının zamanla değişen mevcut su talebini karşılaması üzerinden yapılır. Bir hazne sisteminde işletmenin maksadı, kütle denge denklemleri ve diğer kısıtlar altında faydaları maksimize etmek, masrafları minimize etmek, değişken su taleplerini karşılamaktır" (Rani ve Moreira, 2009).

Optimizasyon modellemesinin su kaynakları alanında ve hazne işletilmesine uygulanması, uzun bir geçmişe dayanır. Loucks ve van Beek (2005) su kaynakları sistemlerinde optimizasyon modellerinin uygulanmasıyla ilgili önemli çalışmalarda bulunmuşlardır. Optimizasyon modellerinde girdi parametreleri, bilinmeyen karar değişkenleri ve kısıtlar gibi bileşenleri açıklamışlardır.

"Hazne sistemlerinde optimizasyon modellerinin formülasyonları üzerine çeşitli hazne fonksiyonlarına bağlı model varyasyonları üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Tipik hazne fonksiyonları; taşkın kontrolü, hidroelektrik, su getirme ve rekreasyondur" (Wurbs, 1991)

Wurbs (1991) hidroelektrik haznelerini üç tip olarak açıklamıştır.

- Farklı mevsimlerde ve hatta farklı yılara uzanan, uzun dönemli işletilebilen hidroelektrik santral hazneleri

- Hazne limitlerine veya düzenleme ihtiyaçlarına bağlı günlük akışların günlük salımlara yaklaşık eşit olduğu (eğer hazne aktif hacim içermiyorsa) nehir tipi santraller
- Enerji fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda suyun üst hazneye pompalandığı enerji fiyatlarının üst pik zamanlarında üretime olanak sağlayan pompaj biriktirmeli santraller

Yeh (1985) teknik durum değerlendirme çalışmasında hazne modelleme, doğrusal programlama, dinamik programlama, doğrusal olmayan programlama, simülasyon ve işletme modelleri örneklerini açıklamaktadır.

Labadie (2004) teknik raporunda çok hazneli optimizasyon çalışmalarına yer vermiştir. Açık ve kapalı stokastik optimizasyon, tahmin yöntemiyle gerçek zamanlı optimizasyon, sezgisel programlama yöntemlerini açıklamıştır. Modelleme teknolojileri ile genel model kullanımı arasındaki boşluğun daralacağını belirtmiş bunun zaman alacağını eklemiştir.

Rani ve Moreira (2009) hazne sistemlerinde işletme sistemlerindeki yaklaşımları araştırmışlar; klasik optimizasyon modelleri, simülasyon modellemesi, optimizasyon simülasyon birleşik optimizasyonu, evrimsel algoritma, bulanık küme teorisi ve yapay sinir ağları gibi mantıksal hesaplama yöntemlerini incelemişlerdir.

4.2 Optimizasyon Yöntemi

Çok amaçlı, çok hazneli karışık sistemlerde salımlar optimizasyon veya simülasyon modellerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Birçok optimizasyon modeli matematiksel programlama tekniklerine dayanmaktadır. Optimizasyon modelleri gerçek zamanlı işletmenin belirlenmesinin yanında hazne planlanmasında da uygulanan bir yöntemdir. Tipik hazne kısıtları arasında korunum (süreklilik) kısıtı, hazne minimum, maksimum kısıtları; salım minimum, maksimum kısıtları, cebri boru ve ekipman kısıtları yer alır.

Doğrusal programlama; esnekliği, global(genel) optimal sonuç çıktısı ve yazılım bulunabilmesi açısından en popüler optimizasyon tekniği olarak kabul görmektedir.

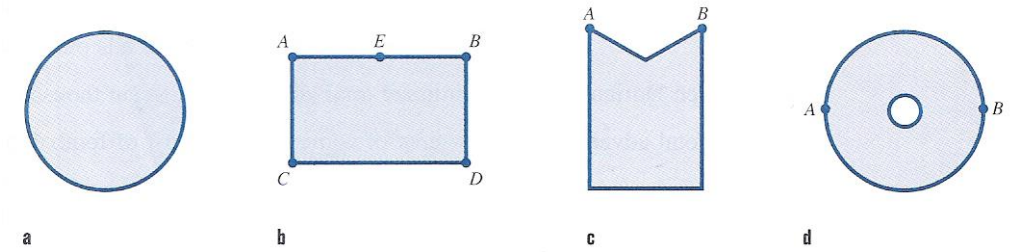
Dezavantaj olarak doğrusal konveks amaç fonksiyonu kısıtı ve doğrusal kısıt zorunluluğu gösterilebilir.

4.2.1 Doğrusal programlama

Doğrusal programlama, hazne sistemleri optimizasyon problemlerinde kullanılan en yaygın yöntemdir. Hazne sistemleri problemlerinde, optimal işletme kuralları belirlemek (Crawley ve Dandy, 1993), hazne kapasitelerini boyutlandırmak (Loucks ve ark., 1981), taşkın kontrolü (Needham ve ark., 2000), birleşik kullanım planlaması (Vedula ve ark., 2005) gibi değişik amaçlar için uygulanmıştır. Bu tekniğin ilgi çekici tarafı, büyük ölçekli problemlere uygulamadaki kolaylığı, global optimal çözüme yakınsaması ve hali hazırda LINDO, LINGO, CPLEX gibi uygun ve etkili yazılım paketlerinin erişilebilir olmasındandır (Rani ve Moreira, 2009).

DP (doğrusal programlama) için başlıca kısıt doğrusal ve konveks amaç fonksiyonları ile doğrusal kısıtlardır. Bununla birlikte bazı hazne problemlerinin doğrusal olmama durumları için parçalı doğrusal açılım yaklaşımlar (Crawley ve Dandy, 1993) ve ardışık doğrusal programlama (Mousavi ve Ramamurthy, 2000; Barros ve ark., 2003) yöntemleri kullanılarak problem çözülmeye çalışılır. Konveks olmama durumları için çift değişkenli, tamsayılı ve tamsayı karışık doğrusal programlama gibi doğrusal programlama uzantılı yöntemler denenmektedir.

Aşağıdaki şekilde konveks ve konveks olmayan durumların daha iyi anlaşılabilmesi için şekil üzerinde tanımlamalar yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Konveks ve konveks olmayan durumlar

- Şekil a: Daire çevresinde her nokta dairenin ekstrem noktasıdır. Şekil üzerinde herhangi iki noktanın birleştirilmesiyle oluşan doğru parçasının her noktası şekil üzerinde bulunduğu için şekil konveks durumdadır.

- Şekil b: A, B, C, D noktaları taranmış bölgenin ekstrem noktalarıdır. E noktası taranmış bölgenin sınırında bulunmasına rağmen AB doğrusu üzerinde yer alması nedeniyle AB doğru parçasının uç noktasında yer almaması nedeniyle ekstrem nokta değildir. Bu şekilde de şekil üzerindeki herhangi iki noktanın şekil üzerinde bulunduğu için konveks durumdadır.
- Şekil c ve şekil d konveks olmayan durumlardır. A ve B şekil üzerinde bulunsa da AB doğru parçasının şekil üzerinde bulunmayan noktaları bulunmaktadır (Winston, 2004).

4.2.2 Tam sayı-karışık doğrusal programlama

Doğrusal programlama sorunlarının modeli kurulurken bazı karar değişkenlerinin kesinlikle tamsayı değerler alması gerekir fakat DP'ye uygun olması için büyük değerler alabilecek karar değişkeninin kesirli kısmı yok sayılabilir düşüncesiyle kesirli değerler almalarına izin verilebilir. Bazı durumlarda bu varsayım kabul edilemez olabilir. Bulunacak sayısal sonucun tamsayı değerler alması gerekebilir.

Bu tip durumlardaki sorunlara tamsayılı program (TP; Integer Programming – IP) denilir ve söz konusu programların çözümü konusu tamsayılı programlama (TP) olarak isimlendirilir.

Sonlu sayıda seçenek kümesindeki seçenekler ile ilgili birçok kararın yap/yapma, evet/hayır gibi kesikli olması yüzünden Tamsayılı programlamalar sıklıkla kullanılır.

Tüm değişkenlerin tamsayı olduğu bir programlama sorunu tamamen tamsayılı programlama sorunu olarak isimlendirilir.

"Eğer değişkenlerin bazıları tamsayı, bazıları kesirli ise söz konusu sorun karma (karışık) tamsayılı programlama sorunu adını alır. Modellerde doğrusal programlama özelliklerine ek olarak karar değişkenlerinden bazıları sadece tamsayılı değerler alabilirler" (Türkay, 2013). Tam sayı-karışık doğrusal programlama global optimal çözümü tolerans sınırları içerisinde garanti olarak vermektedir (Ravindran ve ark., 1987).

Tam sayı-karışık doğrusal programlama problemlerinin çözümünde en yaygın olarak dal-sınır algoritması kullanılır (Dakin, 1965; Balas, 1965; Land ve Doig, 1960). Dal-sınır algoritması tamsayılı değişkenlerin alabileceği tamsayılar kümesindeki en

küçük ve en büyük değerler arasında herhangi bir reel sayıyı alabilecek şekilde gevşetmesiyle elde edilen problemlerin çözümü esasına dayanır.Her problemin çözümü sonucunda en iyi çözüm için bir sınır elde edilir. Ayrıca tamsayılı değer alması gereken değişkenler sistematik şekilde her problemin sonucuna göre değerlendirilerek yeni nodlar (düğümler) oluşturur. Dal-sınır algoritmasında her dal aşağıdaki durumlarda sonlandırılır:

- Tamsayılı değer alması gereken değişkenlerin tümü tamamen veya kısmen gevşetilmiş problemde tamsayılı değer alır ve bu çözüme tamsayılı çözüm adı verilerek en iyi amaç fonksiyonu değeri gerekli olursa güncellenir,
- Bir noddaki (düğümdeki) amaç fonksiyon değeri güncel olan en iyi amaç fonksiyonu değerinden daha kötüdür.
- Bir noddaki (düğümdeki) problemin çözümü kısıtlardan bazılarını sağlamamaktadır.

Bu kriterlere uyularak problem için dal-sınır ağacı oluşturulur ve tüm dallar sonlandırıldıktan sonra en iyi çözüme ulaşılır.

Tamsayı-karışık doğrusal programlama problemlerinin çözümü için diğer bir yaklaşımda ise ilk defa Gomory (1958). tarafından önerilen kesen yüzeyler kullanılır. Bu metodda tamsayılı karar değişkenlerinin gevşetilmiş doğrusal programlama problemine ardışık olarak geçerli eşitsizliklerin gevşetilmiş doğrusal programlama problemine ardışık olarak geçerli eşitsizliklerin eklenmesiyle tamsayılı çözüm elde edilmesi hedeflenir. Son yıllarda dal-sınır algoritmalarıyla kesen yüzeyler metodlarının birleştirilmesi yönünde yapılan çalışmalarda çözümü zor olan tamsayı karışık doğrusal programlama problemlerinde başarılı olunmuştur. Bu kapsamda yapılan gelişmeler Johnson ve çalışma arkadaşları (2000) tarafından özetlenmiştir.

4.2.3 Optimizasyon modeli programlamada Lingo

Lingo, Lindo Systems Inc. Şirketi tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayılı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir eniyileme yazılımı ve modelleme dilidir. Optimizasyon çalışmalarında kullanım kolaylığı, kolay ulaşılabilen bir yazılım olması ve model dilinin kolay anlaşılabilir olmasından dolayı sıkça tercih edilen bir programdır.

Herhangi bir matematiksel modelin Lingo formatında açık olarak yazımı basit olarak aşağıdaki şekildedir.

- MODEL:
- MIN (veya MAX) = amaç fonksiyonu
- Kısıt 1;
- Kısıt 2;
- …
- Kısıt n;
- END

Programda, veri depolama ve işlemede etkili Microsoft'un Excel programına veri aktarılabilmesi ve programdan veri alınabilmesi ayrı bir avantaj olarak gösterilebilir.

Modelde öncelikle verilerin doğru bir biçimde ve eksiksiz girildiğinden emin olmak gerekir. Model kurulumunda amacın veya amaçların neler olduğuyla ilgili tespitlerin yapılması çok önemlidir. Hedeflerin değişmesi model formülasyonlarının değişmesine yol açar. Bu da doğrudan doğruya optimizasyon probleminde çözüm yöntemini değiştirebilmektedir.

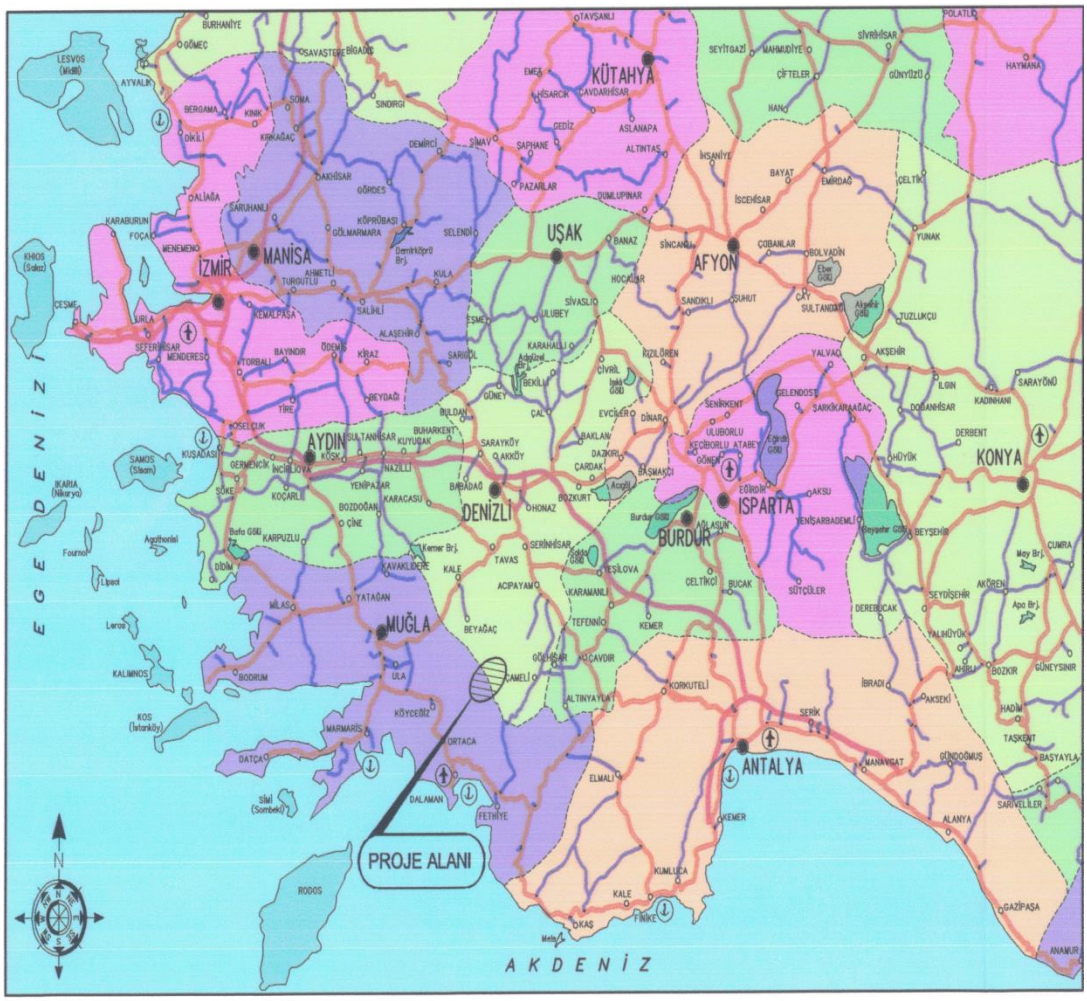
5. UYGULAMA

5.1 Sami Soydam Baraj Özellikleri

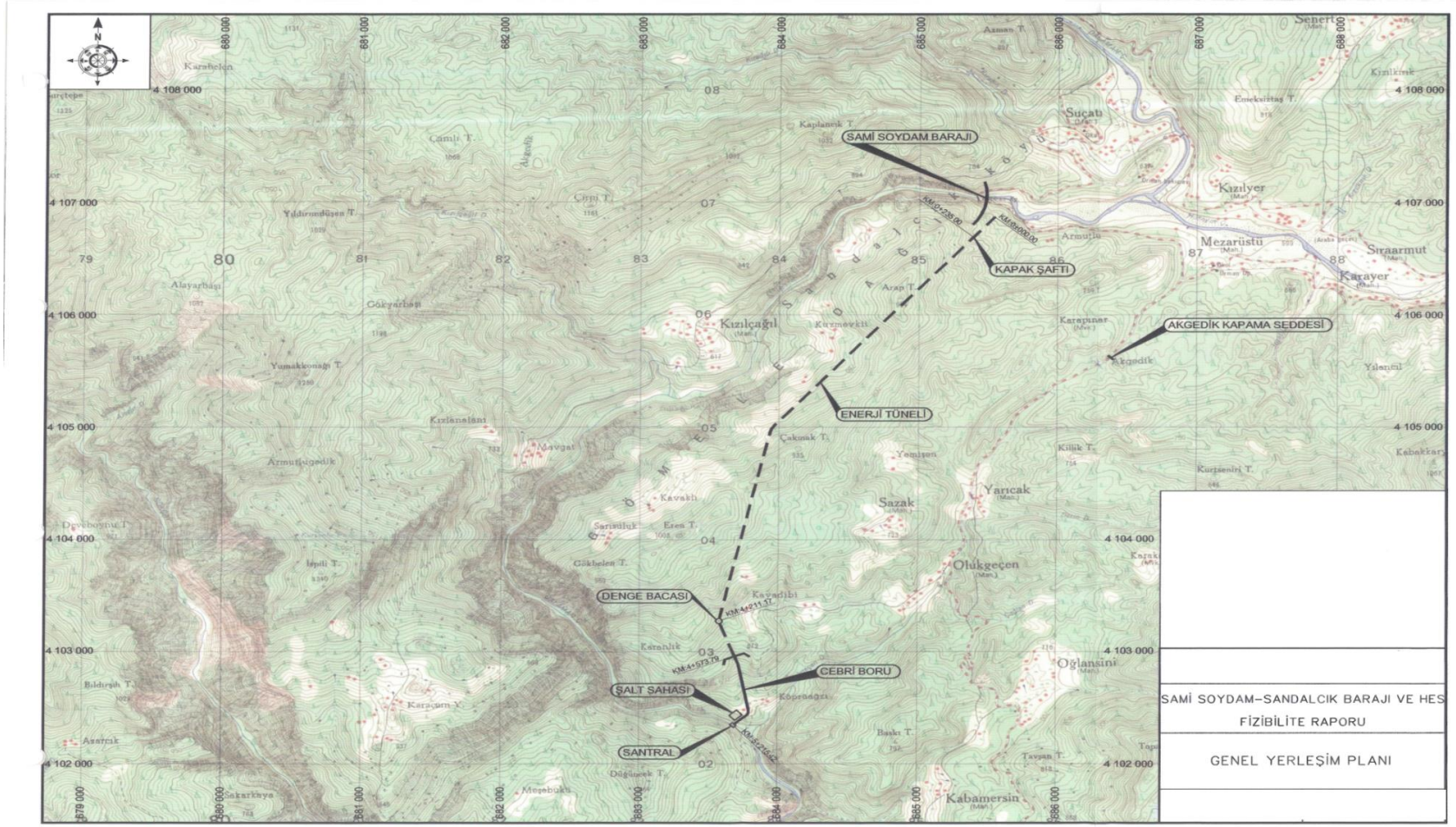
Baraj Muğla İli Dalaman İlçesi'nin kuş uçuşu 45 km, santral yeri ise 40 km kuzeydoğusunda, Denizli İli Acıpayam İlçesi'nin ise kuş uçuşu 45 km ve 50 km güneybatısında Dalaman Çayı üzerinde yer almaktadır. Proje sahası 37° 04' - 37° 45' kuzey enlemleri ve 29° 00'- 30° 00' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Proje, Dalaman Çayı'nın 680,0 m ile 380,0 m kotları arasında kalan düşüsünün değerlendirilmesi amacı ile planlanmıştır.

Sami Soydam Barajı ve HES projesi kapsamında yer alan ana tesisler; baraj ve yardımcı yapıları, enerji tüneli, denge bacası, vana odası, cebri boru, hidroelektrik santral ve şalt sahasıdır. Eğik kil çekirdekli kaya dolgu tipinde tasarlanan Sami Soydam Barajı'nın yüksekliği talvegten 108,0 m, temelden 110 m'dir. Baraj rezervuarında depolanan sular, su alma yapısından sonra 4,00 m çapında bir tünel ile santrale iletilmektedir. Su alma yapısından sonra, Km: 0+000'dan tünel çıkışına kadar toplam uzunluk yaklaşık 4575 m'dir. Km: 4 + 211,17'de yer alan denge bacasının iç çapı 6,0 m, üst salınım odasının iç çapı ise 25 m'dir. Alt salım odası ise modifiye atnalı kesitli olup 50 m uzunluğundadır. 2 adet Francis tip türbin ile üretim yapmaktadır. Santral 124 MW gücünde olup, 2 adet 62 MW gücünde düşey eksenli Francis tipi ünite ile donatılmıştır. (Sami Soydam HES Fizibilite Raporu, 2005)

Baraj fizibilite raporlarına göre baraj yerinde yıllık ortalama akım 690 hm3'tür. Optimizasyon çalışmaları sonucunda belirlenen 124 MW'lık kurulu güçte maksimum su seviyesinde türbinlenen debi 50,3 m^3/s olmaktadır. Santralda, 200,7 GWh'i güvenilir olmak üzere yılda toplam 372,9 GWh enerji üretilecektir.



Şekil 5.1 : Barajın Türkiye'deki yeri (HES fizibilite raporu, Mart 2005).



Şekil 5.2 : Barajın genel yerleşim planı (HES fizibilite raporu, Mart 2005).

Su Yılı	Aylar												Yıllık Toplam (hm^3/yıl)
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1964	26,48	29,47	38,38	32,13	35,94	49,91	30,97	23,16	17,84	11,91	9,18	11,01	316,38
1965	15,80	18,11	43,40	52,59	124,59	142,71	153,21	106,82	33,63	21,43	12,53	13,81	738,64
1966	28,00	33,04	82,62	259,46	151,61	146,03	131,10	62,69	24,78	17,71	12,79	21,39	971,23
1967	29,38	32,19	110,68	103,41	75,37	82,02	98,09	80,11	30,89	22,47	11,91	24,10	700,61
1968	25,31	37,41	63,37	221,95	209,34	277,31	175,83	69,00	33,26	20,97	13,27	21,15	1168,18
1969	33,77	50,62	96,84	193,92	170,57	168,80	133,74	89,33	35,26	23,43	16,74	16,25	1029,28
1970	32,28	37,29	149,71	172,75	161,56	199,81	135,16	62,43	21,41	18,62	12,33	18,41	1021,76
1971	39,71	53,89	65,49	84,32	100,55	177,95	138,05	69,27	31,55	19,30	17,50	22,01	819,60
1972	30,45	38,76	46,66	43,55	60,09	81,69	56,97	31,16	22,51	12,60	11,22	13,14	448,81
1973	22,13	32,28	30,12	32,14	73,62	83,82	48,77	23,44	11,51	11,74	9,38	10,34	389,29
1974	18,20	18,91	29,31	27,28	43,71	70,23	43,02	20,98	10,70	8,72	11,00	12,01	314,07
1975	15,91	22,92	44,24	56,94	56,27	72,98	61,46	53,81	20,45	13,04	12,48	9,96	440,46
1976	18,53	34,31	51,57	54,05	79,10	83,14	95,32	57,83	21,20	13,53	8,87	10,38	527,82
1977	28,48	33,60	160,40	72,37	72,71	79,48	63,74	38,76	12,80	9,78	6,21	12,27	590,61
1978	24,32	20,91	35,39	130,32	241,22	158,50	135,99	49,61	20,38	11,50	9,32	7,36	844,80
1979	28,11	32,73	70,85	179,33	187,60	94,64	52,39	30,10	31,18	16,61	10,78	10,11	744,43
1980	24,49	66,66	83,06	249,67	135,78	140,16	137,34	86,00	25,15	23,25	19,37	20,12	1011,05
1981	19,95	51,02	63,17	221,51	138,98	242,29	135,79	78,21	27,69	16,35	17,68	13,68	1026,29
1982	20,56	41,82	271,09	147,90	108,87	140,07	114,91	52,88	39,52	24,50	21,59	21,22	1004,93
1983	38,71	39,99	94,87	102,51	139,08	195,72	207,46	88,91	57,24	38,48	15,83	18,71	1037,52
1984	25,45	52,24	154,37	167,21	190,04	225,07	188,63	69,43	25,64	15,48	10,99	12,89	1137,44
1985	16,56	35,44	35,99	130,14	117,25	123,43	96,51	32,29	20,58	7,38	4,41	5,30	625,28
1986	24,36	35,80	43,18	115,54	133,66	85,11	43,21	18,98	11,72	9,38	11,37	10,16	542,47
1987	11,93	17,32	36,81	103,24	67,33	106,89	96,36	55,70	18,58	10,64	6,13	6,56	537,49
1988	10,79	24,02	37,75	28,72	49,66	123,77	111,97	42,59	14,51	8,87	6,84	7,99	467,48
1989	13,56	67,37	80,28	36,77	28,33	37,67	16,40	11,30	10,30	8,66	7,60	7,72	325,96
1990	19,44	31,13	40,93	26,52	34,29	32,51	18,92	16,62	8,13	6,18	4,26	4,85	243,77
1991	8,96	10,31	39,15	24,11	21,45	24,04	20,27	13,90	10,48	2,33	5,26	2,96	183,22
1992	11,55	17,20	27,15	20,11	16,31	27,31	45,14	21,29	7,08	4,36	13,97	5,50	216,97
1993	6,12	10,91	18,28	20,14	40,87	50,71	41,23	31,90	7,26	9,25	8,46	0,52	245,65
1994	21,90	36,95	46,50	62,56	66,55	89,45	70,59	31,12	6,66	3,72	3,05	6,45	445,50
1995	18,24	50,36	47,66	71,87	47,12	74,91	42,75	14,44	0,50	3,60	13,51	14,60	399,56
1996	13,38	27,22	32,00	33,22	60,57	47,99	36,67	14,04	6,97	1,97	1,89	5,35	281,27
1997	14,07	17,81	53,12	39,88	33,85	43,35	55,52	16,35	9,51	3,21	1,81	0,52	289,00
1998	14,86	25,60	67,96	50,15	90,51	88,94	81,74	27,57	11,22	4,48	1,54	5,26	469,83
1999	16,76	24,91	80,35	106,75	182,66	131,15	99,68	26,92	36,62	16,96	15,76	12,94	751,48
2000	15,12	16,17	26,09	36,58	38,89	41,85	50,55	21,35	2,70	2,78	5,38	13,85	271,32
2001	7,16	11,05	24,90	29,66	32,19	25,96	26,66	20,18	4,31	4,03	4,33	3,54	193,97
2002	13,89	23,23	114,46	80,73	59,38	78,97	90,14	61,01	24,60	22,26	17,83	36,56	623,05
2003	21,12	28,64	33,28	59,73	135,22	102,16	95,65	42,49	30,85	18,55	16,45	18,18	602,33
Ort.	20,64	32,24	66,79	92,04	95,32	106,21	86,95	44,10	19,93	13,00	10,52	12,23	599,97

Şekil 5.3 : Sami Soydam Barajı giriş akımları: 8-103 AGİ akışyukarı tam developman çıkışı ve (8-74 AGİ ile 8-103 AGİ ara havza doğal akımları şeklinde hesaplanmıştır (HES fizibilite raporu, Mart 2005).

Bu çalışmada hidroelektrik santral işletmelerinde serbest piyasa koşullarının da etkisiyle ekonomik kaygılarla işletilmesi konusu ele alınmış, belirlenen işletme modeliyle Muğla İli Dalaman İlçesinde bulunan Sami Soydam Barajı fiziksel özellikleri ele alınarak tek maksatla ve tek hazne göz önüne alınarak çeşitli senaryolar altında günlük olarak işletilmiştir. 1964 Ekim-2002 Ekim tarihleri arası düzeltilmiş baraj aksı istasyon akım girdileri ile 2010 Ekim-2012 Ekim yılları SGÖF (sistem gün öncesi fiyatları) ardışık dizilerek işletme senaryosu oluşturulmuştur.

Santral 124 MW kurulu güce sahip olup iki adet 25,15 m^3/s kapasiteli 62 MW gücünde düşey eksenli Francis tipi ünite ile donatılmıştır. Santralin baraj gövdesine olan uzaklığı 4,5 km'dir. Üretim debisinin bu hat boyunca ekosisteme katkısı olmayacağından baraja özgü bu durum için sürekli olarak can suyu salımı (1,901 m^3/s) yapılmıştır. Örnek çalışmalardan yola çıkarak uygun bir optimizasyon modeliyle bu senaryolara bağlı hazne durumları ile hidroelektrik santralin elde ettiği ekonomik getiri sonuçları incelenmiştir. Senaryolarda 39 senelik model, 20 sene ve 19 senelik iki parçalı model ve sırasıyla 9, 10, 11, 9 senelik 4 parçalı modeller oluşturulmuştur. Başlangıç ve bitiş koşulları için dolu-dolu bitiş, yarı dolu, boş-boş gibi senaryo varyasyonları denenmiş buna bağlı hazne hacimlerinin seyiri ve ekonomik getirileri incelenmiştir. Bunlarla birlikte bir sene süreli işletme senaryoları eklenmiştir. Bu süreler için baraj aksında bulunan akım girdilerinin ölçüldüğü ilgili istasyon verilerinin minimum su girdi ortalamasına sahip (2000-2001) su yılı, maksimum su girdi ortalamasına sahip (1967-1968) su yılı ile, düşük enerji fiyat ortalamasına sahip (2010-2011) su yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamasına sahip (2011-2012) su yılları için kombinasyonlar denenmiştir. Santralin mevcut su girdisiyle tam kapasite çalışabileceği gün sayısı gözönüne alındığında optimizasyon çalışmaları sonucunda %80'in üzerinde tam kapasite çalışma oranı görülmüştür. Senelik modellerin dışında bahsedilen uzun modellerde bu oran %97 seviyelerine çıkmıştır.

Model için önce doğrusal programlama ile yola çıkıldıysa da çözüm için türbin verim kaygısı nedeniyle türbin kapasite kullanımının %40'ın altına düşmesine izin verilmeyip tam sayı karışık doğrusal programlama yöntemine başvurulmuştur.

5.2 Baraj Giriş Akımları ve Enerji Fiyatları

5.2.1 Baraj giriş akımları aylık ortalamaları

Baraj giriş akımları aylık ortalamaları ile bu ortalamaların eğilim çizgileri çizilmiştir. Su yılı başlangıcı ekim ayı olarak kabul edildiğinden, 1964 senesi ekim ayından başlayarak 2002 senesi ekim ayına kadar ortalama aylık akımlar değerlendirilmiştir.

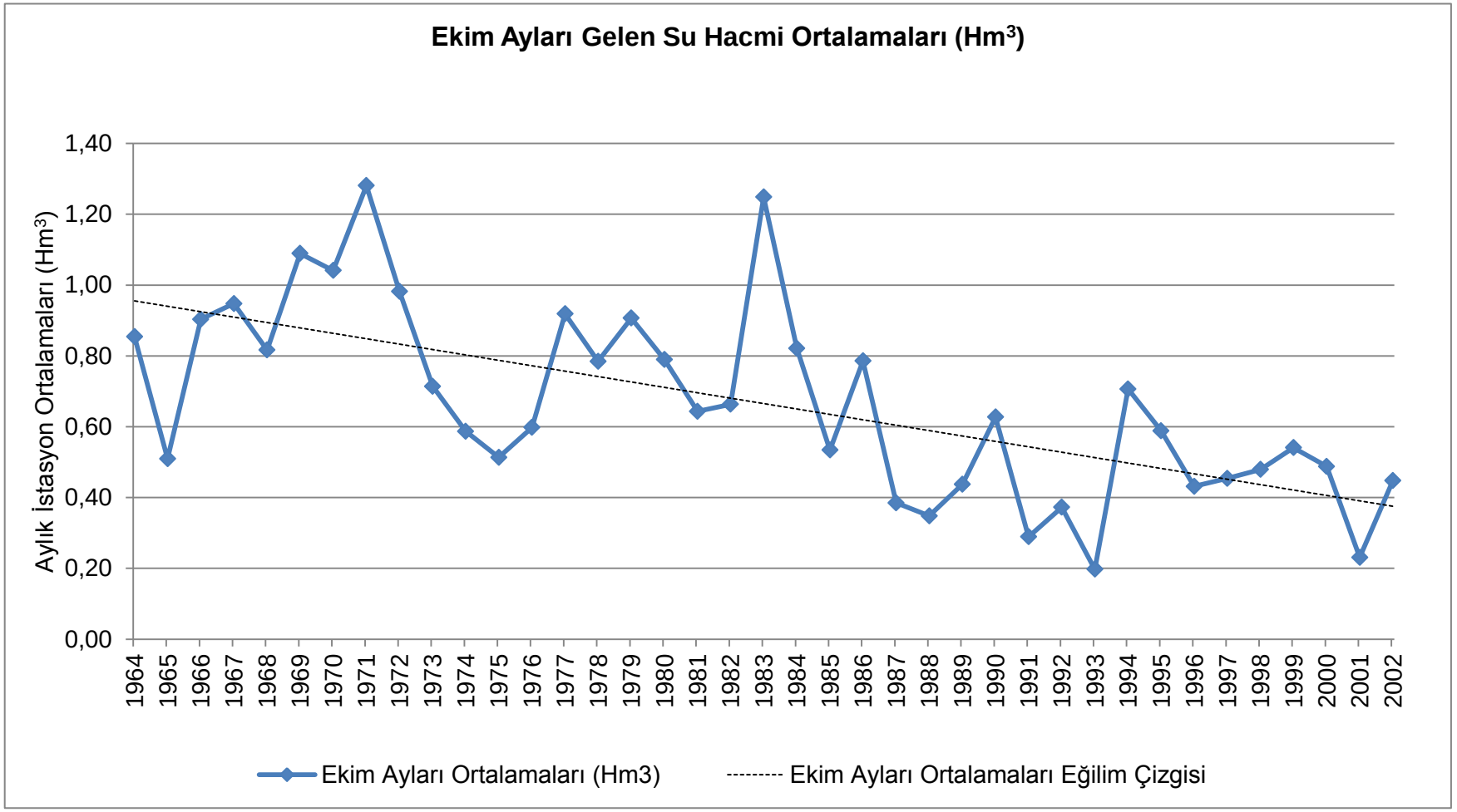
Baraj projelendirilmesinde kullanılan akımlar barajın fizibilite raporundan aynen alınarak senaryo için günlük ortalama değerlere dönüştürülmüştür. Çeşitli senaryolar için en kurak ve en sulak yıllar ele alınarak ayrıca değerlendirmeler yapılmıştır.

Baraj giriş akımları incelendiğinde minimum su girdi ortalamasının 2000-2001 su yılı, maksimum su girdi ortalamasının 1967-1968 su yıllarında olduğu görülmüştür.

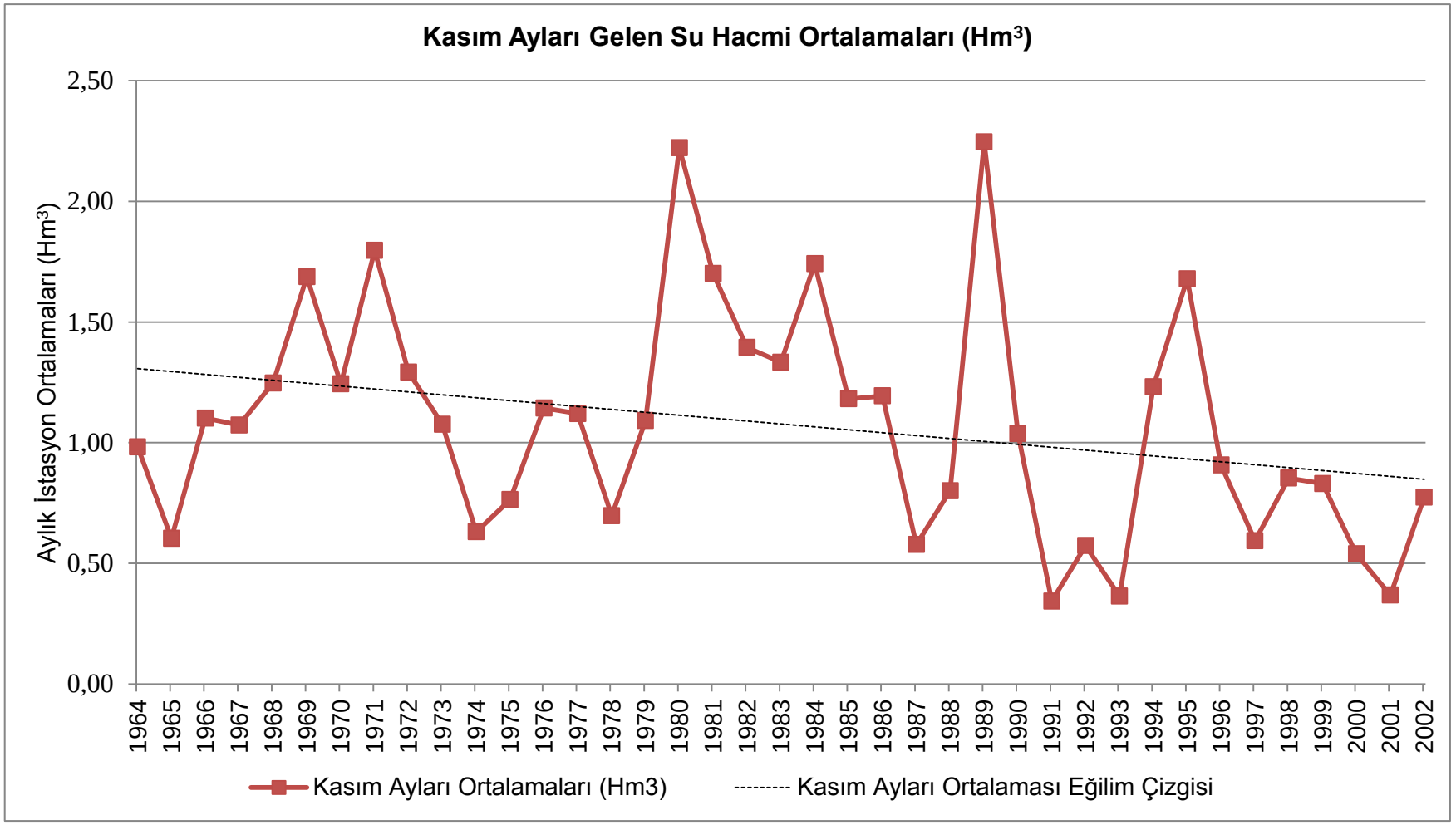
Şekil 5.4-5.15 sırasıyla Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında ilgili baraja gelen su hacim miktarlarını gösteren grafiklerdir.

Eğilim çizgileriyle 1964 senesinden 2002 senesinin sonuna kadar baraj giriş akımlarında azalma olduğu açıkça görülmektedir. Modellerin sonuçlarında bu düşüşün işletmeyi elektrik üretimi ve ekonomik getiriler bakımdan olumsuz etkilediği görülecektir. Aylık ortalamalar ve yıllık ortalamalar incelendiğinde trendin düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir.

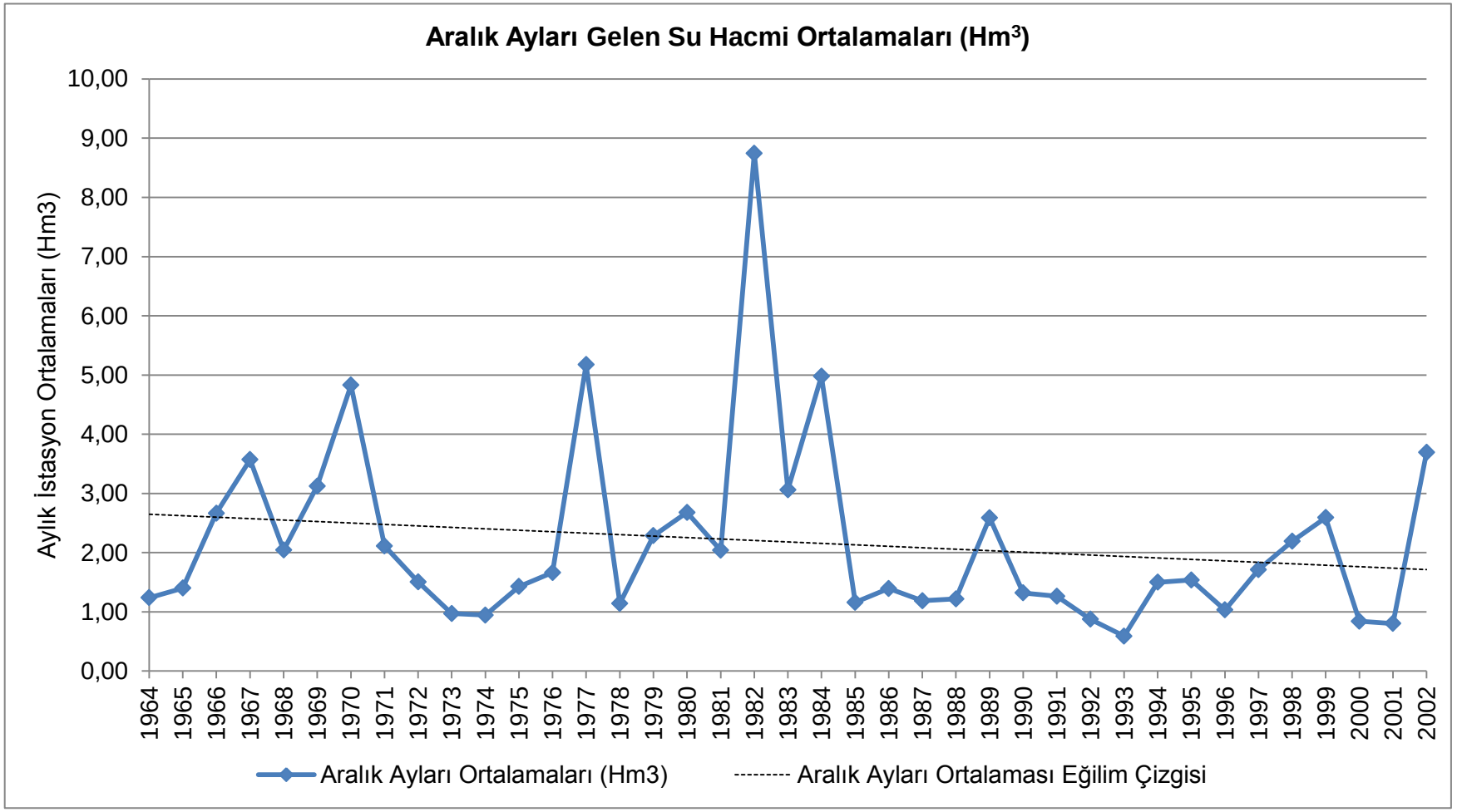
Senaryolarda iki ve dört parçalı modeller ayrı ayrı incelenmiş en kurak dilimin dört parçalı modelde 1984-1994 senelerine tekabül eden dilimin en kurak, 1964-1974 senelik dilimlerin en sulak dönemler olduğu görülmüştür. İki parçalı modelde ise 1964-1984 senelerine takabül eden ilk 20 senelik dilimin daha sulak dönem olduğu açıkça görülmektedir.



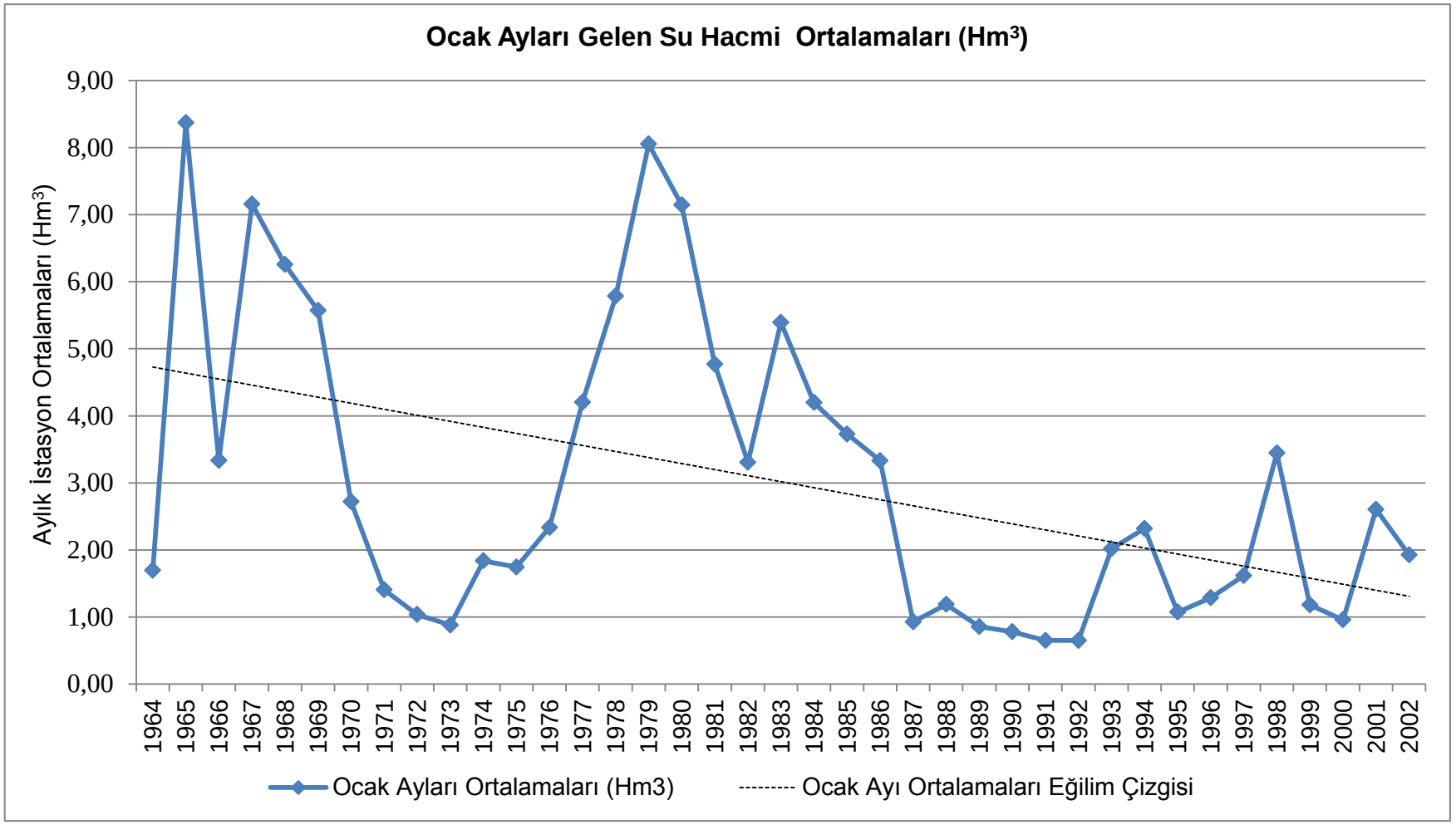
Şekil 5.4 : Baraj Giriş Akımları Ekim Ayları Ortalamaları.



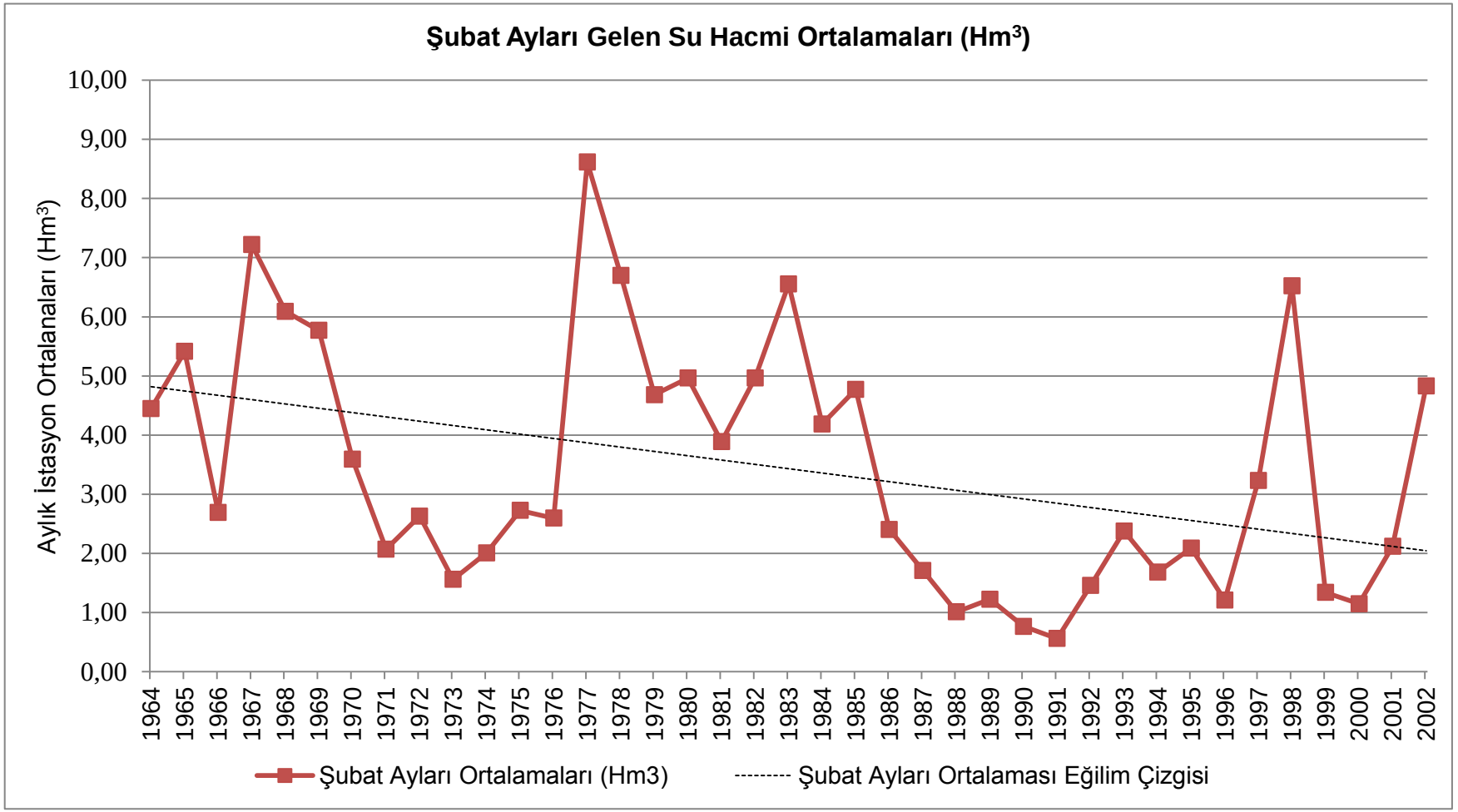
Şekil 5.5 : Baraj Giriş Akımları Kasım Ayları Ortalamaları.



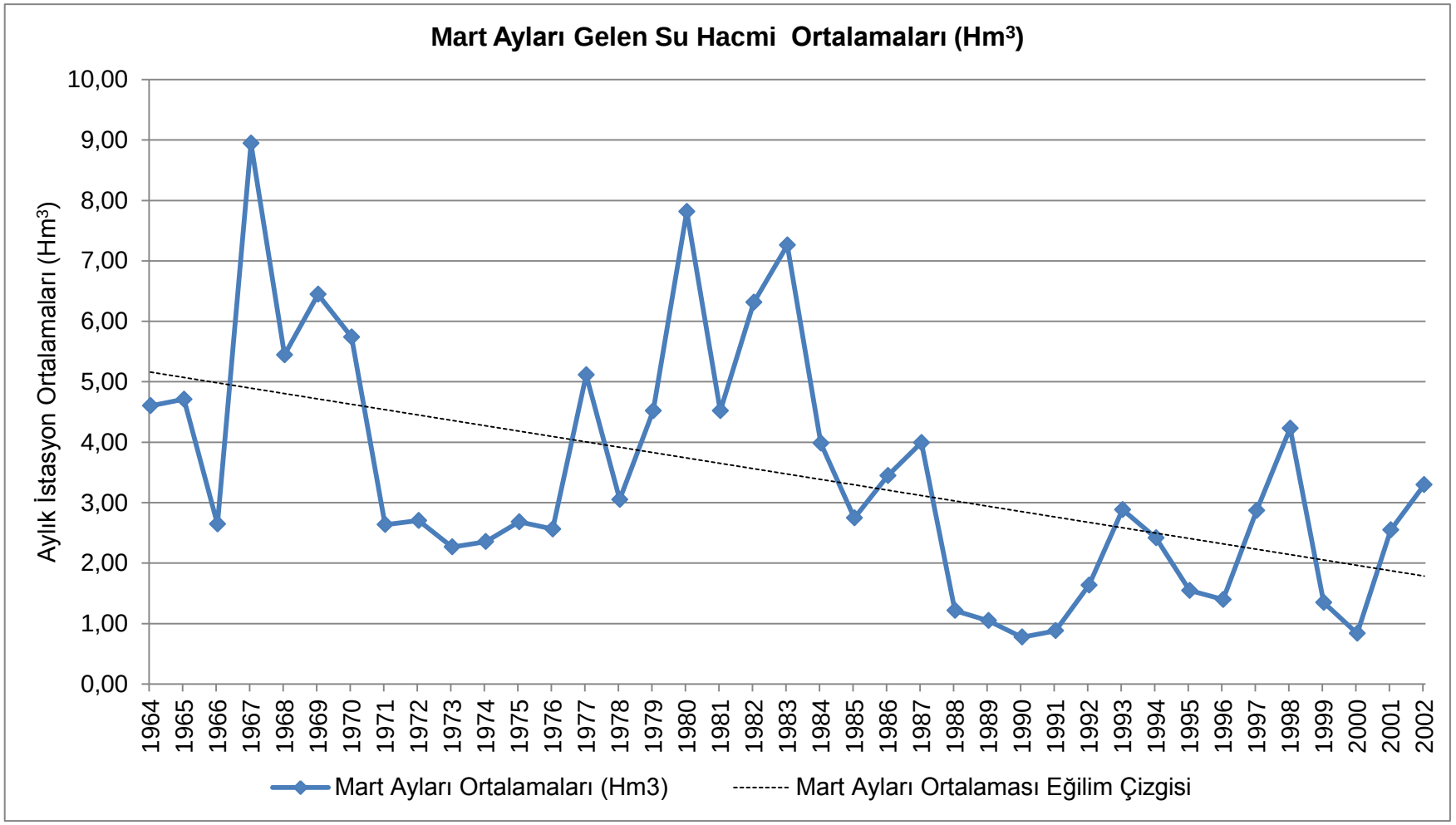
Şekil 5.6 : Baraj Giriş Akımları Aralık Ayları Ortalamaları.



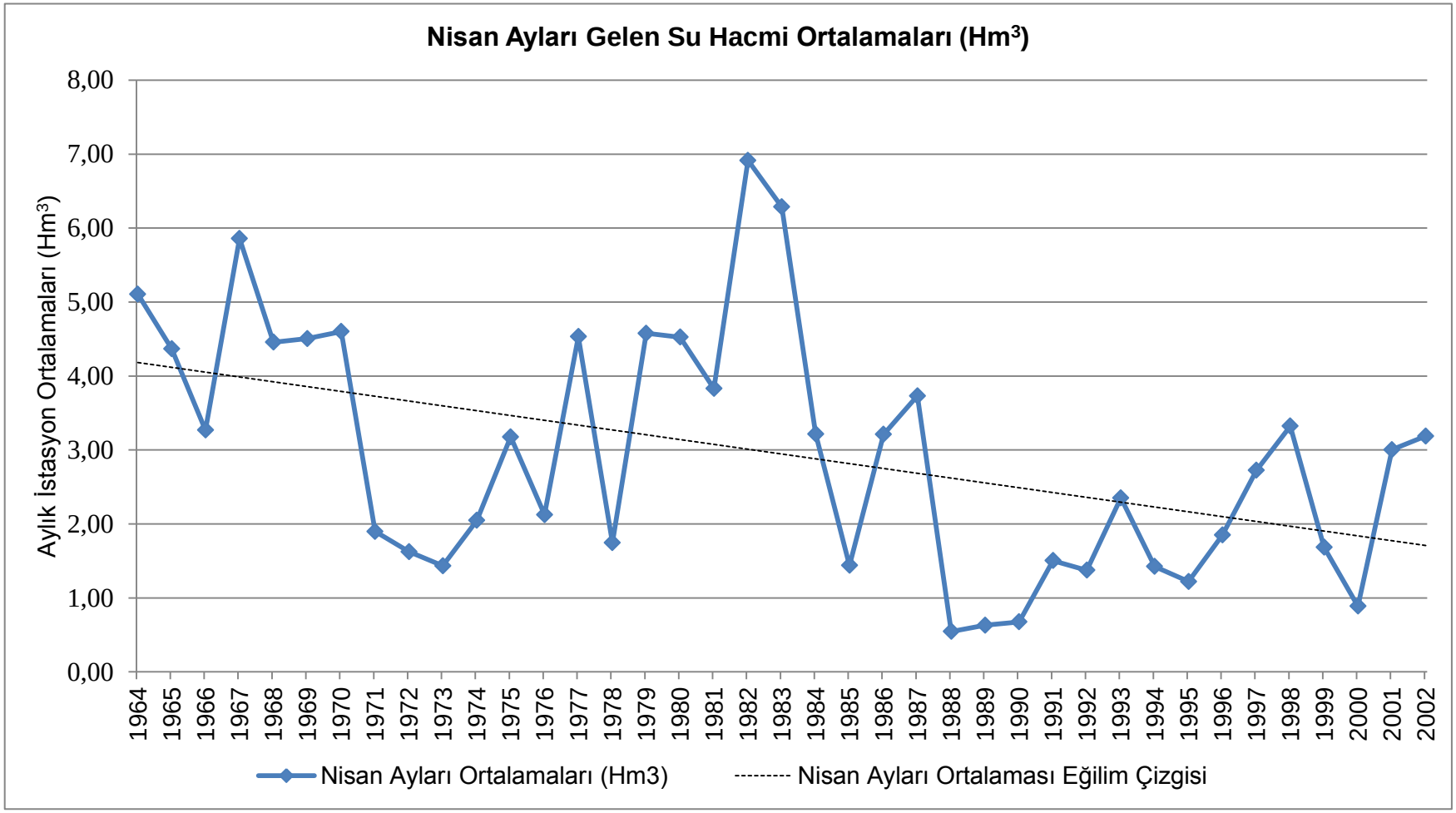
Şekil 5.7 : Baraj Giriş Akımları Ocak Ayları Ortalamaları.



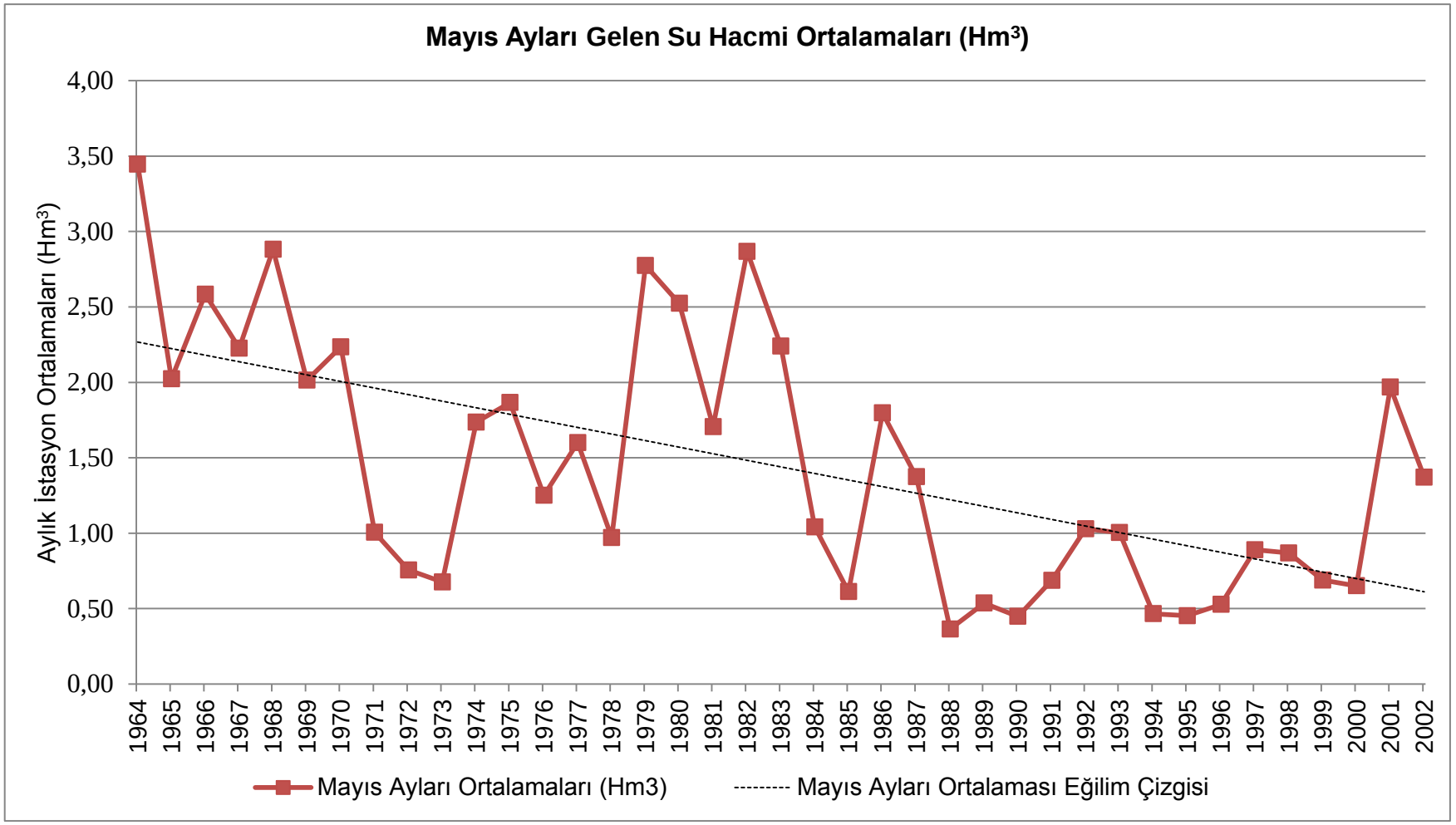
Şekil 5.8 : Baraj Giriş Akımları Şubat Ayları Ortalamaları.



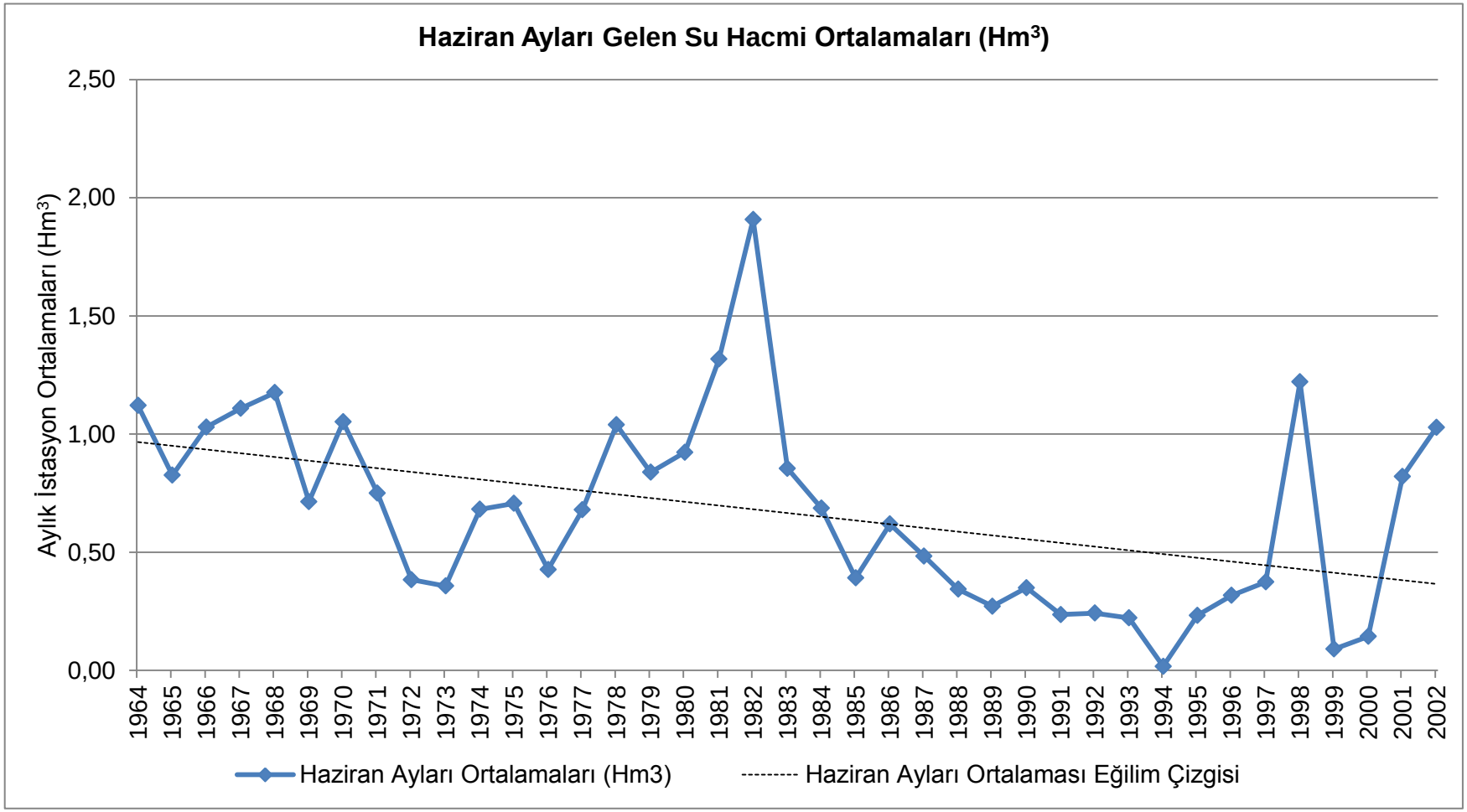
Şekil 5.9 : Baraj Giriş Akımları Mart Ayları Ortalamaları.



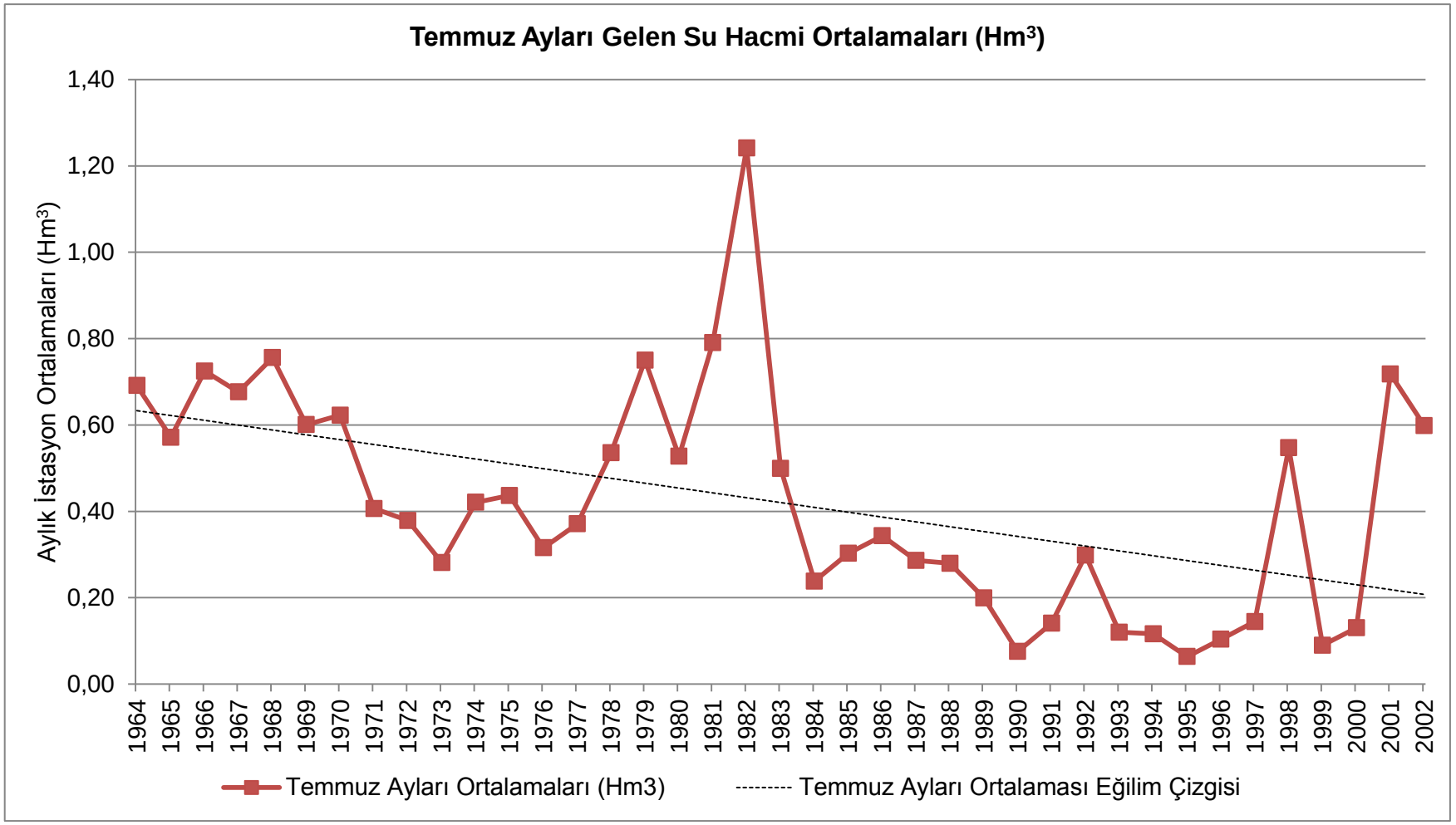
Şekil 5.10 : Baraj Giriş Akımları Nisan Ayları Ortalamaları.



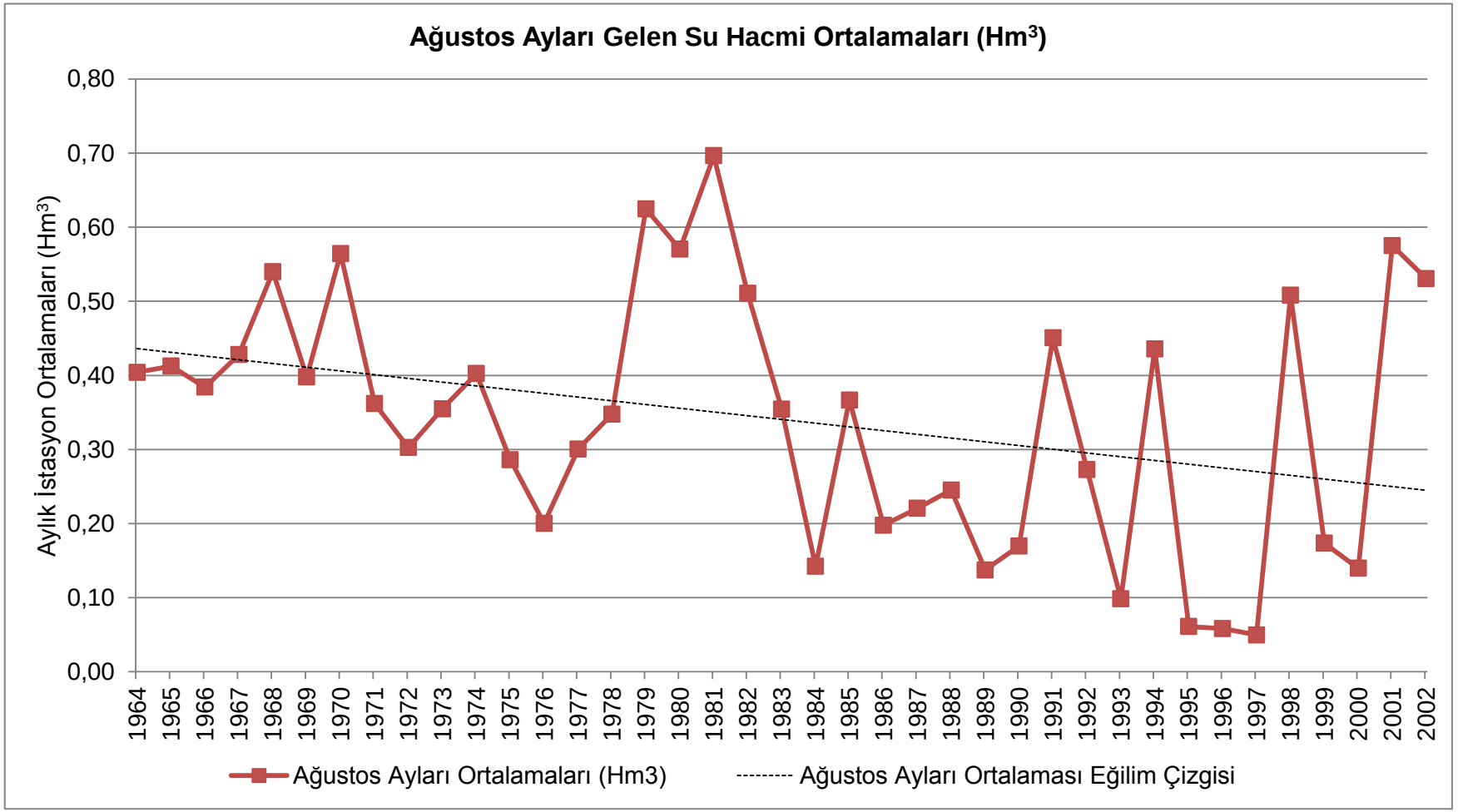
Şekil 5.11 : Baraj Giriş Akımları Mayıs Ayları Ortalamaları.



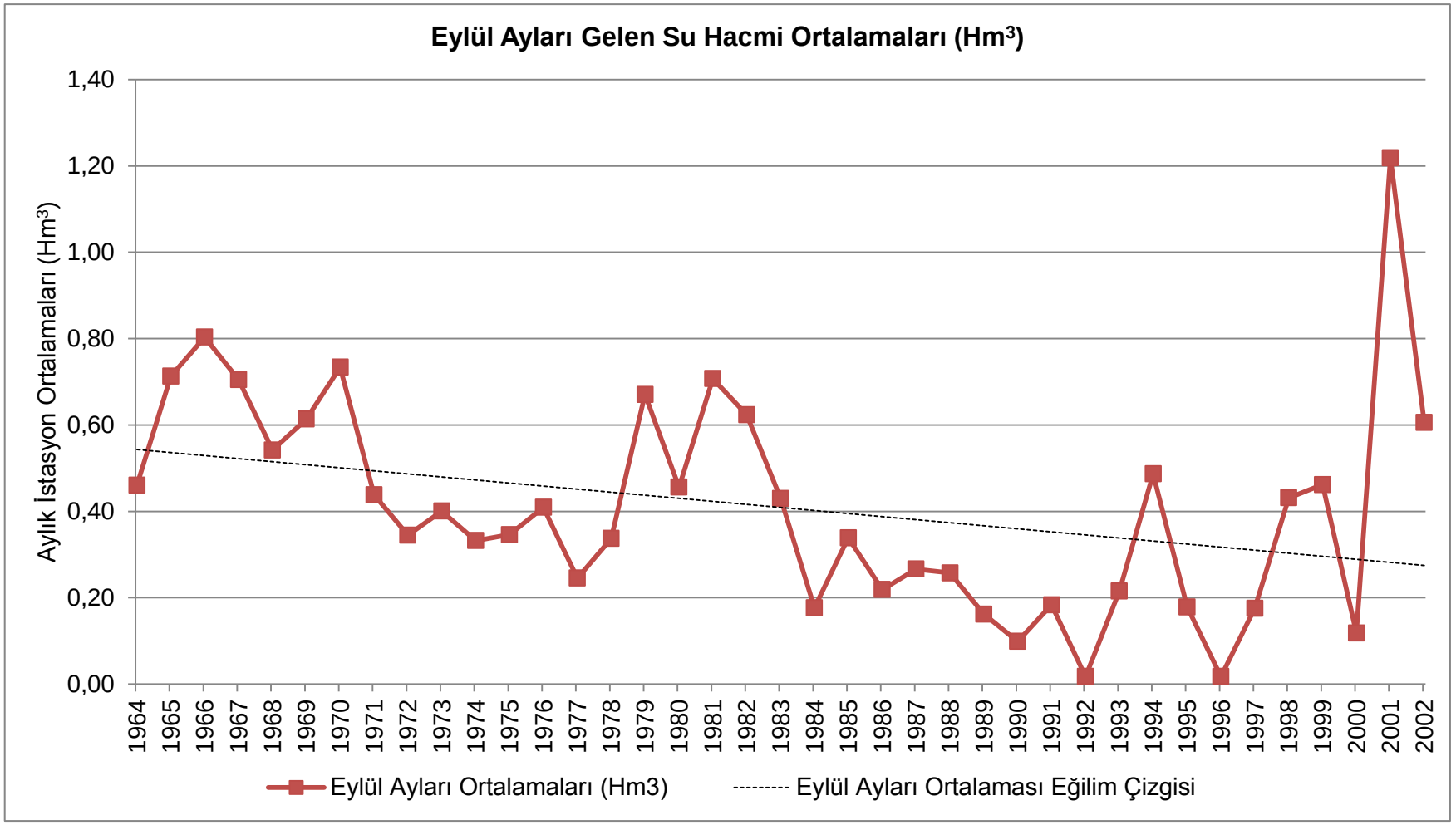
Şekil 5.12 : Baraj Giriş Akımları Haziran Ayları Ortalamaları.



Şekil 5.13 : Baraj Giriş Akımları Temmuz Ayları Ortalamaları.



Şekil 5.14 : Baraj Giriş Akımları Ağustos Ayları Ortalamaları.



Şekil 5.15 : Baraj Giriş Akımları Eylül Ayları Ortalamaları.

5.2.2 Baraj giriş akımları yıllık ortalamaları ve enerji fiyat senaryosu

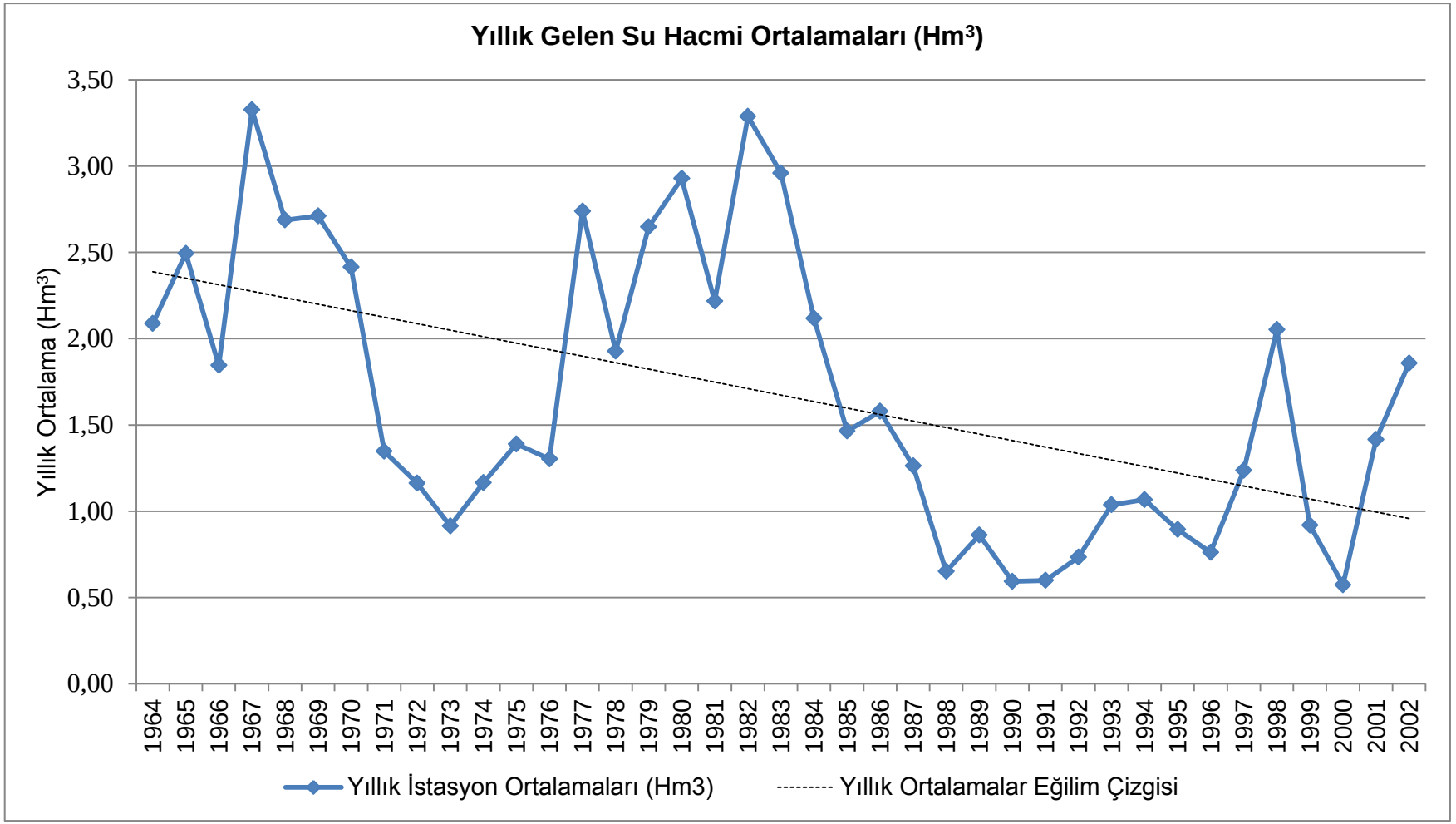
Modelde ilgili baraja ait 1964 senesinden başlayarak 2002 senesine kadar olan düzeltilmiş aylık istasyon akımları kullanılmıştır. Baraj projelendirilmesinde kullanılan akımlar barajın yapılabilirlik raporundan aynen alınarak senaryo için günlük ortalama değerlere dönüştürülmüştür. Çeşitli senaryolar için en kurak ve en sulak yıllar ele alınarak ayrıca değerlendirmeler yapılmıştır.

Şekil 5.16'da ilgili baraja gelen su hacim miktarlarının yıllık ortalama hacim miktarları gösterilmektedir. Eğilim çizgileriyle 1964 senesinden 2002 senesinin sonuna kadar aylık ortalamalarla uyumlu şekilde yıllık ortalamalarda da baraj giriş akımlarında düşüş olduğu açıkça görülmektedir. Modellerin sonuçlarında bu düşüşün işletmeyi elektrik üretimi ve ekonomik getiriler bakımdan olumsuz etkilediği görülecektir.

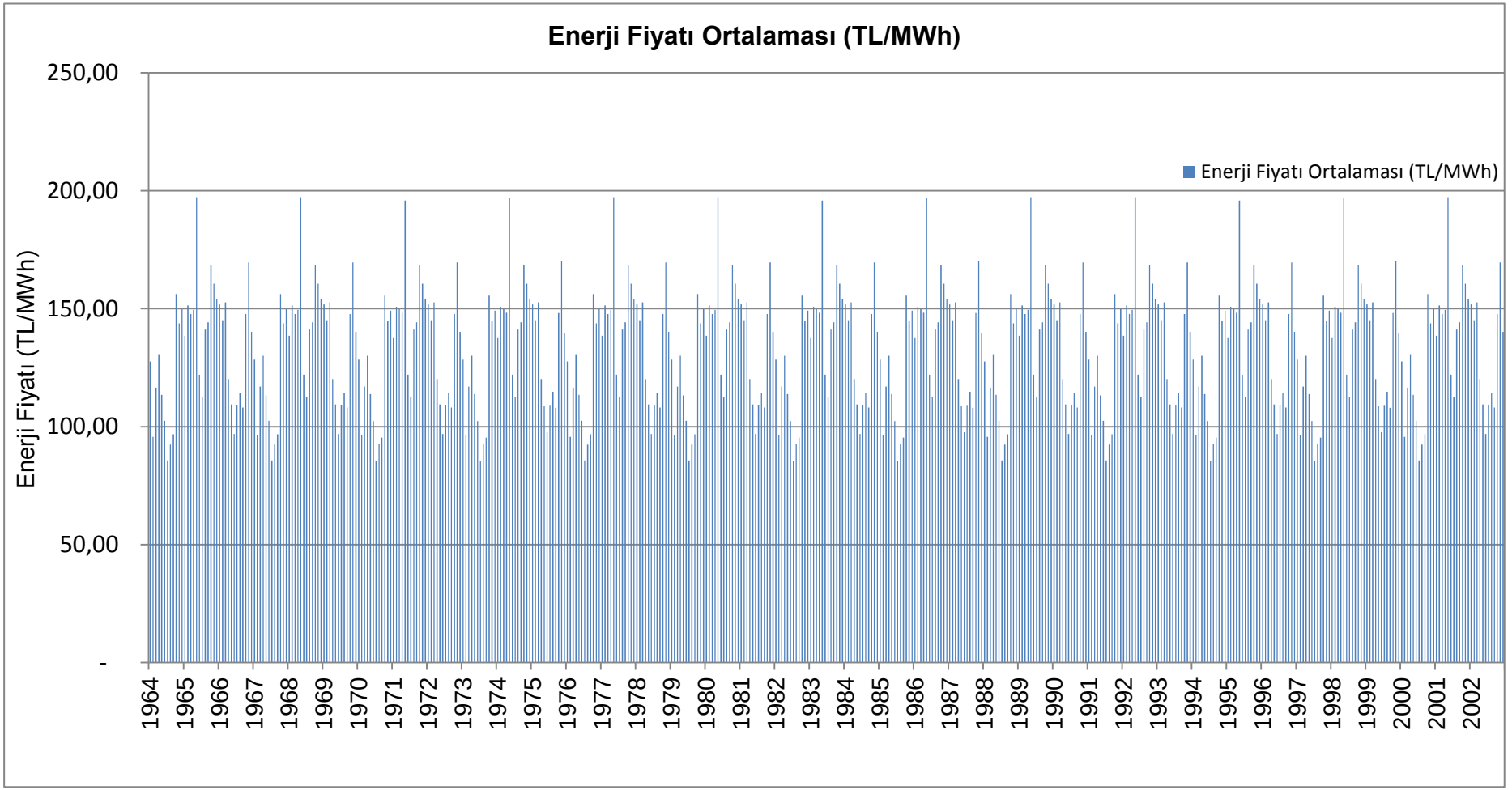
1628 sayılı kanunun 3 Mart 2001 tarihinde yürürlüğe girmesiyle birlikte ülkemizde elektrik enerjisi sektöründe rekabete dayalı ve işleyen bir piyasanın işlemesine oluşturulmasına yönelik önemli adımlar atılmış sektörde faaliyet gösteren kamu kuruluşları yeniden yapılandırılmış, sektörde serbestleşmeyi temin edecek piyasa kuralları uygulanmaya başlanmıştır.

Şekil 5.17'de senaryoda 2010-2012 serbest piyasa koşullarıyla oluşmuş enerji fiyatlarının ardışık dizilmesiyle oluşturulan fiyat senaryosu gösterilmektedir. Fiyatların senaryo genelinde üç yıl tekerrürle tüm senaryo için çok fazla değişiklik göstermemesi hazneye su girişinin model sonuçları üzerindeki etkisini daha anlaşılır kılmıştır.

Ekonomik getirinin sonuçlar üzerinde etkisinin araştırılabilmesi bakımından senaryolardaki fiyatlar ve su girdisi verilerinin ayrı ayrı sabit tutularak sonuçlar üzerindeki etkileri görülebilir. Elde edilen verilerin çeşitliliğine göre farklı senaryolar ve farklı işletme zaman aralıkları kullanılabilmektedir. Bu açıdan verilerin birbiriyle uyumlu olması ve sonuçlarda istenen detaylar işletme zaman aralıklarını belirlemektedir. Genelde ülkemizde akım gözlem istasyonlarından uzun dönem veri kaydı elde edilememektedir. Bölgede bulunan diğer istasyon verileri yardımıyla iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.



Şekil 5.16 : Baraj Giriş Akımları Yıllık Ortalamaları.



Şekil 5.17 : Senaryo için oluşturulan enerji fiyatları 2010-2012 SGÖF fiyatlarının ardışık dizilmesiyle oluşturulmuştur.

6. OPTİMİZASYON MODELİ

Bu çalışmada, bir hidroelektrik santralin zamana bağlı optimizasyon yöntemi ile işletme politikası belirlenmiştir. Sami Soydam Barajı fiziksel özelliklerinin yanında barajın memba kısmı istasyon (su girdi) verileri ile 2009-2012 yılları arasındaki saatlik gün öncesi fiyatları (SGÖF) ardışık dizilerek 39 su yılı içinde aşağıda anlatılacak birden fazla senaryo çeşitli başlangıç bitiş koşullarında incelenmiştir.

Senaryo gereği enerji fiyatlarının kesin olarak bilindiği varsayılmıştır (Şekil 5.17). Su miktarı için ise ilgili hidroelektrik santralin memba tarafı istasyonundan elde edilen düzeltilmiş ölçüm verilerinden yararlanılmıştır (Şekil 5.3). Barajın fiziksel özelliklerinin yanında sözkonusu verilerin matematiksel formülasyonlarla ifade edildiği optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Model tek baraj için işletme politikasındaki kararların sonuçlarını görmek ve yorumlayabilmek amacıyla farklı senaryolar için çalıştırılmıştır. Optimizasyon modeli mümkün olabilecek çevresel veya hidroelektrik faydaların görülebilmesinin yanında salım kararlarının aranmasına ve belirli amaçlar için en iyi işletme kararlarının belirlenebilmesine olanak sağlar.

Bu modeller sayesinde su işletmecileri çeşitli senaryolar ile elde edilen ekonomik verileri görebileceklerdir. Çalışmada santral haznesi başlangıç ve bitiş koşulları, su girdilerinin zamana bağlı değişimleri ve enerji birim fiyatlarının barajın ekonomik getirisi üzerindeki etkileri görülmüştür.

Modele ilk başta doğrusal model olarak başlansa da türbin kapasitelerinin %40'ın altına düşmesinin önüne geçilmesiyle karar değişkenlerindeki süreksizlik tamsayı-karışık doğrusal programlama yöntemi kullanmayı gerektirmiştir. Karar değişkenleri aralığını belirleyen 2 türbin için çalışma durumları şöyledir;

- Hiç çalışmama durumu, (0);
- Tek türbinin %40 ile %100 kapasite arasında çalışma durumu (10,06 m^3/s-25,15 m^3/s);

- İkisinin birlikte çalışma durumunda en az birinin tam kapasite ile diğerinin ise ilk türbine ek olarak %40 ila %100 kapasite arasında kullanımı (35,21 m^3/s - 50,3 (m^3/s),

olarak belirlenmiştir.

Modelde kısıtlar kütle korunumuna bağlı süreklilik, maksimum ve minimum hazne hacmi, maksimum ve minimum salımlardır. Bunun yanında varsa sözleşmesel sorumluluklar için kısıtlar girilmelidir, bu çalışmada enerji üretim taahhütü gibi sözleşmesel kısıt bulunmamaktadır.

Modelde, doğrusal programlama, tamsayılı programlama, tamsayı-karışık doğrusal programlamada etkili; yetkin kişi ve kurumlarca kabul gören, optimizasyon kitaplarında sıkça bahsedilen Lingo kullanıcı ara yüzlü optimizasyon programı kullanılmıştır. Versiyon olarak Lingo 13 ile başlanıp Lingo 14 versiyonu ile sonuçlar teyit edilmiştir.

6.1 Model İçindeki Başlıca Kabuller

6.1.1 İşletme zaman aralığı

Model günlük işletilmiştir. Aylık istasyon ölçüm ortalamaları günlük ortalamalara çevrilmiştir. Saatlik gün öncesi fiyatlar (SGÖF) ise günlük ortalamaları bulunarak günlük işletmede kullanılacak hesap yöntemleri için uygun hale getirilmiştir.

İşletme zaman aralıkları eldeki verilere ve kullanıcının optimizasyon yöntemini uygulamadaki amacına göre değişebilir. Buna örnek olarak taşkın yönetimi gösterilebilir. Taşkın debilerinin işletilmesi için gerekli zaman dilim aralığı; saat ve hatta dakika mertebesinde olabilir. Bunun sebebi taşkın debilerinin anlık değişkenlik göstermesidir. Zaman dilim uzunluğu arttıkça, diğer bir deyişle hesap adım sayısı azaldıkça bu değişim bilgileri kaybolur. Bunun sonucunda faydalı bir analiz yapılması mümkün olmaz.

6.1.2 Yükseklik

Hidroelektrik enerji hesaplarında doğrusallığın sağlanması amacıyla model içinde sabit net düşü değeri kullanılmıştır. Ancak haznedeki su girdisi ile üretim debisi ve

cansuyu debisi çıktıları hazne hacmine uygulandıktan sonra gerçek yükseklik bulunmaktadır.

6.1.3 Hacim-Yükseklik İlişkisi

Hazne hacim - yükseklik ilişkisi doğrusal kabul edilmiştir. İlgili zaman diliminde modelin çalıştırılması sonucu elde edilen optimal hacim miktarı ile bulunan yükseklik değerinden yola çıkarak santralin enerji üretimi ve buna bağlı ekonomik getirisi bulunmaktadır.

6.1.4 Can suyu

Modelde 39 senelik istasyon verilerinden elde edilen günlük ortalama debinin %10'luk değeri olan 1,901 m^3/s can suyunun zorunlu salımı yapılmıştır. Sami Soydam Barajı enerji santralinin, barajdan 4,5 km uzaklıkta olması nedeniyle enerji üretimine ayrılan salımın bölgeye katkısı olmayacağından (bölge ekosistemine geri verilemeyeceğinden) bu karar alınmıştır.

6.1.5 Buharlaşma

Buharlaşma bu çalışmada hesaba katılmamıştır. Hesaba katılması istenildiğinde süreklilik denklemleri içerisinde yer verilir. Model içerisinde aylık sabit değerler şeklinde veya haznenin bulunduğu bölgedeki karakteristik buharlaşma değerleri ile yüzey alanı ilişkisi modele girilmelidir.

6.1.6 Türbin Verimi

Söz konusu baraj içerisinde bulunan iki adet düşey tip Francis Türbin, model içinde gerçek kapasiteleri ile aynen kullanılmıştır. Her iki türbin için de sabit kabulü ile %89'luk verimlilik yüzdesi ele alınmıştır.

6.2 Temel Durum Denklemleri

6.2.1 Amaç Fonksiyonu

$$\text{Min } \sum_{t=1}^{T}\left(-\alpha_1\beta_1 \mathrm{I}_t + \alpha_2\beta_2 B_f\right) \qquad (\mathbf{6.1})$$

α_1 , α_2 normalleştirme katsayıları

β_1, β_2 ağırlık katsayıları

I_t t anında ekonomik getiri

B_f üretim debisi

6.2.1.1 Normalleştirme katsayıları (α)

Amaç fonksiyonundaki alt fonksiyonların değerlendirilmesi için boyutsuz hale getirilmesine olanak sağlar ve fonksiyonun çok büyük değerler almasının önüne geçilmiş olur. Terimi 0-1 arasında bir sayıya dönüştürür. Örneğin birinci terimde α_1, t zaman diliminde alınabilecek en büyük gelirin paydaya yazılmasıyla elde edilir. Bunu bulmak için tüm senaryo boyunca oluşabilecek en iyi durum göz önünde bulundurulur. Tam kapasite çalışma durumu olan 50 m^3/s debi ile senaryo boyunca en iyi enerji fiyat karşılığında elde edilen gelirdir. I_t en fazla $\mathrm{I}_{t,max}$ kadar olabileceğinden terim 0-1 arasında bir değer alır. α_2, üretim debisi değerlerin tümü için geçerli olacağından hazne maksimum kapasitesini kullanmak yanlış olmayacaktır. Çünkü bu değerin aşılması mümkün değildir ve bu değerin paydaya yazılması ile terim 0-1 arası bir değer alacaktır.

6.2.1.2 Ağırlık katsayıları (β)

Önem katsayısı da denmektedir. Çok maksatlı fonksiyonlarda karar değişkenlerinin önceliğini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada üretime ayrılan debinin azaltılmasına karar verilirken kullanılmıştır. Azaltma miktarı için ikinci terim ağırlık katsayısının denenmesine, en iyi ekonomik değere ulaşıncaya kadar devam edilmiştir.

β_1, ekonomik getiri fonksiyonu önünde yer almasıyla minimizasyon amaç fonksiyonunda negatif işaretinden dolayı, arttırılması ekonomik getiri büyüklemesine neden olur.

β_2, üretim debisiyle temsil edilir. Minimizasyon amaç fonksiyonunda arttırılmasıyla üretim debisi miktarında azaltmaya gidilir. Bu fonksiyon, kontrol kısmı gibi düşünülebilir. Üretim debisi azaldığında ekonomik getirinin azalması beklenebilir ancak diğer bir yandan net düşü yüksekliğinin daha yukarda kalması sağlanır bunun sonucunda ekonomik getiriye olumlu etkisi olacaktır. Ekonomik getiri pik yaptığında en yararlı üretim azaltmasına karar verilmiş olur.

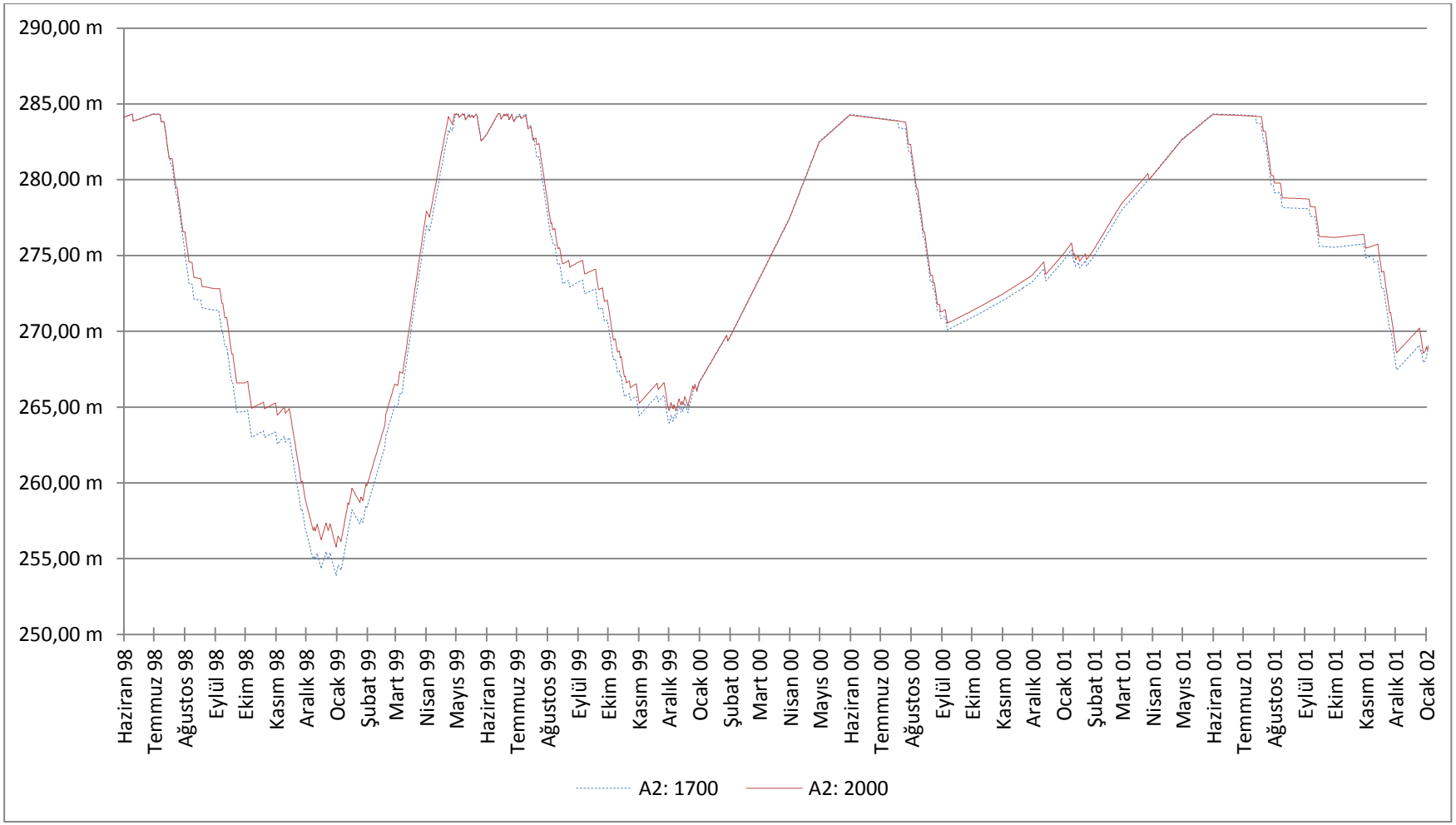
Çizelge 6.1 ile ağırlık katsayısı kalibrasyon çalışması sonuçları gösterilmektedir. Üretim debisini temsil eden β_2ağırlık katsayısı arttırılarak net düşünün ekonomik getiriye olumlu şekilde katkısı sağlanmıştır.

Şekil 6.1'de ise kalibrasyon çalışmasında meydana gelen net düşü seyrinin değişimi açıkça görülmektedir. Net düşünün daha yukarıda seyretmesinin ekonomik getiri açısından kayba yol açacağı bilinmelidir.

Kalibrasyon çalışması bahsedilen tüm senaryolar için ve tüm başlangıç-bitiş koşulları için ayrı ayrı yapılmıştır. Modelin verilen sabit düşüyle optimizasyon hesabına katmadığı net düşü yüksekliği bu şekilde değerlendirmeye alınmıştır. Böylece doğrusallık şartını sağlayarak değişken net düşü miktarları hesaplara dahil edilmiştir.

Çizelge 6.1 : 39 senelik modelde ağırlık katsayıları değişimine bağlı sonuçlar (üretim debi ağırlık katsayısı değiştirilmesine bağlı ekonomik getiri).

β_1	β_2	Tam Kapasitede Çalışma (Gün)	Hiç Çalıştırmama (Gün)	Ara Değerlerde Çalışma (Gün)	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)
1.100	1.700	4.804	9.203	237	13.670.285	2.156.659.054
1.100	1.800	4.800	9.213	231	13.686.993	2.157.280.803
1.100	1.900	4.800	9.195	249	13.702.835	2.157.763.156
1.100	2.000	4.798	9.198	248	13.716.459	2.157.962.434



Şekil 6.1 : Ağırlık katsayılarıyla değişen yükseklik değerleri.

6.3 Kısıtlar

6.3.1 Süreklilik

Kütle korunumu ilkesine bağlı olarak süreklilik şartı hazne işletme modellerinde başlıca kısıttır.

$$S_t = S_{t-1} + Q_t - R_t \quad (6.\mathbf{2})$$

S_t t anında hazne hacim miktarı (m^3)

S_{t-1} t-1 anında hazne hacim miktarı (m^3)

Q_t t anında hazneye giren hacim miktarı (m^3)

R_t t anında hazneden çıkan hacim miktarı (m^3)

$$S_t = S_1 + (Q_t - (PR_t^1 + PR_t^2) - DR_t) \quad (\mathbf{6.2a})$$

S_1 başlangıç koşuluna göre boş, yarı dolu veya dolu hacim miktarı (m^3)

PR_t^1 t anında birinci türbine ayrılan hacim miktarı (m^3)

PR_t^2 t anında ikinci türbine ayrılan hacim miktarı (m^3)

DR_t t anındaki üretime ayrılan hacim dışında yapılan toplam salım miktarı (m^3)

6.3.2 Hazne başlangıç-bitiş koşulu

$$S_{t=1} = S_t = S_{t=T} \quad (\mathbf{6.3})$$

Hazne başlangıç koşulunun bitiş koşuluna eşit olması durumudur. İşletme senaryosu boyunca hazneye giren akımın aktif hazne hacim eksik bırakılmadan optimum işletilmesi sağlanmıştır.

S_t, Hazne başlangıç-bitiş koşuluna göre boş, yarı dolu ve dolu hazne hacmi olarak değişir.

6.3.3 Hazne toplam salım miktarı

$$R_t = R_t^P + R_t^D \quad (\mathbf{6.4})$$

R_t^P t anında hazneden üretime ayrılan salım miktarı (m^3)

R_t^D t anında hazneden üretim dışı yapılan salım miktarı (m^3)

Toplam salım miktarı, t anında üretime ayrılan birinci ve ikinci türbin debileri ile cansuyu debisi, bunlara ek olarak var ise zorunlu hallerde yapılan diğer salım debilerinin toplamıdır.

6.3.4 Üretim

$$P_t = (PR_t^1 + PR_t^2).H_t.9{,}81.\eta.0{,}001 \qquad (\mathbf{6.5})$$

P_t: t anındaki güç üretimi (MW)

PR_t^1: t anında birinci türbine ayrılan debi miktarı (m^3/s)

PR_t^2: t anında ikinci türbine ayrılan debi miktarı (m^3/s)

H_t: net düşü (m)

η: enerji verimi yüzdesi (%)

9,81: yerçekim ivmesi (m/s^2).

0,001: kW'ı MW değerine çevirme katsayısı.

6.3.5 Ekonomik getiri

$$I_t = C_t.P_t \qquad (\mathbf{6.6})$$

I_t: t anında barajın elde ettiği ekonomik getiri (TL)

C_t: t anında enerji birim fiyatı (TL/MWh)

6.3.6 Hazne aktif hacim aralığı

$$S_{min} \leq S_t \leq S_{mak} \qquad (\mathbf{6.7})$$

S_{min}: Minimum (boş) hazne hacmi.

S_{mak}: Maksimum (dolu) hazne hacmi.

Barajın işletme hacim aralığını tarif etmektedir. Baraj hacim miktarı minimum işletme hacminin altına düşemez ve maksimum işletme hacmini aşamaz kısıtıdır.

6.3.7 Hazne aktif yükseklik aralığı

$$h_{min} \leq h_t \leq h_{mak} \qquad (\mathbf{6.8})$$

Barajın işletme yükseklik aralığını tarif etmektedir. Baraj yükseklik miktarı minimum işletme yüksekliğinin altına düşemez ve maksimum işletme yüksekliğini aşamaz kısıtıdır.

6.3.8 Maksimum salım kapasitesi

$$0 \leq R_t^D \leq R_{t,mak}^D \qquad (\mathbf{6.9})$$

Taşkın yönetiminde ön plana çıkan kısıttır. Barajın savaklama kapasitesini tarif eder.

6.3.9 Türbin kapasiteleri

$$0 \leq R_t^P \leq R_{t,mak}^P \qquad (\mathbf{6.10})$$

Baraj santrali iki adet Francis düşey tip türbin olarak projelendirilmiştir. Toplam kapasite 50 m^3/s değerindedir. Bu kapasiteler de kısıt olarak girilmiştir.

Modelde türbinlerdeki verim kaygısı sebebiyle türbin kapasitelerinin %40' ın altında çalışmasının önüne geçmek için modelde aşağıda belirtilen formülasyon kullanılmıştır. Formülasyonda $y_{1,t}$, $y_{2,t}$, $y_{3,t}$ 0 veya 1 değeri alabilecek yapay karar değişkenleri tanımlanmıştır.

$$y_{1,t} + y_{2,t} + y_{3,t} = 1 \qquad (\mathbf{6.11})$$

$$PR_t^1 \leq 25{,}15\ (1 - y_{1,t}) \qquad (\mathbf{6.12})$$

$$PR_t^2 \leq 25{,}15\ (1 - y_{1,t}) \qquad (\mathbf{6.13})$$

$$PR_t^1 \geq 10{,}06\ y_{2,t} \qquad (\mathbf{6.14})$$

$$PR_t^1 \leq 25{,}15\ (y_{2,t} + y_{3,t}) \qquad (\mathbf{6.15})$$

$$PR_t^2 \leq 25{,}15\ (1 - y_{2,t}) \qquad (\mathbf{6.16})$$

$$PR_t^1 \geq 25{,}15\ y_{3,t} \qquad (\mathbf{6.17})$$

$$PR_t^2 \geq 10{,}06\ y_{3,t} \qquad (\mathbf{6.18})$$

$$PR_t^2 \leq 25{,}15\ y_{3,t} \qquad (\mathbf{6.19})$$

PR_t^1 1. Türbinin t anında üretim debisi değeridir

PR_t^2 2. Türbinin t anında üretim debisi değeridir

7 SENARYOLAR

7.1 1964-2003 Yılları İçin Oluşturulmuş Senaryolar

1964 Ekim ile 2003 Ekim tarihleri için 39 senelik senaryo varyasyonlarında çalıştırılan modelin sonuçları çizelge ve şekillerle sırasıyla açıklanmıştır. Şekil 7.4'te 39 yıllık senaryo varyasyonların tümü için geçerli olan hazneye gelen su hacmi gösterilmektedir.

7.1.1 Dolu Hazne İle Başlama ve Bitirme

Bu senaryoda 39 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlatılmış, 2003 Eylül sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir.

Modelin çalıştırılması sonucu 13.716.459 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 2.156.659.054 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Çizelge 7.1'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

Baraj toplam 4913 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 4798 günü tam kapasite çalışmış ve %97,65'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 151.500 TL/gün olmuştur.

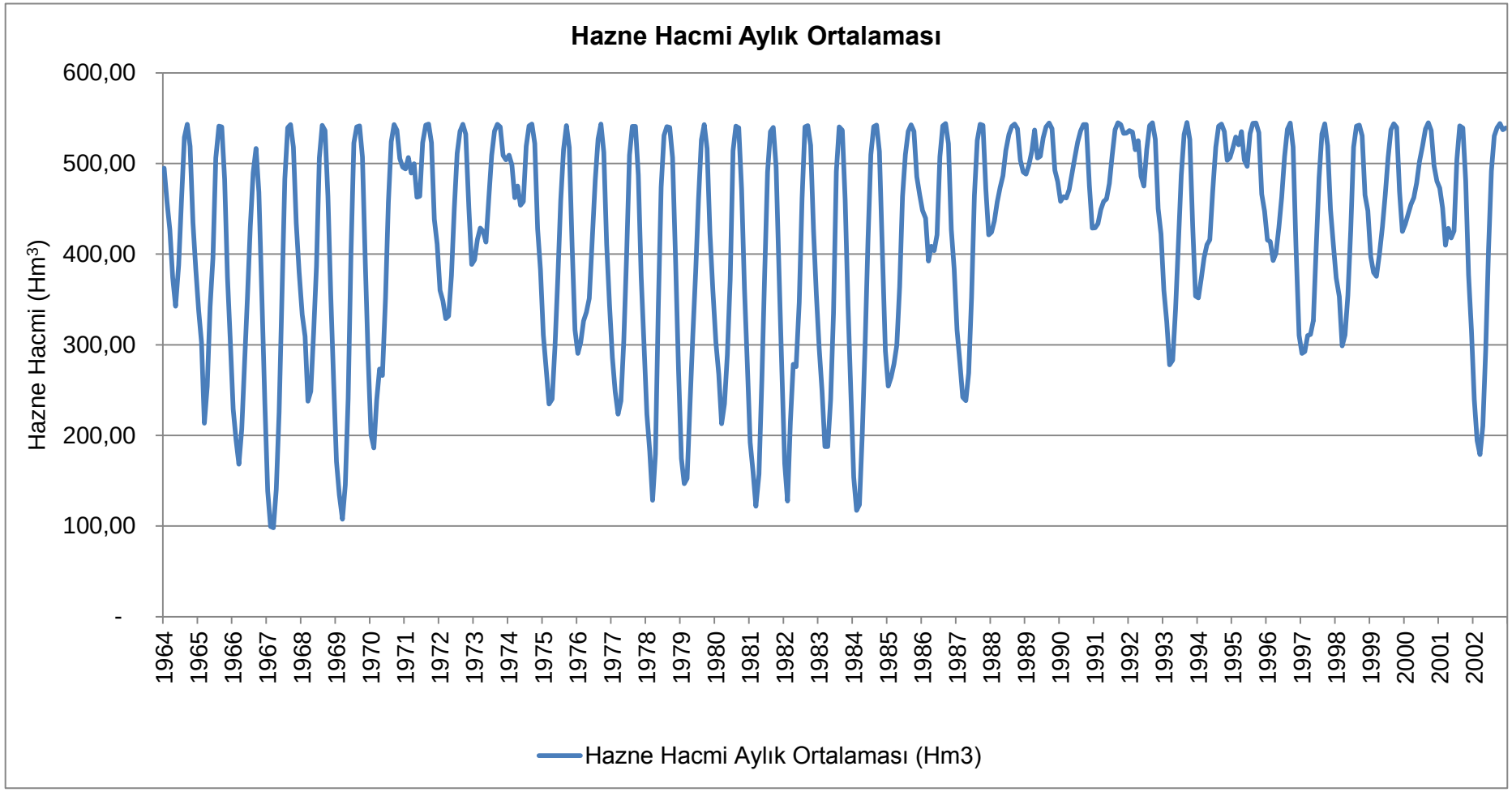
Şekil 7.1'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.2'de aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.3'te eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.4'te baraja gelen akımların aylık ortalamaları ve 10 yıllık dönem ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Dolu başlama-dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (39 su yılı).

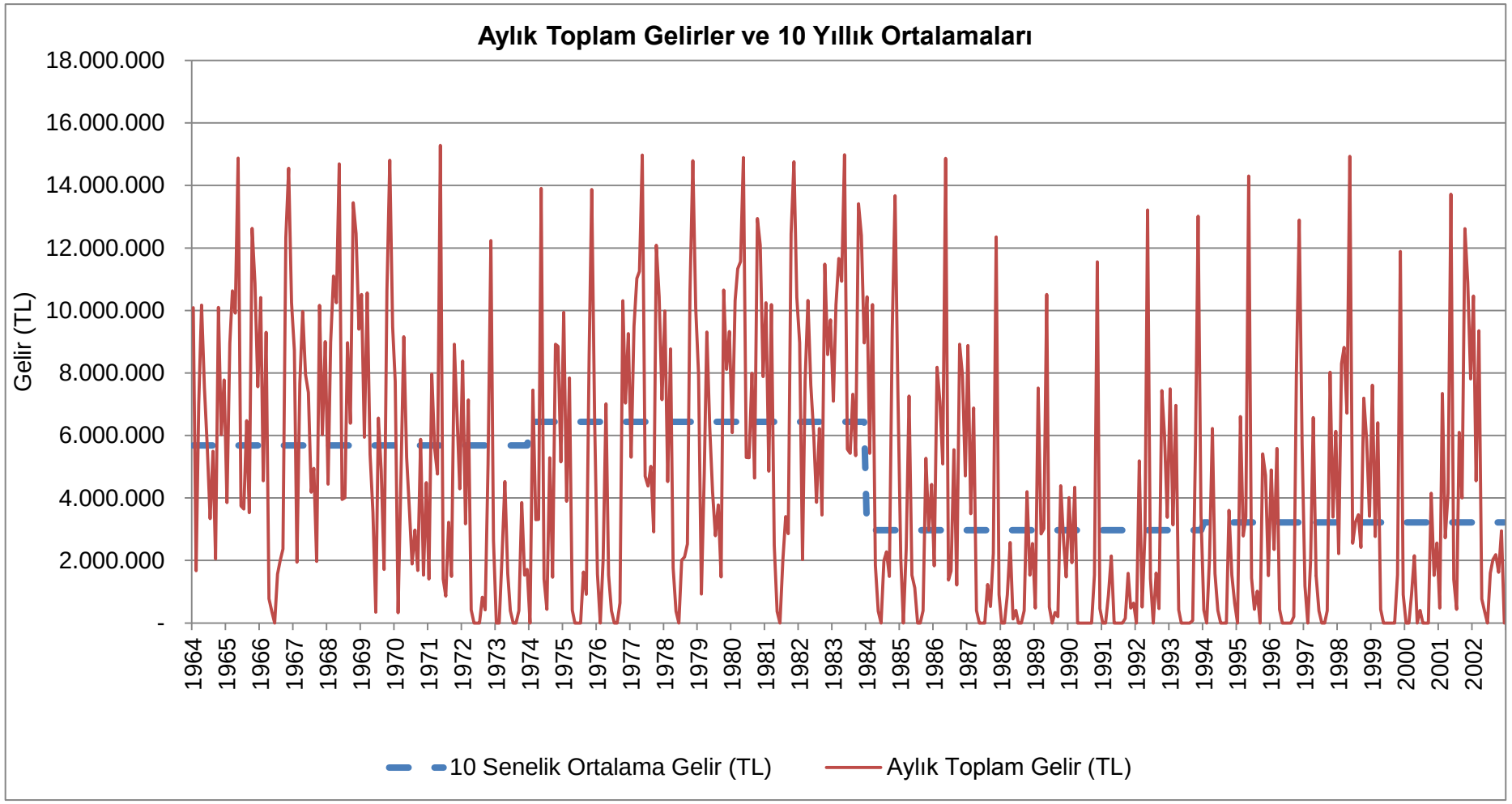
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
4.913	4.798	97,65	248	13.716.459	2.157.962.434	151.500

Şekil 7.4'te gösterilen ikinci 10 senelik dönemde hazneye gelen su hacminin fazla olmasına bağlı olarak Şekil 7.3'te gösterilen eklenik gelir grafiğinde 1974-1984 yılları için eğimin arttığı yani artış miktarında büyüme farkedilmektedir. 1964-2003 döneminde 3. 10 senelik dönem diğer dönemlerle karşılaştırıldığında daha kurak dönem olarak adlandırılabilir. Bunun bir sonucu olarak Şekil 7.2'de görüleceği gibi üçüncü 10 senelik gelir ortalamasının en düşük olduğu gözlemlenmektedir.

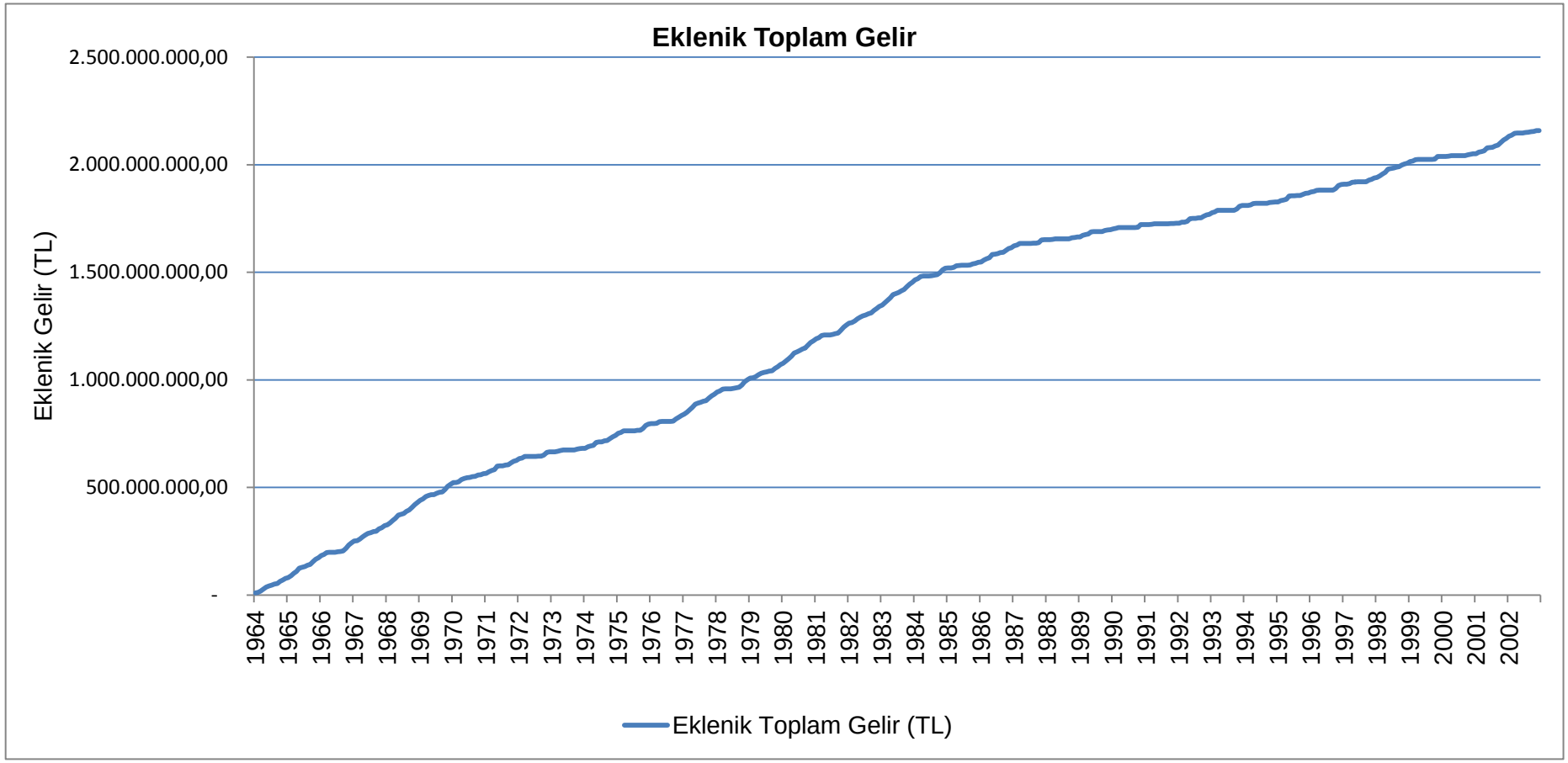
Şekil 7.1'deki hacim aylık ortalamalarının alt pik noktalarının genel olarak Aralık Aylarında oluştuğu görülmüştür. Bununla uyumlu olarak Şekil 7.4'te gelen su hacimleri maksimum pik noktalarının Aralık Ayı sonrası Ocak, Şubat, Mart ayları ağırlıklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum hazne hacminin etkin biçimde değerlendirilebilmesi için Aralık Ayında boş seviyelerde seyrederek gelen su hacmine yer ayrıldığı yorumu yapılabilir.



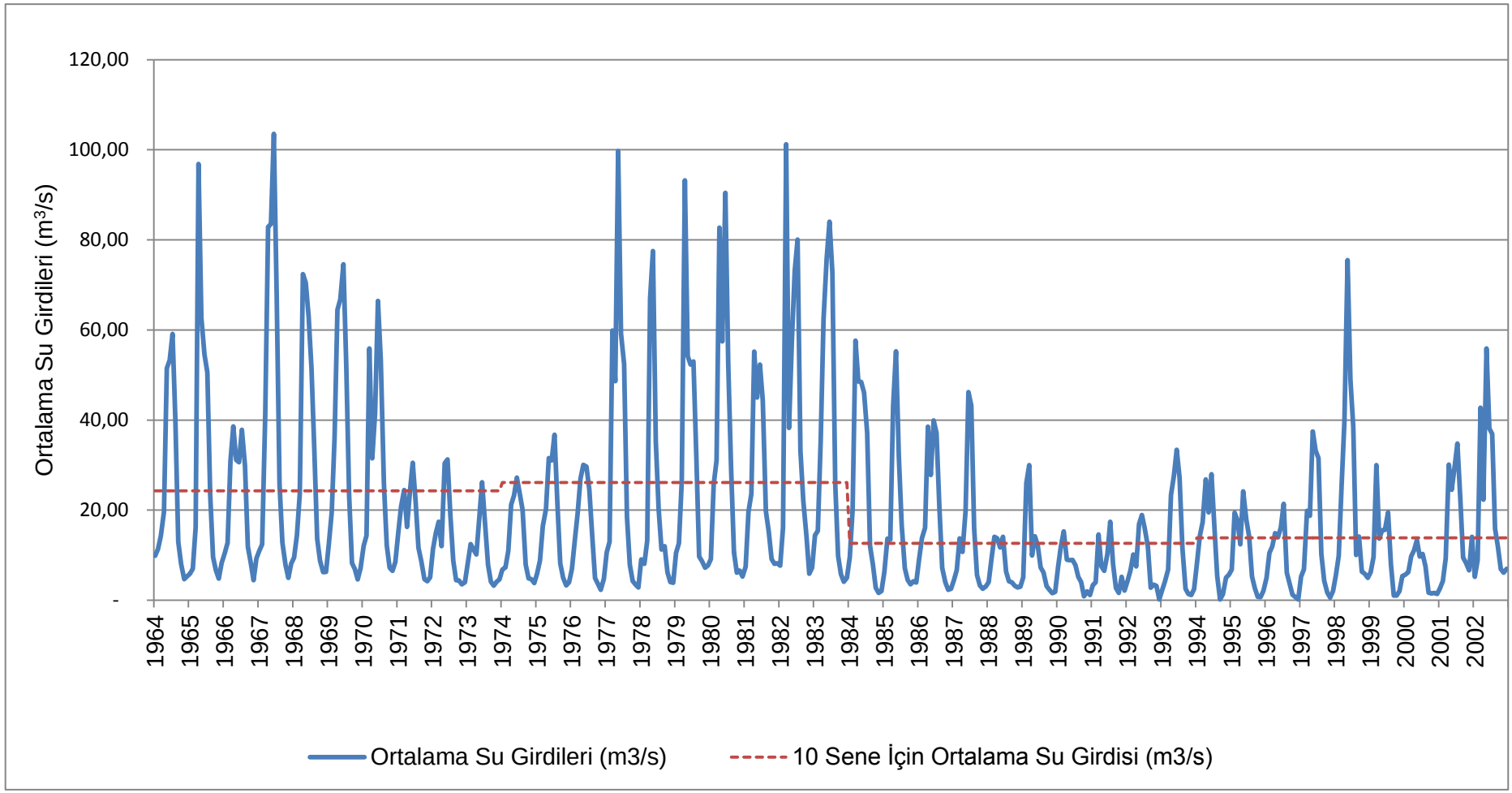
Şekil 7.1 : 39 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları.



Şekil 7.2 : 39 su yılı hazne dolu başlama-dolu bitirme durumu için aylık gelir toplamları ve 10 senelik gelir ortalamaları.



Şekil 7.3 : 39 su yılı hazne dolu başlama-dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.4 : Baraj hazne aksı düzeltilmiş istasyon akım girdileri aylık ortalamaları (tüm senaryolar için geçerli olduğundan grafik tekrar verilmemiştir).

7.1.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

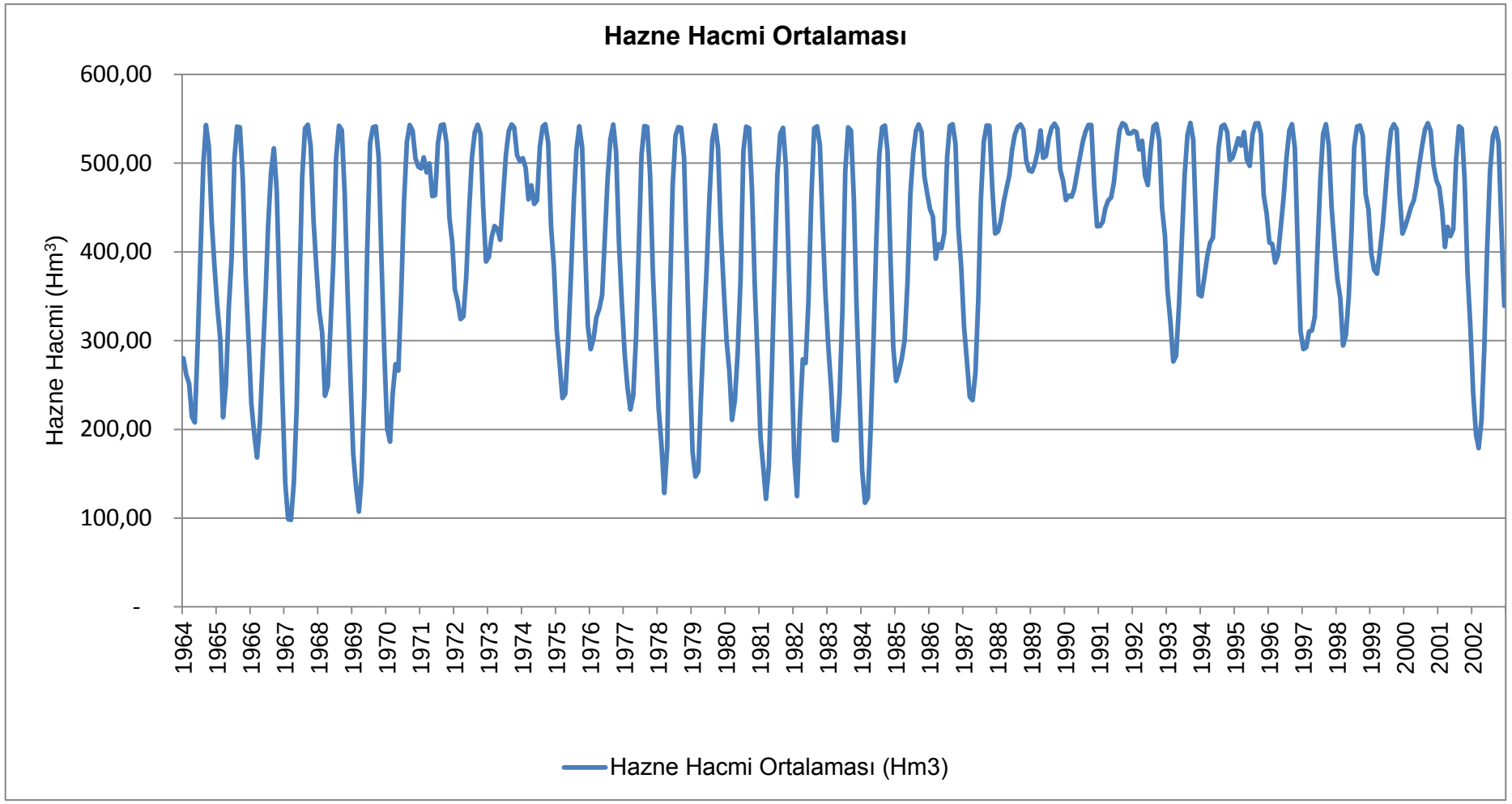
Bu senaryoda 39 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi yarı dolu başlatılmış, 2003 Eylül sonunda hazne hacmi yarı dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 13.694.756 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 2.163.584.538 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Buna göre baraj toplam 4913 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 4795 günü tam kapasite çalışmış ve %97,59'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 151.894 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 259 gündür.

Çizelge 7.2'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.5'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.6'de aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.7'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

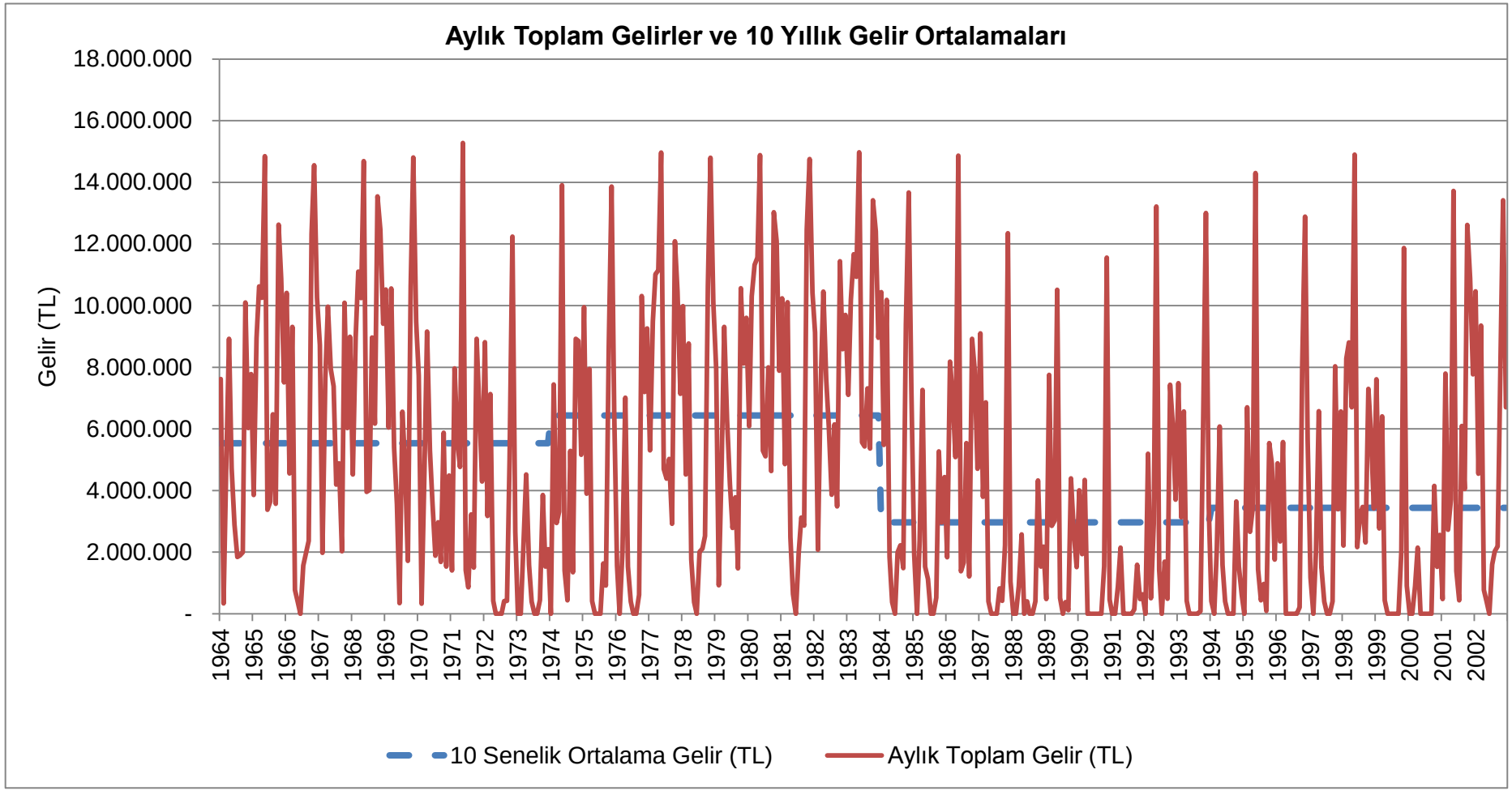
Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Ortalama günlük getirinin boş başlama-bitirme ve dolu başlama-bitirme koşullarından daha yüksek çıktığı görülmüştür. Eklenik toplam gelir değişiminin ikinci 10 senelik dilimde arttığı bu dönemde gelen su hacminin yoğun olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.2 : Yarı dolu başlama - yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları. (39 su yılı)

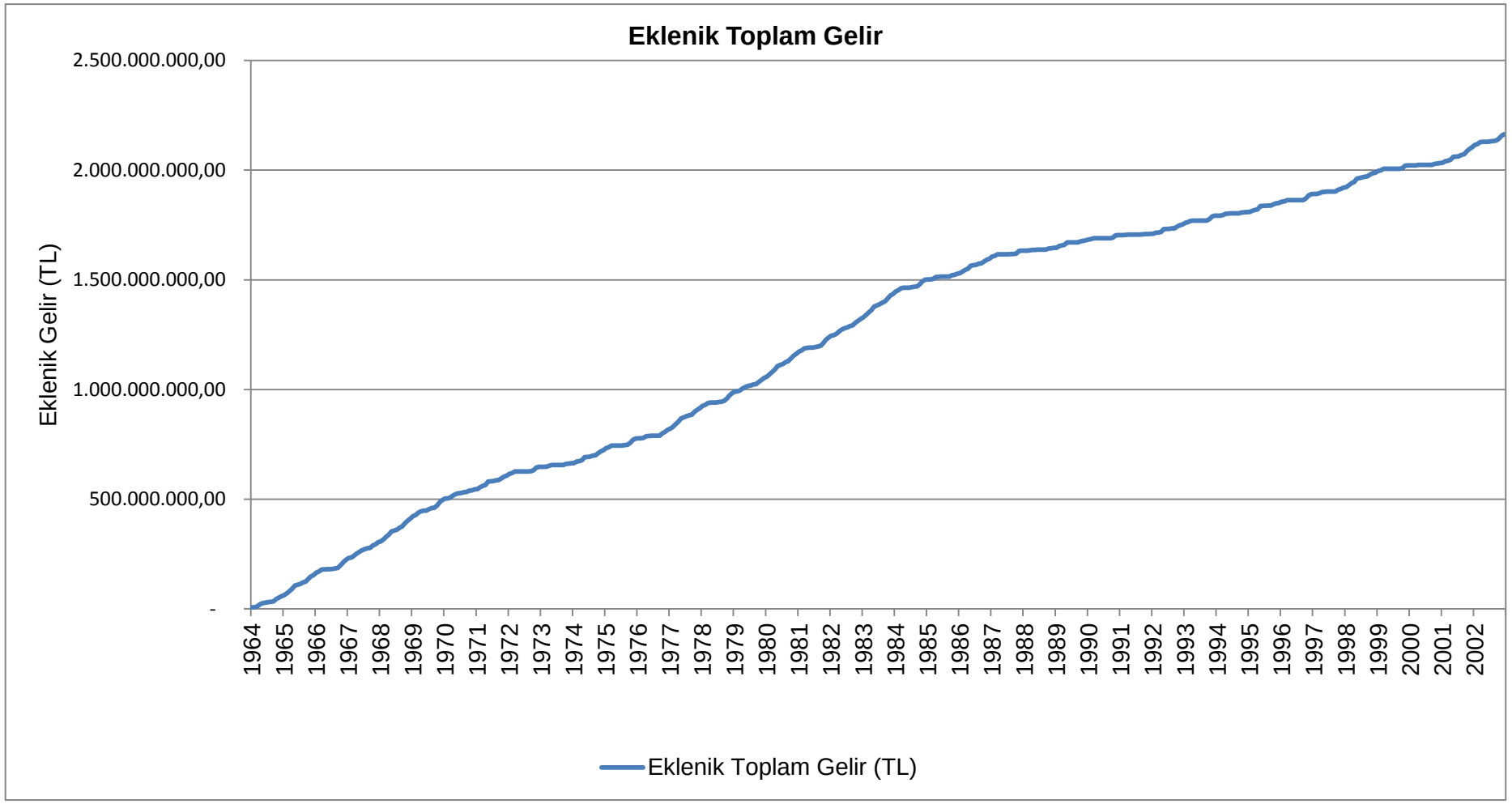
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
4.913	4.795	97,59	259	13.694.756	2.163.584.538	151.894



Şekil 7.5 : 39 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları.



Şekil 7.6 : 39 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.7 : 39 su yılı hazne yarı dolu başlama-yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.1.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

39 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi boş başlamış ve 2003 Eylül sonunda hazne hacmi boş şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 13.672.622 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 2.162.147.918TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

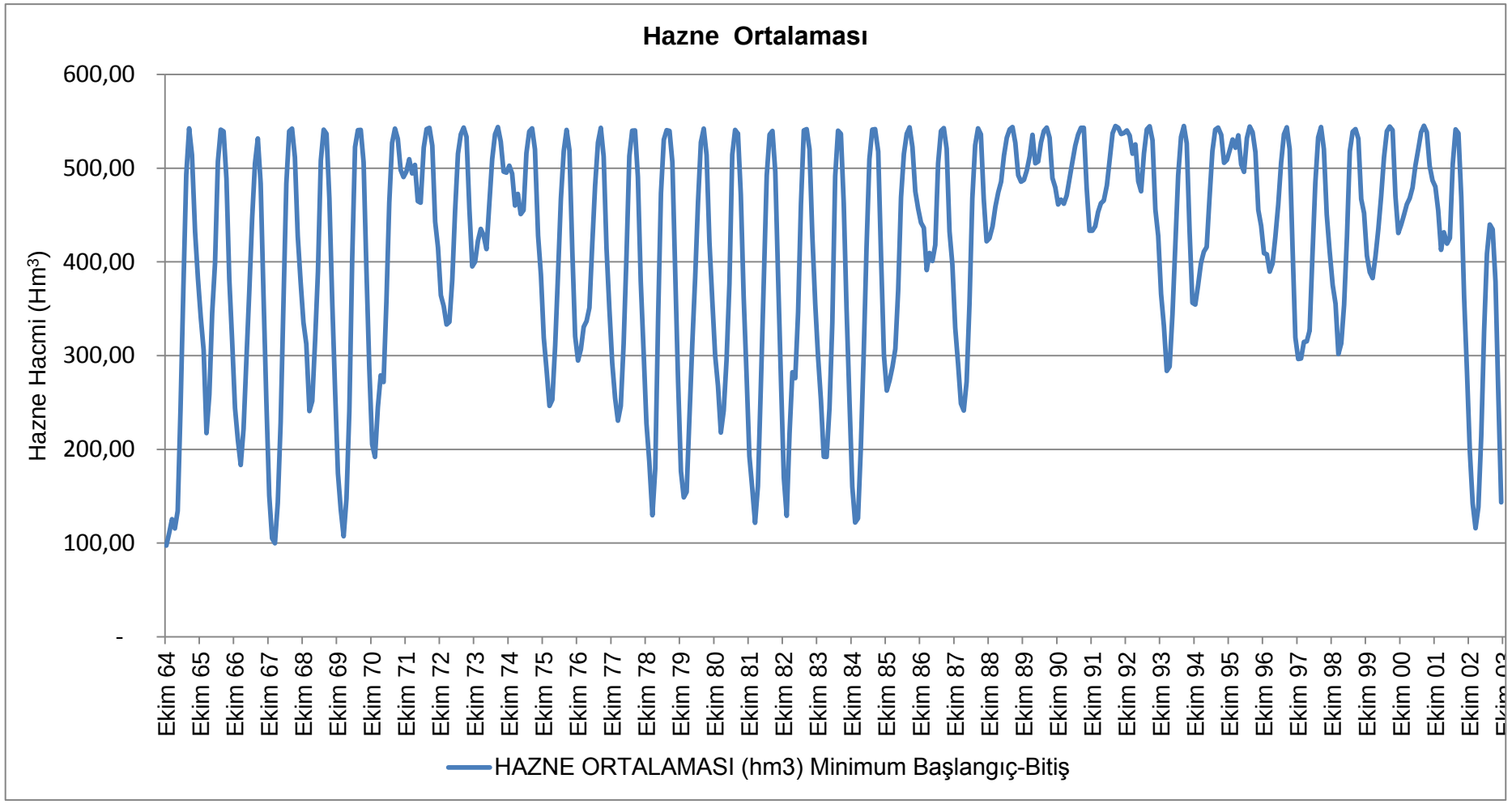
Baraj toplam 4913 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 4796 günü tam kapasite çalışmış ve %97,61'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 151.794 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 256 gündür.

Çizelge 7.3'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.8'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.9'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.10'te eklenik gelir grafiği verilmiştir.

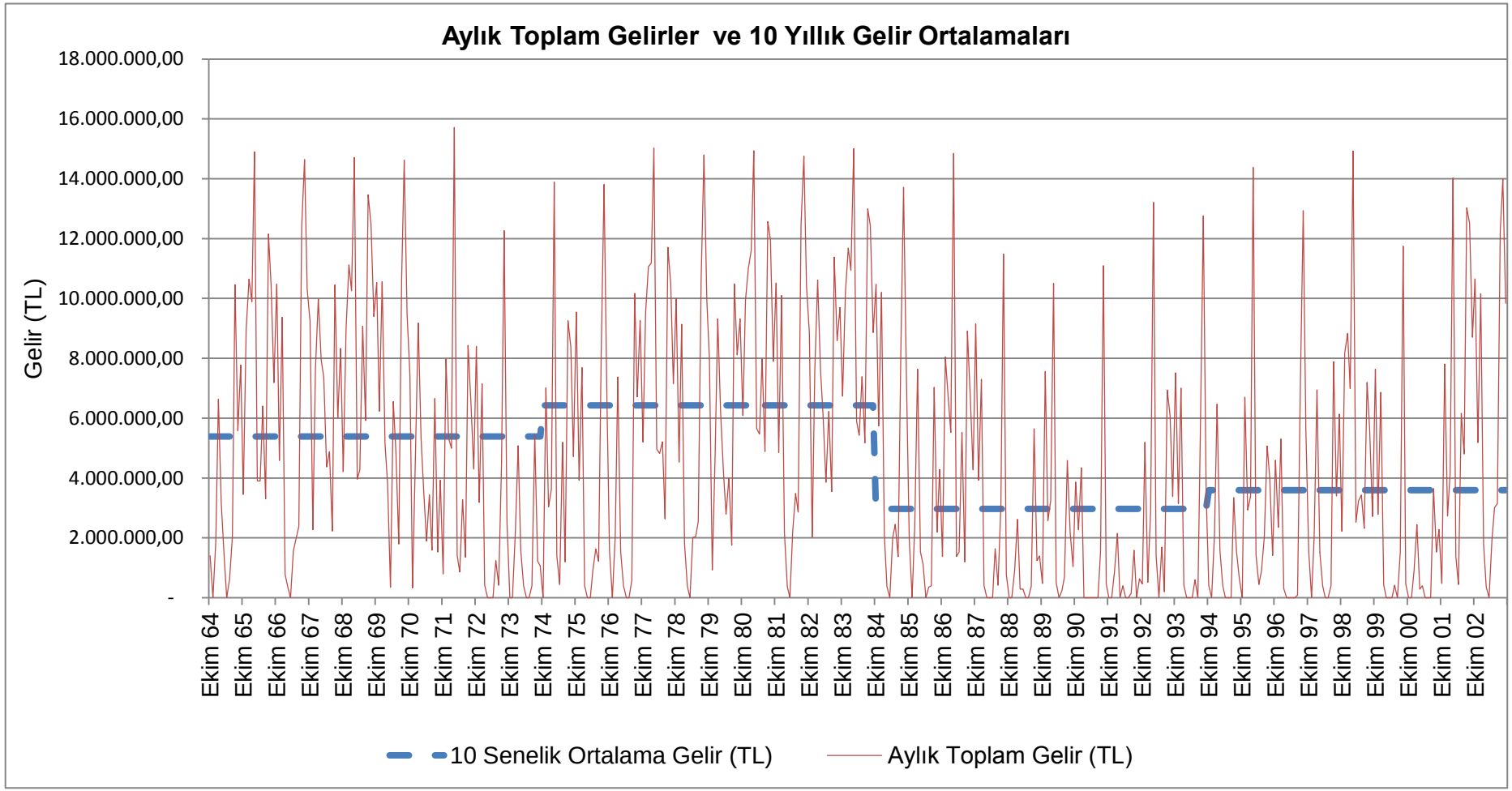
Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Ortalama günlük getirinin dolu başlama-bitirme koşullarından daha yüksek çıktığı görülmüştür. Eklenik toplam gelir değişiminin ikinci 10 senelik dilimde arttığı bu dönemde gelen su hacminin yoğun olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.3 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (39 su yılı)

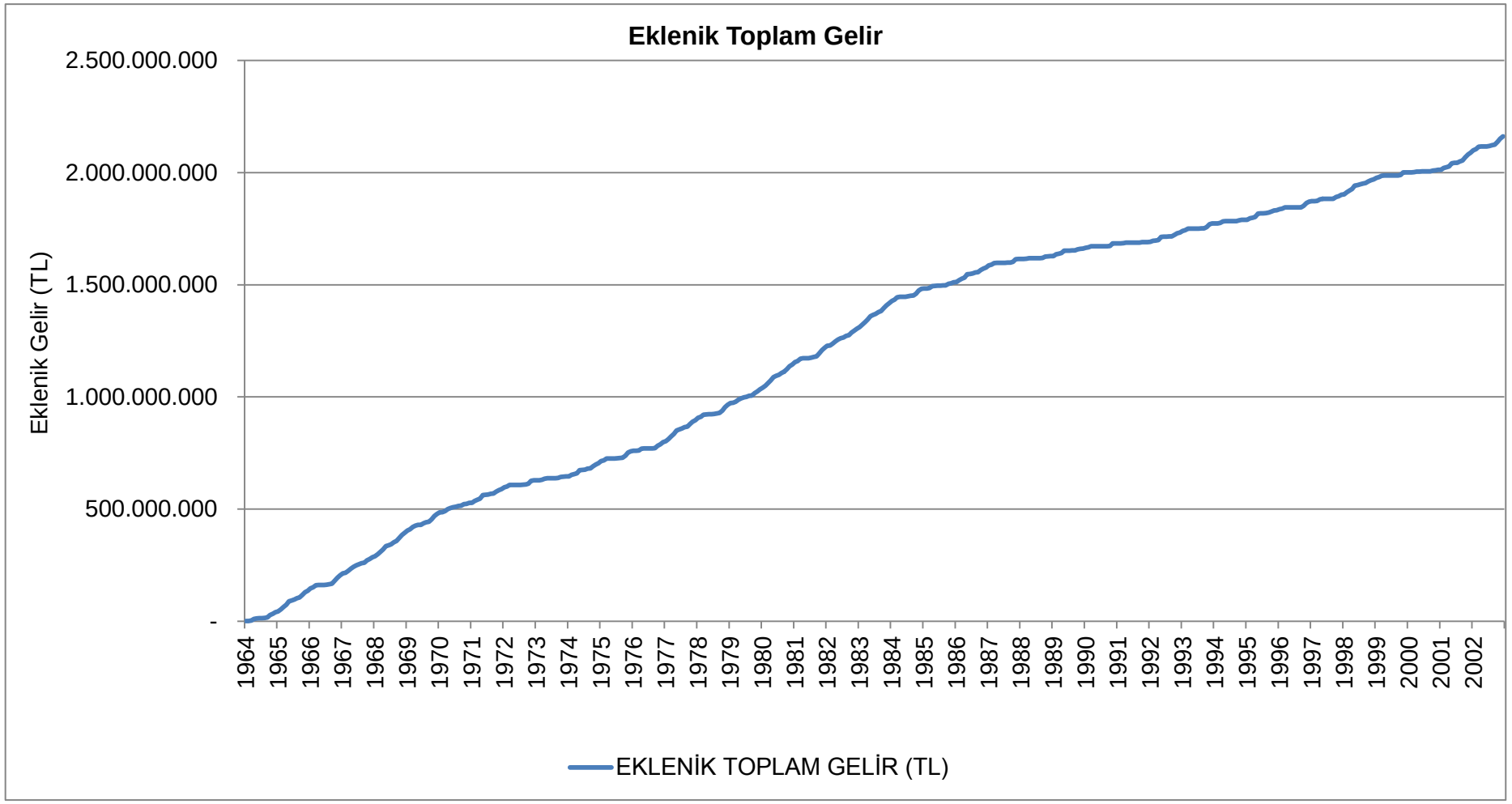
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
4.913	4.796	97,61	256	13.672.622	2.162.147.918	151.794



Şekil 7.8 : 39 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları.



Şekil 7.9 : 39 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.10 : 39 su yılı hazne boş başlama - boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.2 İlk Kısım 20 Su Yılı Senaryoları

7.2.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

İlk kısmı oluşturan 20 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 1984 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 9.377.411 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 1.419.499.888TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

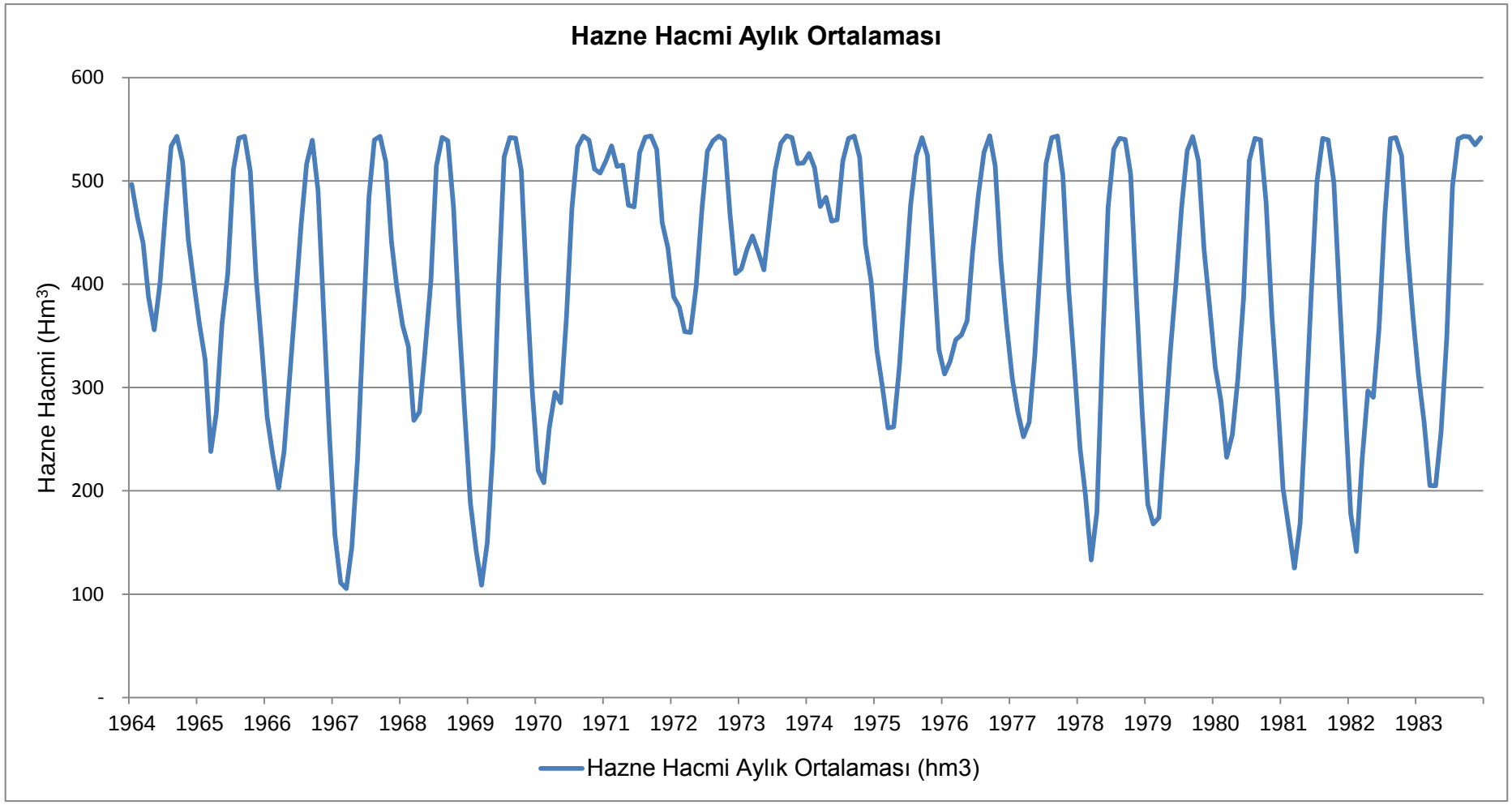
Baraj toplam 3366 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 3282 günü tam kapasite çalışmış ve %97,50'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 194.319 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 186 gündür.

Çizelge 7.4'te gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.11'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.12'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.13'te eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.14'te karşılaştırma yapabilmek için ilk 20 su yılında hazneye gelen su hacmi miktarları verilmiştir.

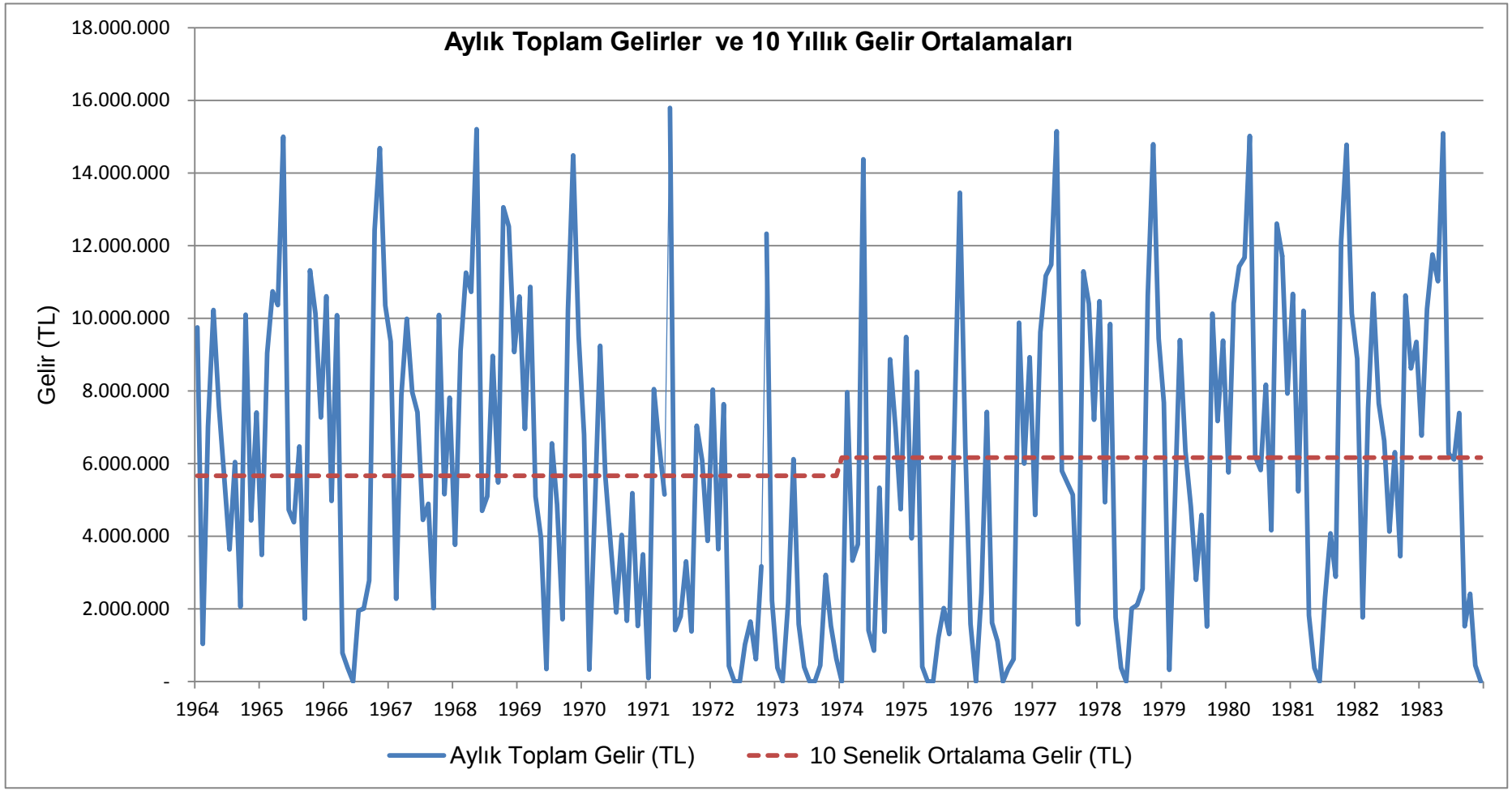
Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Ortalama günlük getirinin boş başlama-bitirme ve yarı dolu başlama-bitirme koşullarından daha düşük çıktığı görülmüştür.

Çizelge 7.4 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk 20 su yılı).

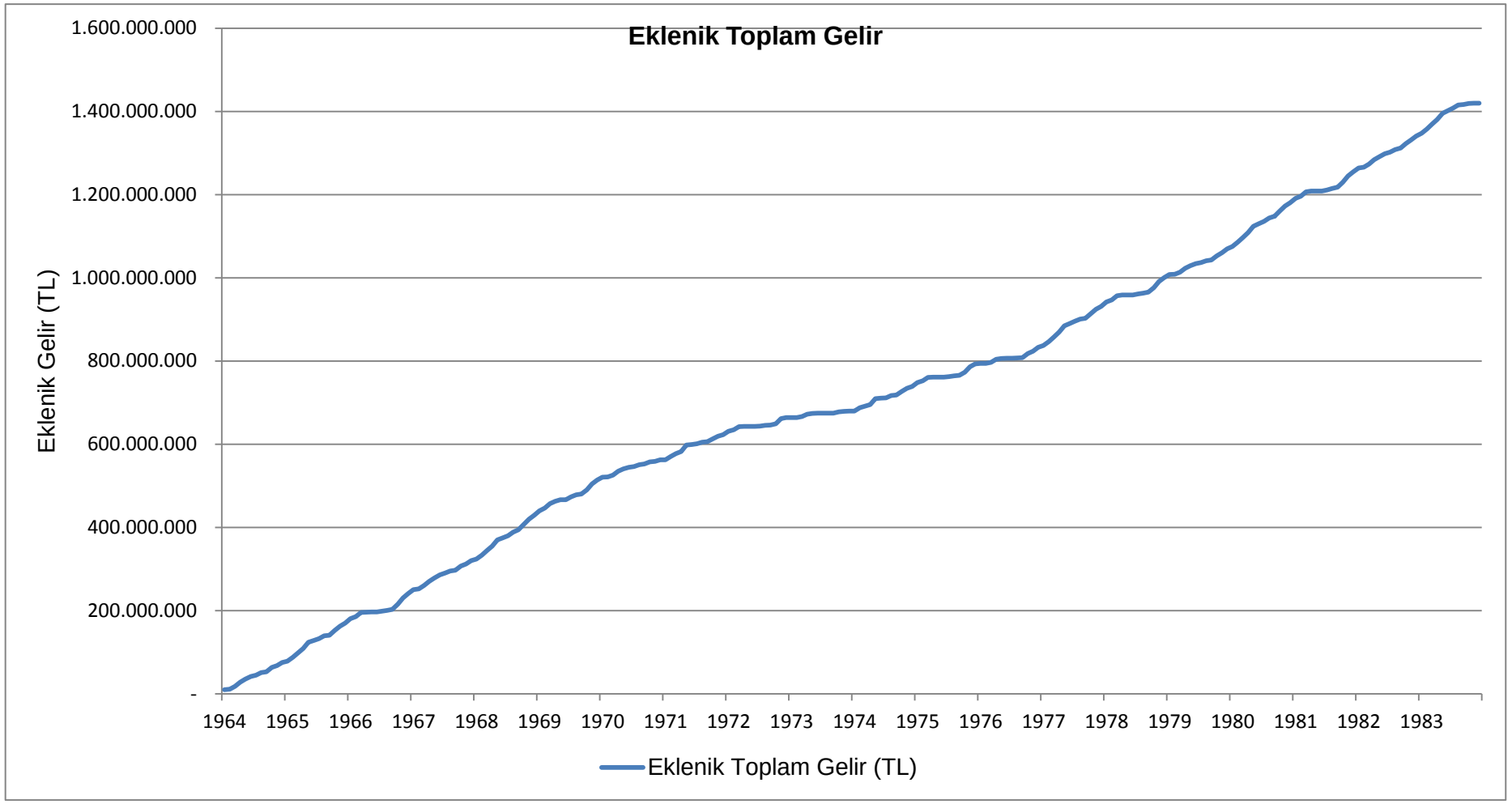
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
3.366	3.282	97,50	186	9.377.411	1.419.499.888	194.319



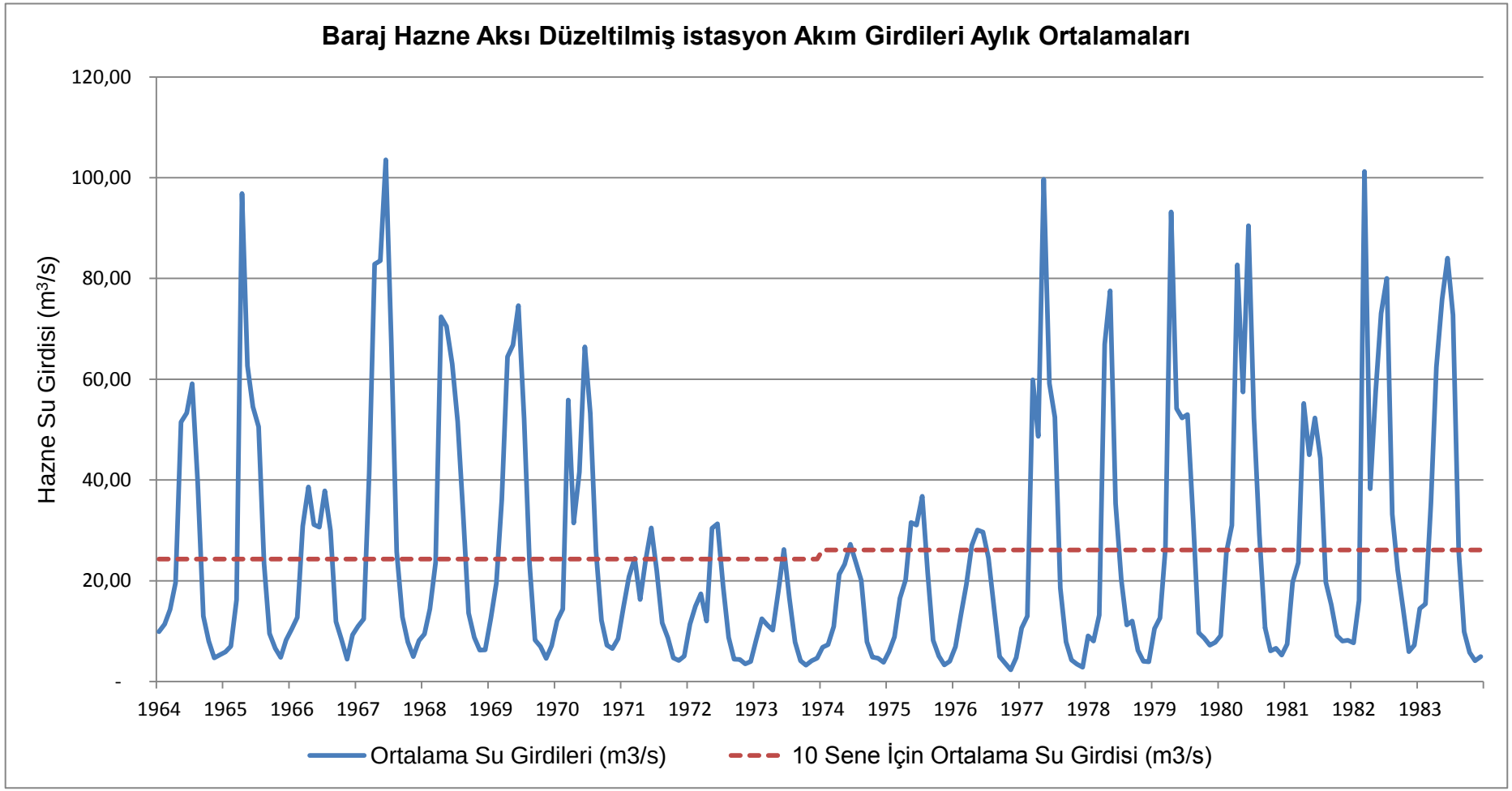
Şekil 7.11 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk 20 su yılı).



Şekil 7.12 : İlk 20 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları (İlk 20 su yılı).



Şekil 7.13 : İlk 20 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.14 : İlk 20 su yılı hazne ortalama su girdileri (m3/s).

7.2.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

İlk kısmı oluşturan 20 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi yarı dolu hacimle başlamış ve 1984 Eylül tarihi sonunda yarı dolu hacimle bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 9.400.648 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 1.426.589.456TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

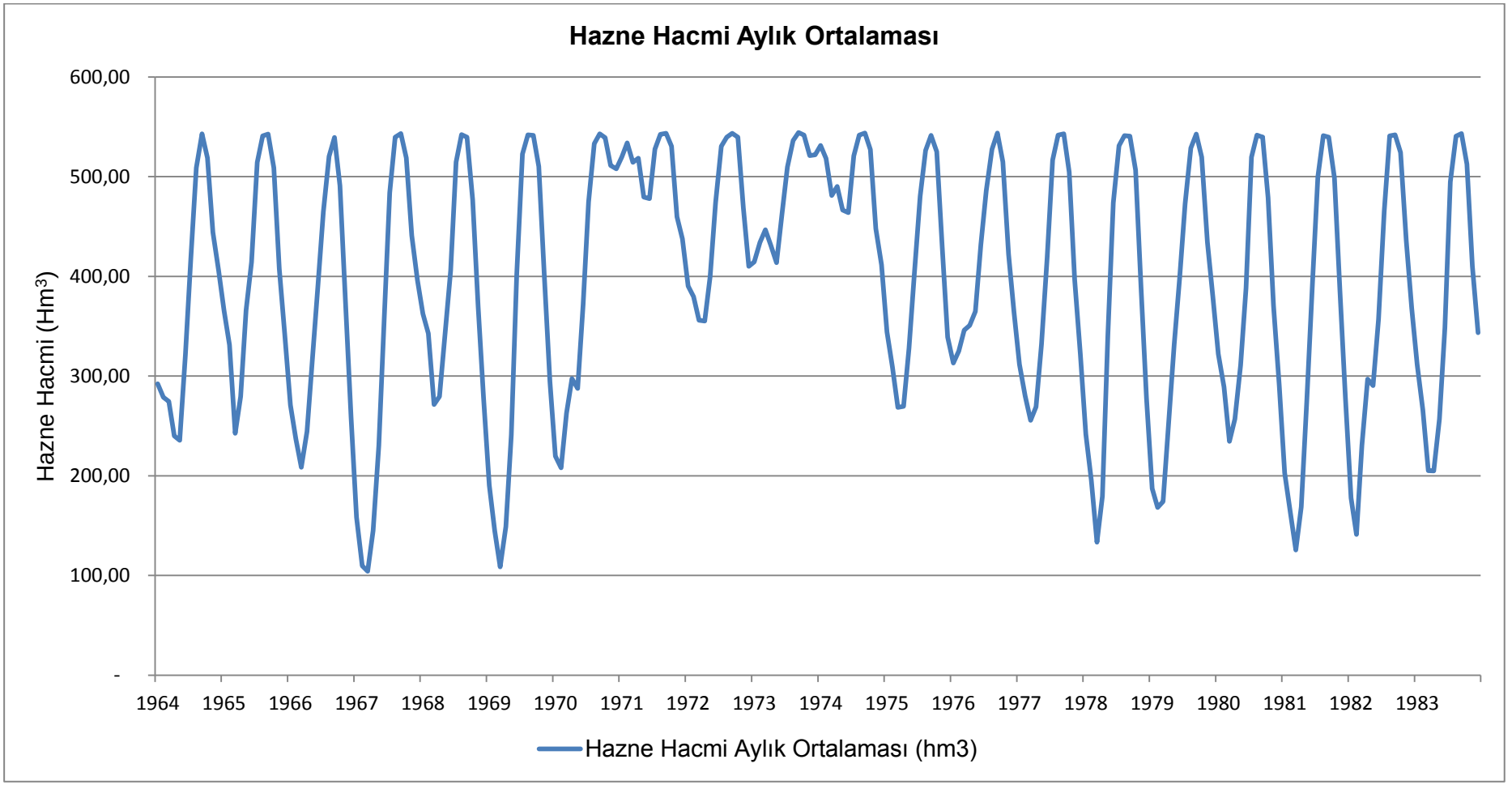
Baraj toplam 3366 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 3283 günü tam kapasite çalışmış ve %97,53'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 195.289 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 177 gündür.

Çizelge 7.5'te gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.15'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.16'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.17'te eklenik gelir grafiği verilmiştir.

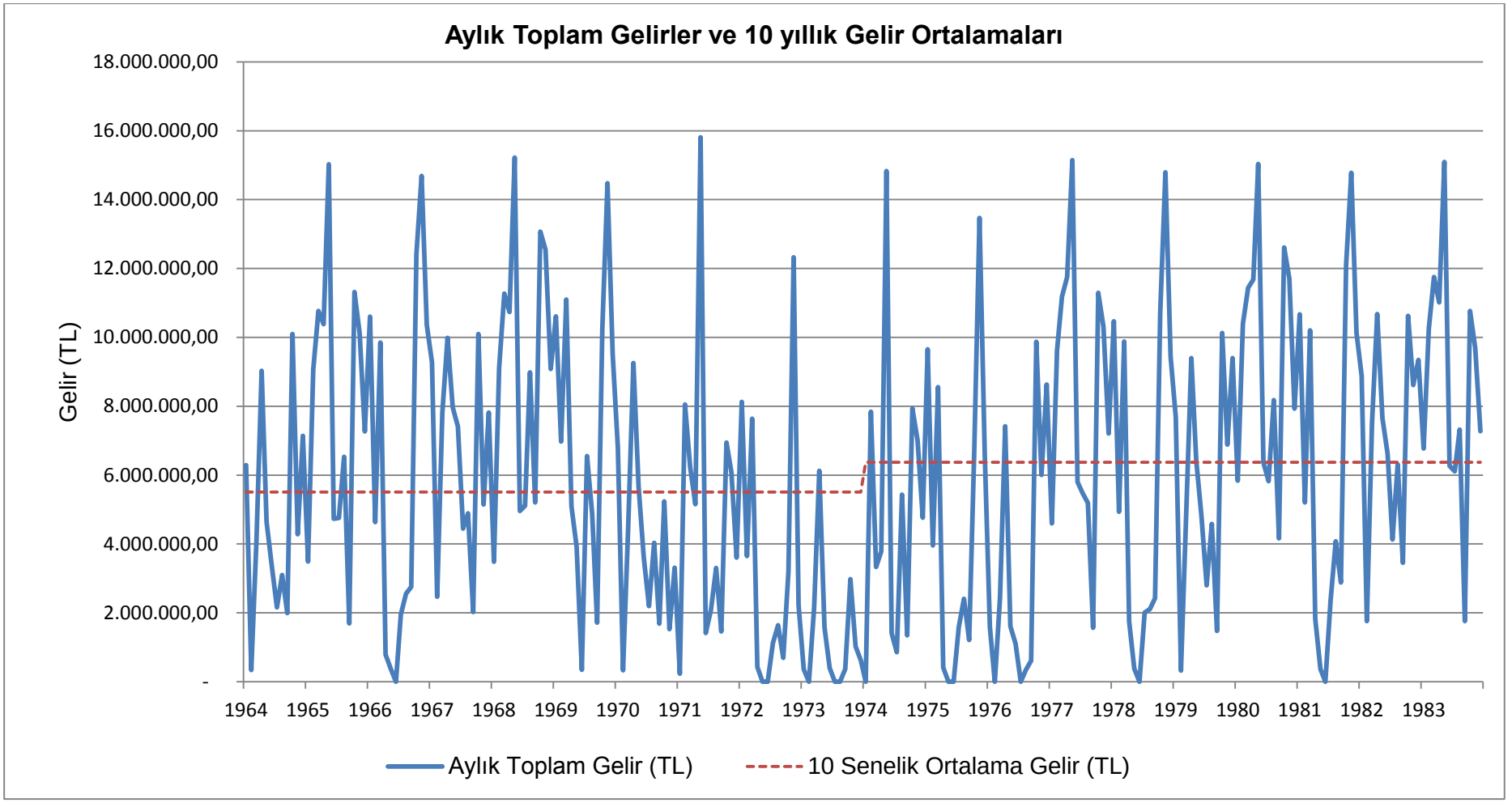
Ortalama günlük getirinin dolu başlama-bitirme koşullarından daha yüksek boş başlama-bitirme koşullarından daha düşük çıktığı görülmüştür. Eklenik toplam gelir değişiminin ikinci 10 senelik dilimde arttığı bu dönemde gelen su hacminin fazla olduğu görülmüştür.

Çizelge 7.5 : Yarı Dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk 20 su yılı).

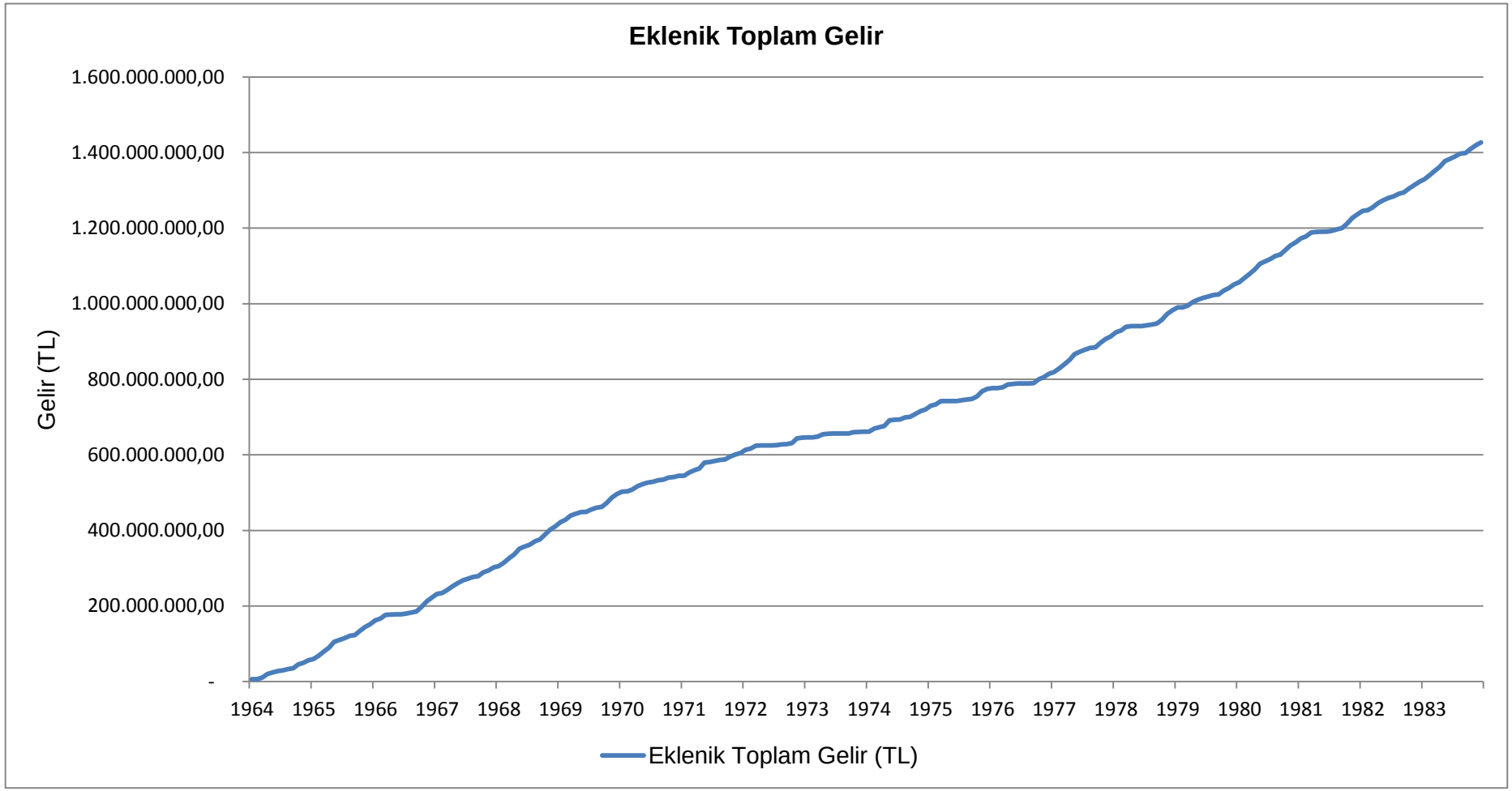
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
3.366	3.283	97,53	177	9.366.040	1.426.589.456	195.289



Şekil 7.15 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk 20 su yılı).



Şekil 7.16 : 20 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları (İlk 20 su yılı).



Şekil 7.17 : 20 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL), (ilk 20 su yılı)..

7.2.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

İlk kısmı oluşturan 20 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi boş hacimle başlamış ve 1984 Eylül tarihi sonunda boş hacimle bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 9.361.049 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 1.428.428.218TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

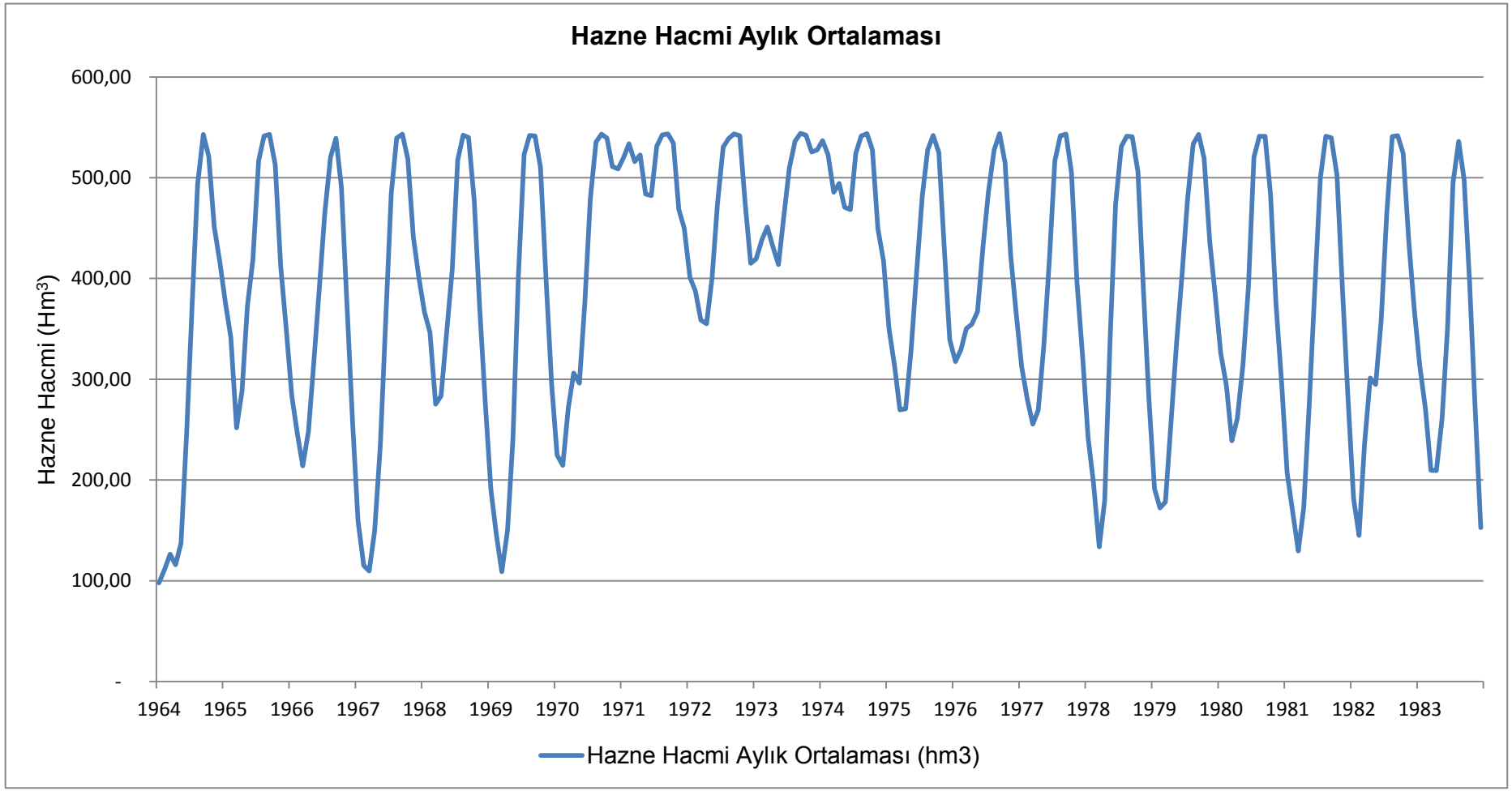
Baraj toplam 3366 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 3290 günü tam kapasite çalışmış ve %97,74'lük tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 195.541 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 177 gündür.

Çizelge 7.6'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.18'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.19'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.20'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

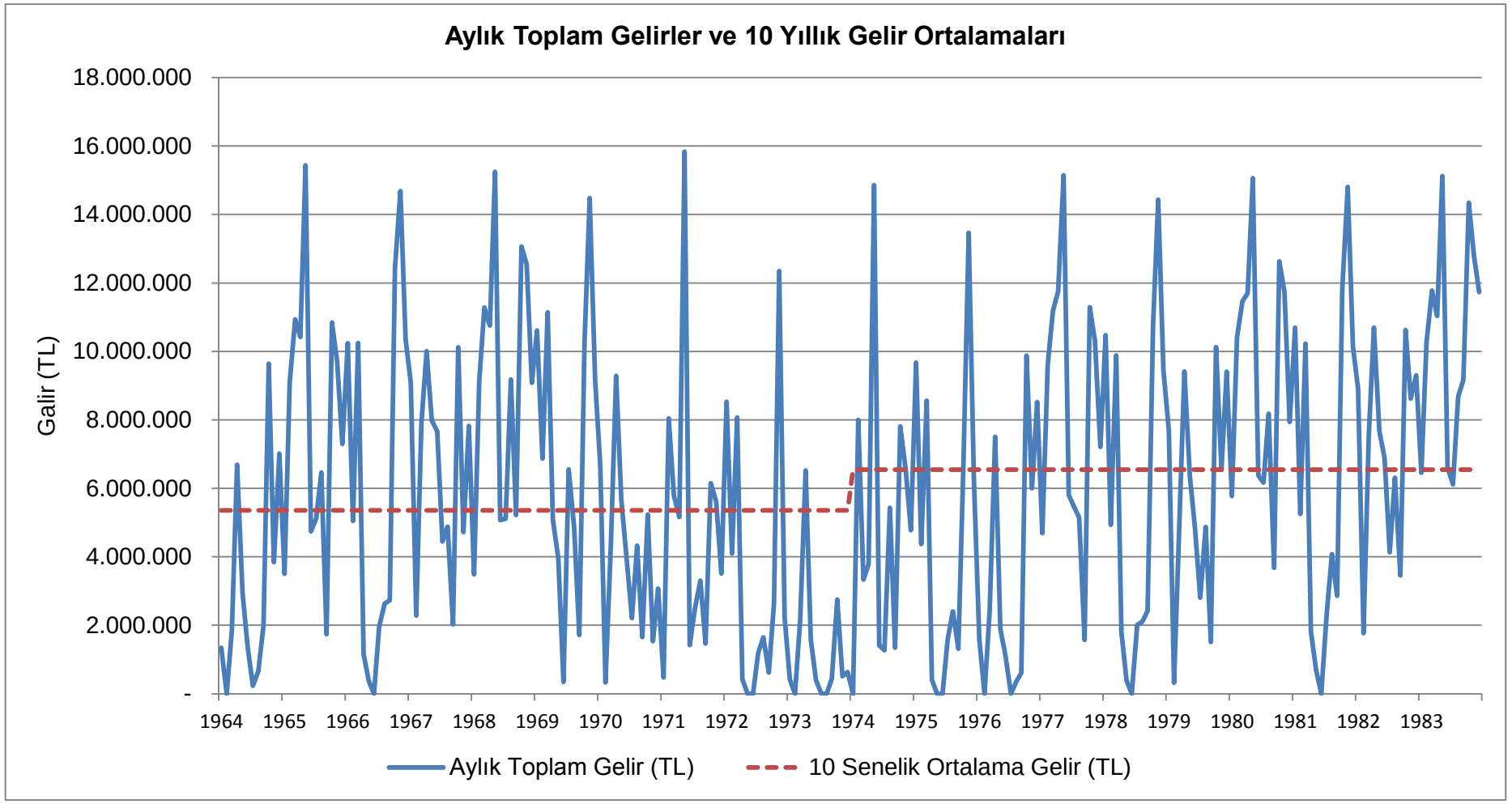
Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Ortalama günlük getirinin dolu başlama-bitirme ve yarı dolu başlama-bitirme koşullarından daha yüksek çıktığı görülmüştür. Boş başlama-bitirme koşulunda en fazla gelir elde edilmesi bu senaryoda gelen su hacminin fazla olduğunu bize göstermektedir.

Çizelge 7.6 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk 20 su yılı).

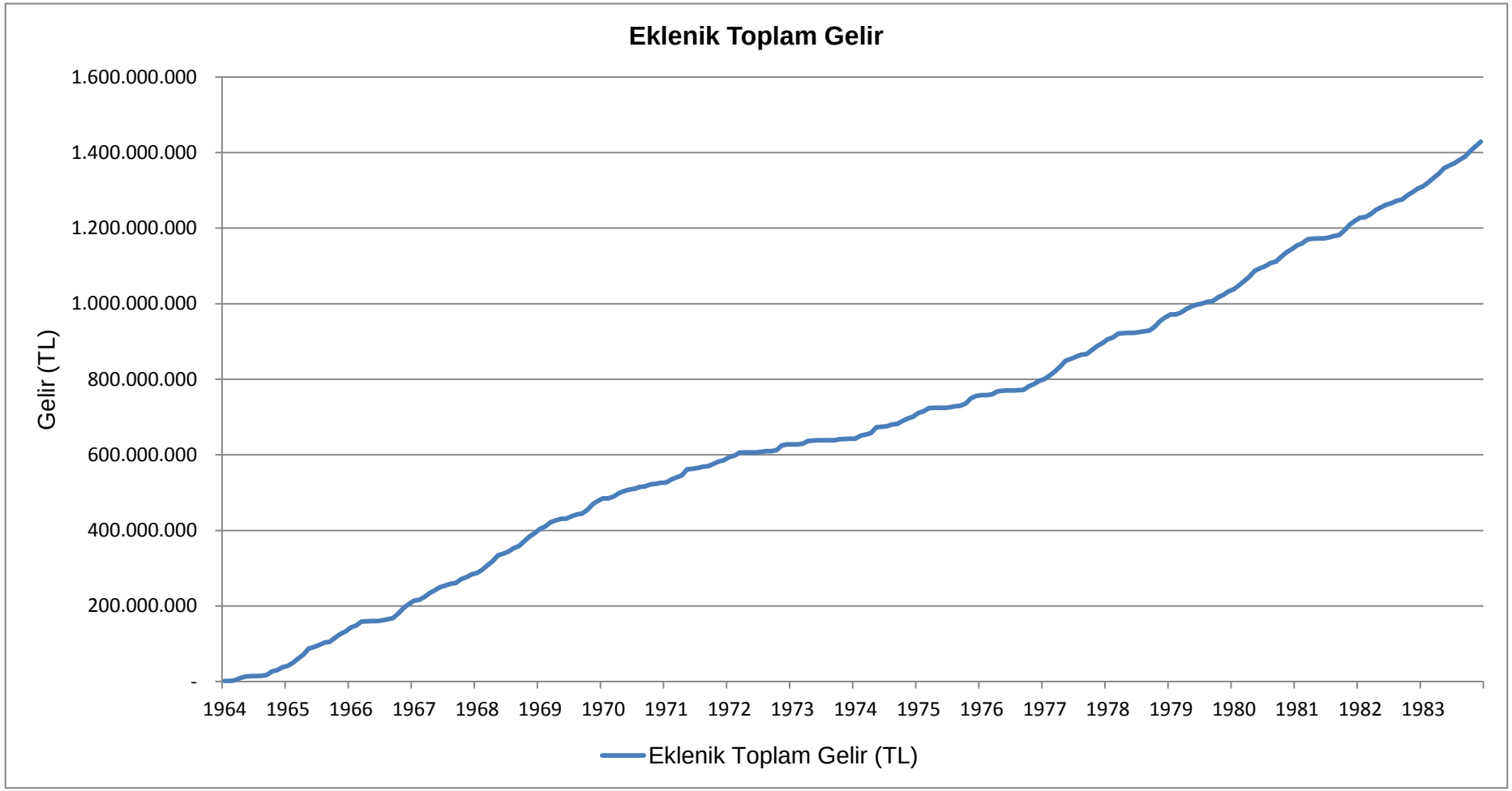
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
3.366	3.290	97,74	177	9.361.049	1.428.428.218	195.541



Şekil 7.18 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk 20 su yılı).



Şekil 7.19 : 20 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları (İlk 20 su yılı).



Şekil 7.20 : 20 su yılı hazne boş başlama - boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL), (ilk 20 su yılı).

7.3 İkinci Kısım 19 Su Yılı Senaryoları

7.3.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

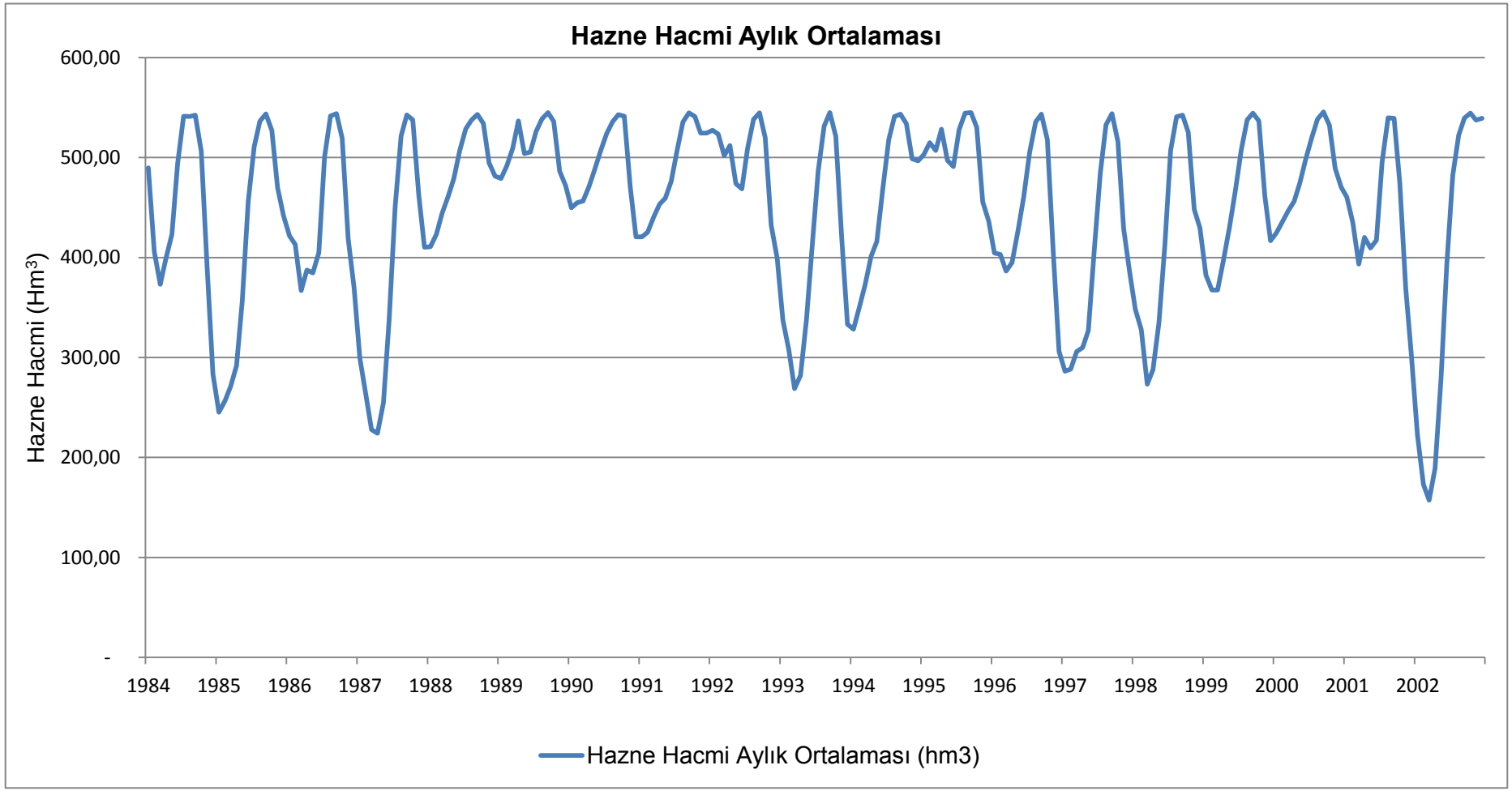
İkinci kısımı oluşturan 19 su yılı için 1984 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 2003 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 4.405.933 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 735.813.243TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Baraj toplam 1547 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1503 günü tam kapasite çalışmış ve %97,13'lük tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 106.040 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 89 gündür.

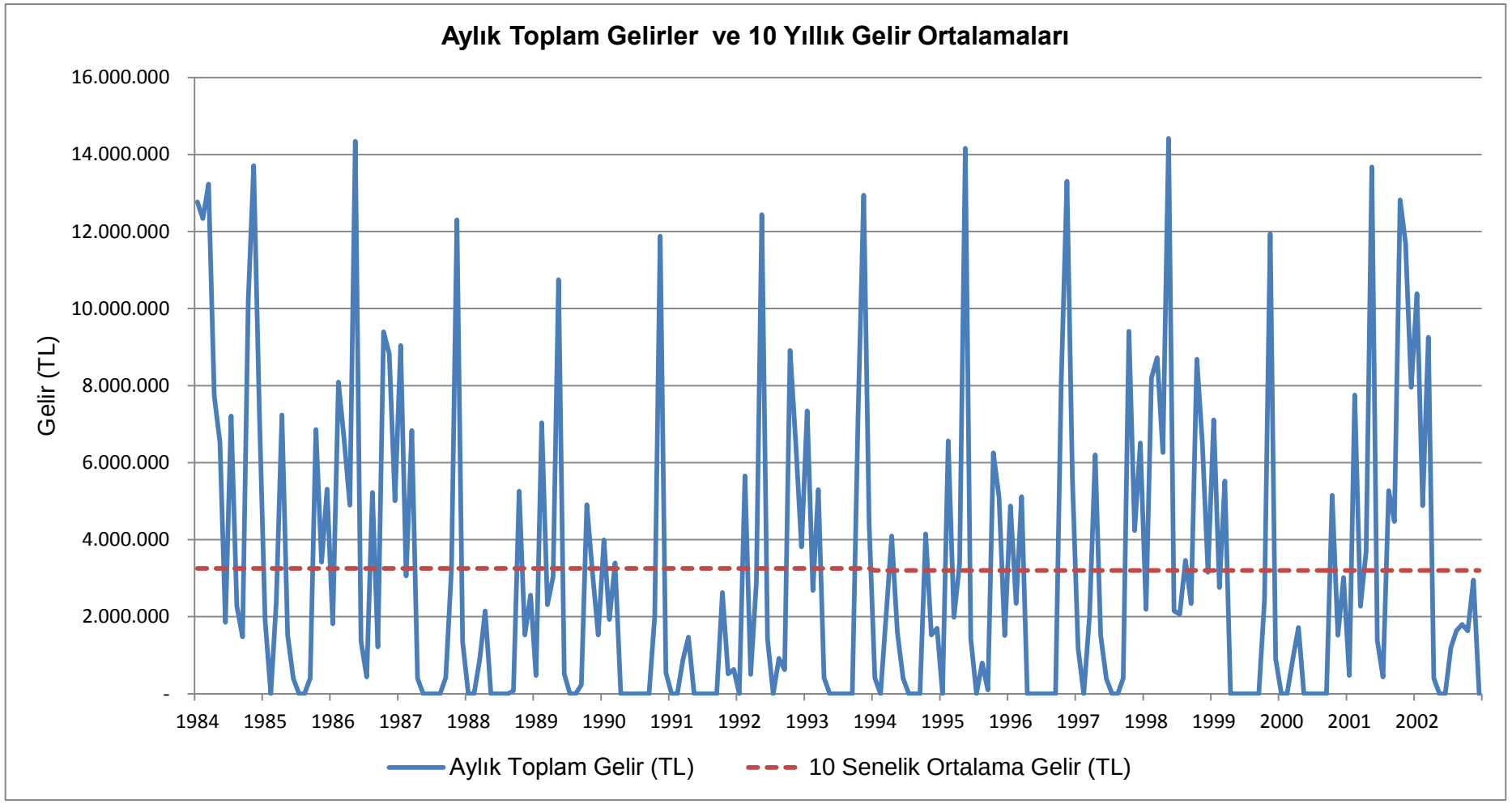
Çizelge 7.7'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.21'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.22'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.23'de eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.24'te karşılaştırma yapabilmek için 19 su yılında hazneye gelen su hacmi miktarları verilmiştir. Yarı dolu başlama-bitirme koşulundan daha düşük, boş başlama-bitirme koşulundan daha yüksek getiri elde edilmiştir.

Çizelge 7.7 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 19 su yılı).

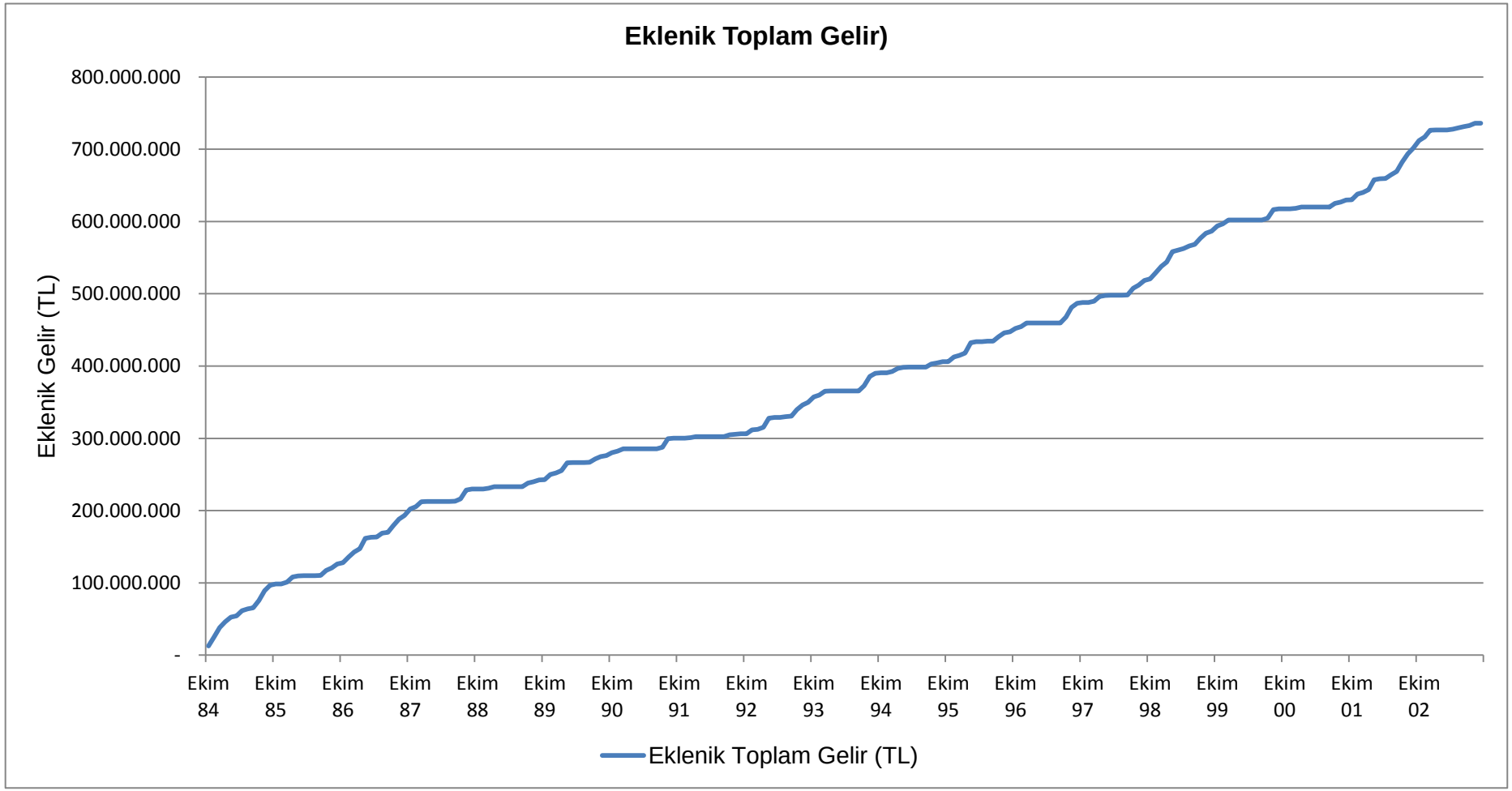
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1.547	1.503	97,13	89	4.405.933	735.813.243	106.040



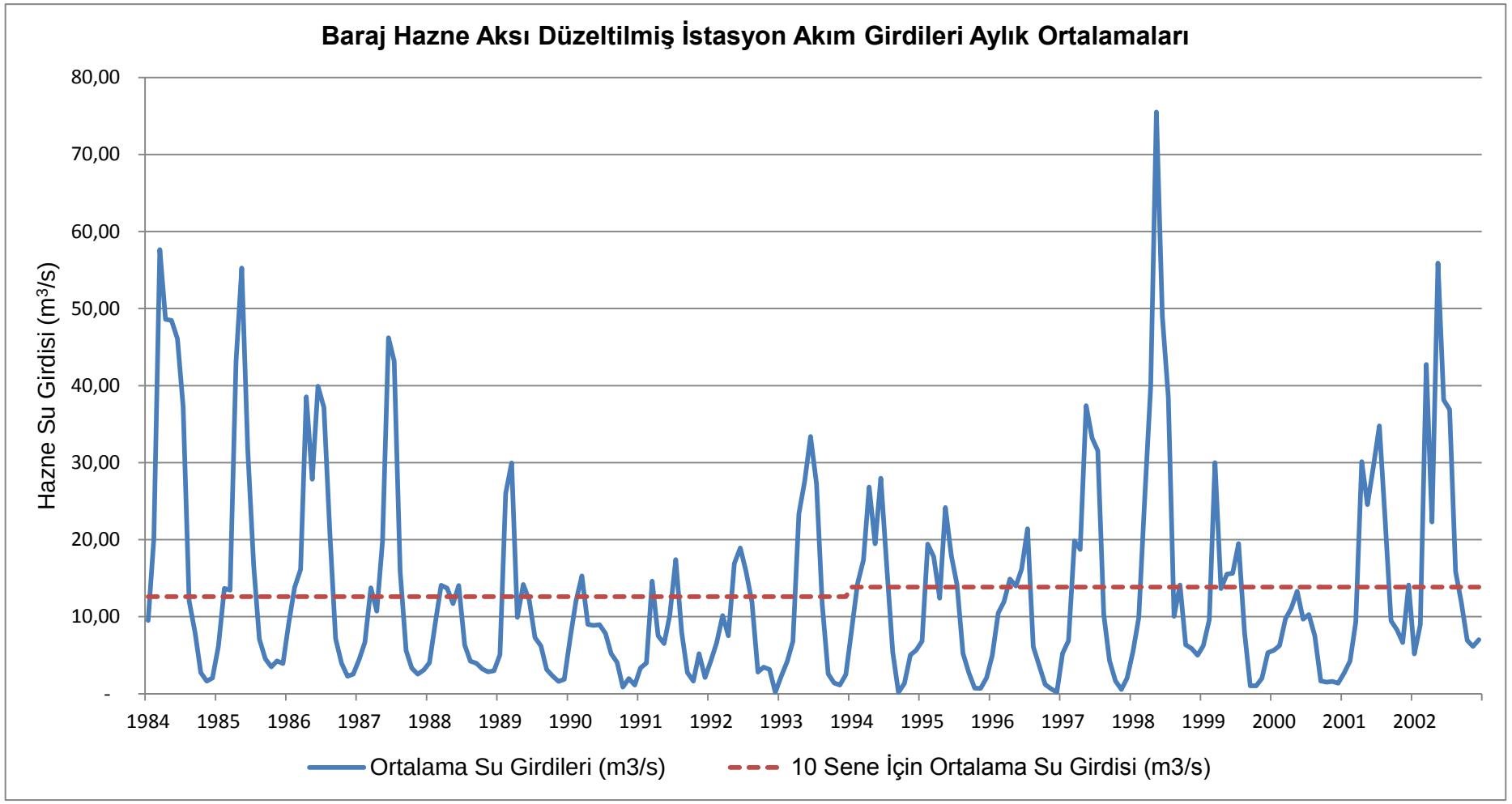
Şekil 7.21 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 19 su yılı).



Şekil 7.22 : İkinci kısım 19 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.23 : İkinci kısım 19 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.24 : İkinci kısım 19 su yılı hazne ortalama su girdileri (m3/s).

7.3.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

İkinci kısımı oluşturan 19 su yılı için 1984 Ekim tarihinde hazne hacmi yarı dolu başlamış ve 2003 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi yarı dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 4.378.590 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 738.254.186TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

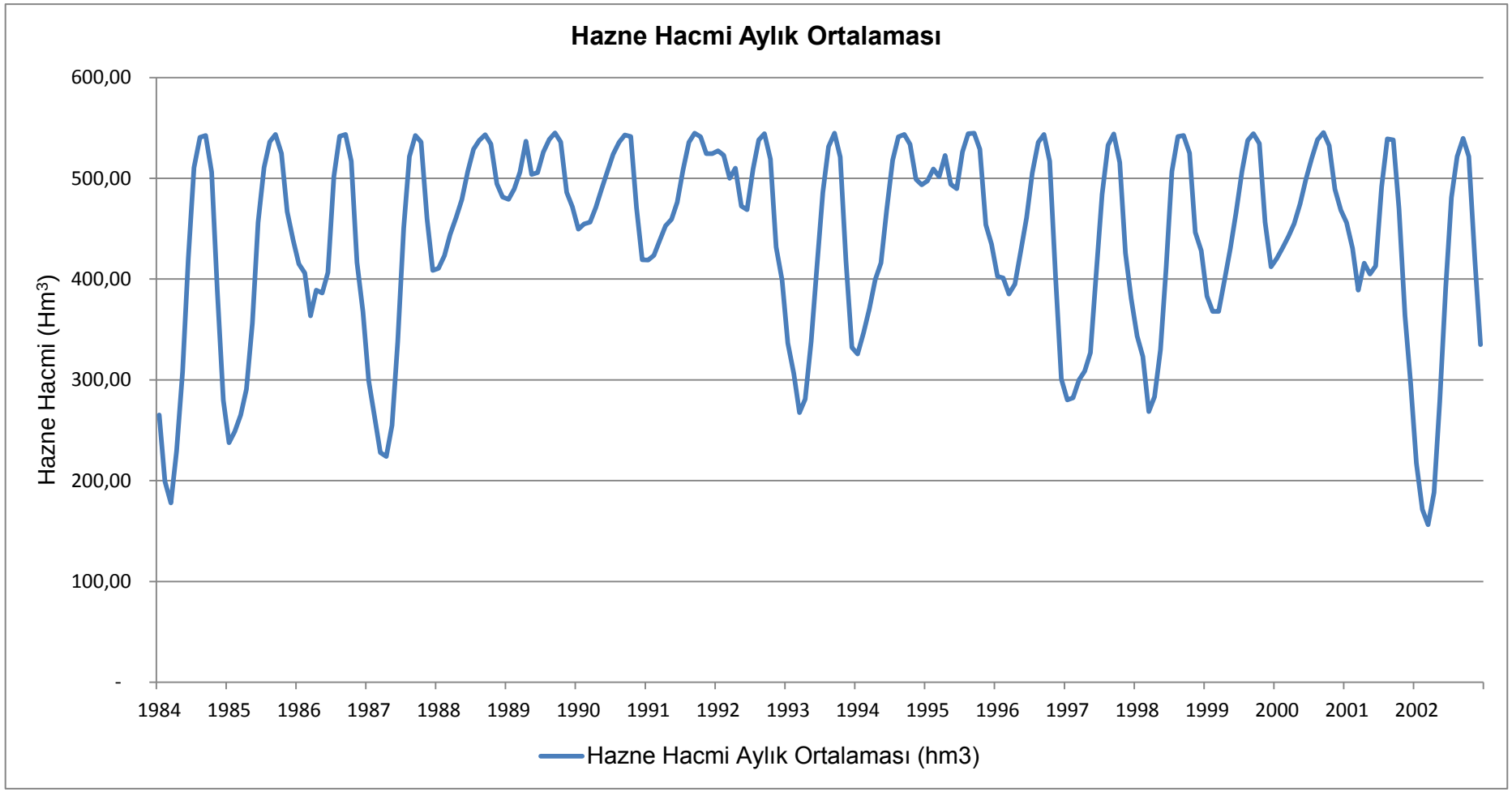
Baraj toplam 1547 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1507 günü tam kapasite çalışmış ve %97,39'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 106.392 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 78 gündür.

Çizelge 7.8'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.25'te hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.26'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.27'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

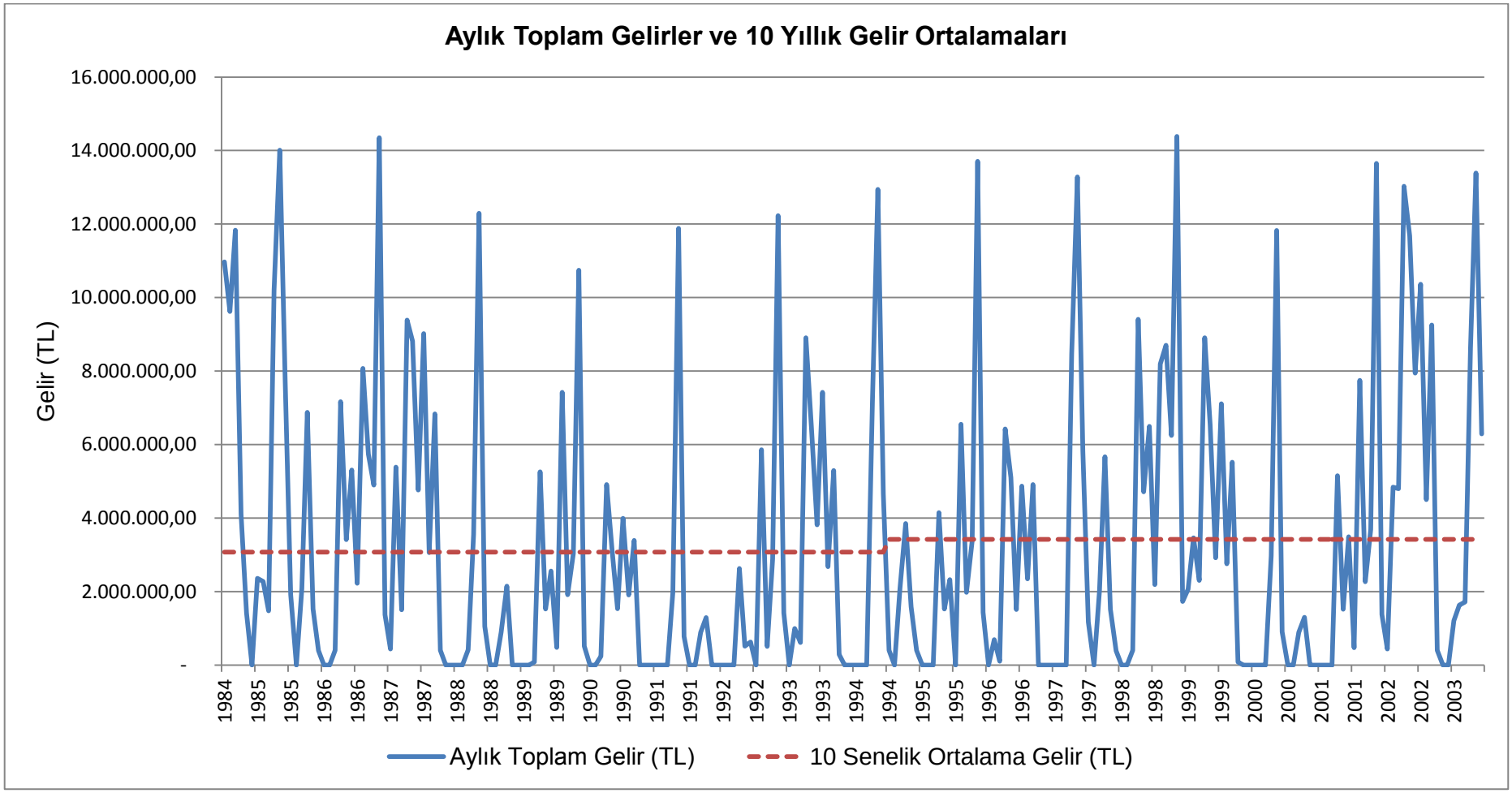
Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Ortalama günlük getirinin dolu başlama-bitirme ve boş başlama-bitirme koşullarından daha yüksek çıktığı görülmüştür.

Çizelge 7.8 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 19 su yılı).

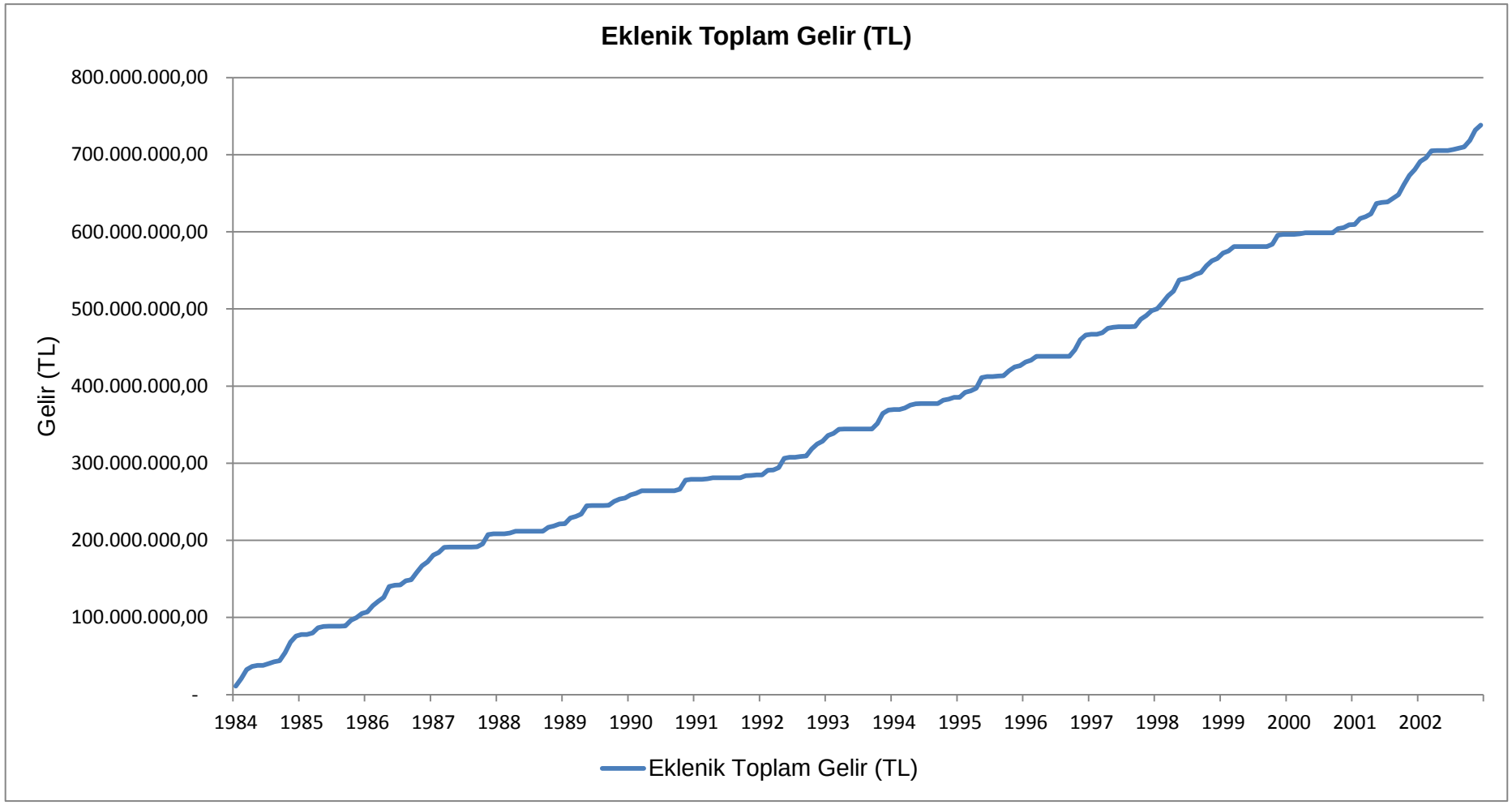
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1.547	1.507	97,39	78	4.378.590	738.254.186	106.392



Şekil 7.25 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 19 su yılı).



Şekil 7.26 : İkinci kısım 19 su yılı hazne yarı dolu başlama–yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.27 : İkinci kısım 19 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.3.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

İkinci kısımı oluşturan 19 su yılı için 1984 Ekim tarihinde hazne hacmi boş başlamış ve 2003 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi boş şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 4.349.614 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 733.883.893 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

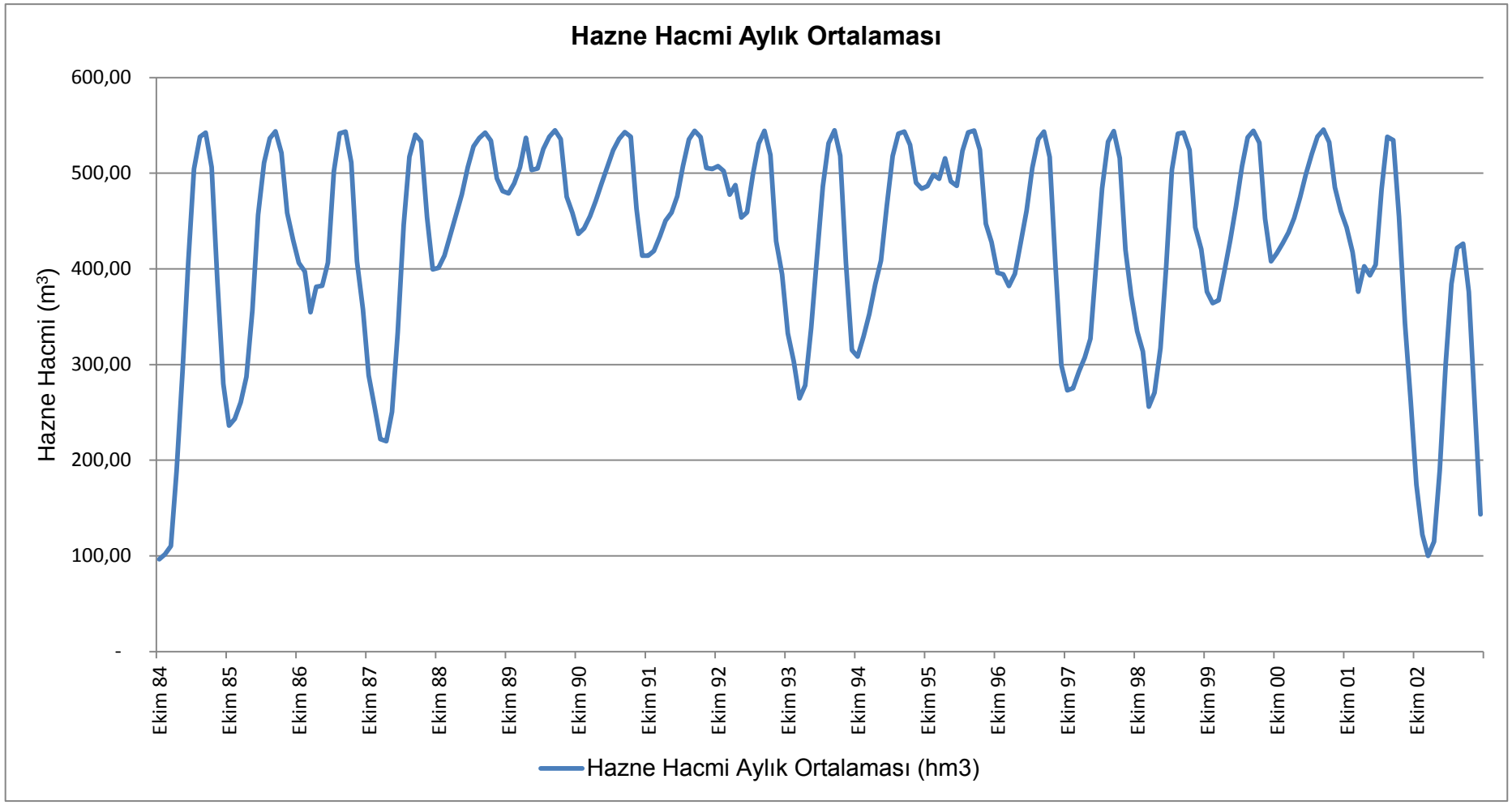
Baraj toplam 1547 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1507 günü tam kapasite çalışmış ve %97,39'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 105.762 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı ise 73 gündür.

Çizelge 7.9'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.28'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.29'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.30'da eklenik gelir grafiği verilmiştir.

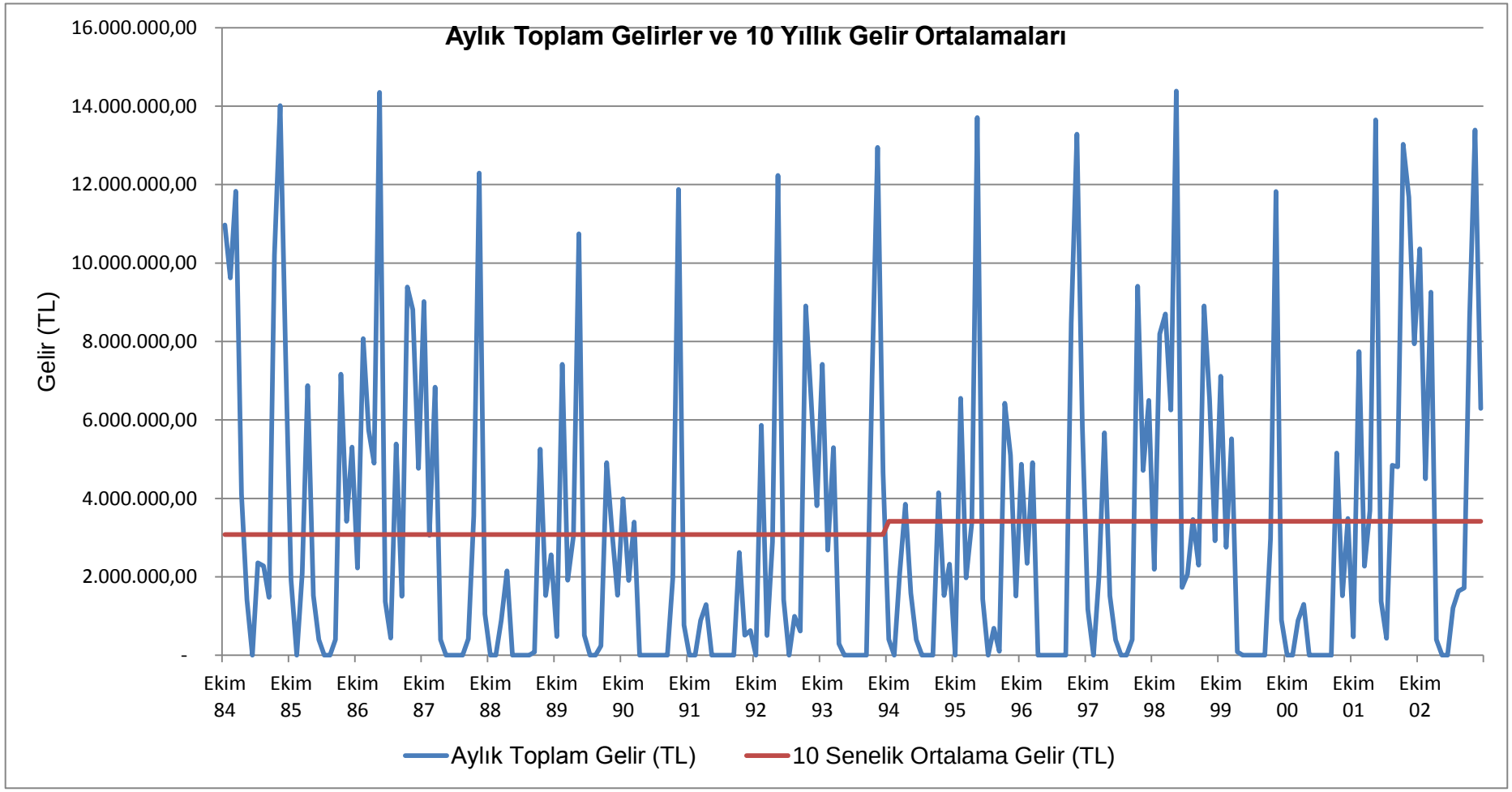
Ortalama günlük getirinin dolu başlama-bitirme ve yarı dolu başlama-bitirme koşullarından daha düşük çıktığı görülmüştür. Boş başlama-bitirme koşulunda en düşük gelirin elde edilmesi bu senaryoda gelen suyun az olduğunun bir göstergesidir.

Çizelge 7.9 : Boş başlama - boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 19 su yılı).

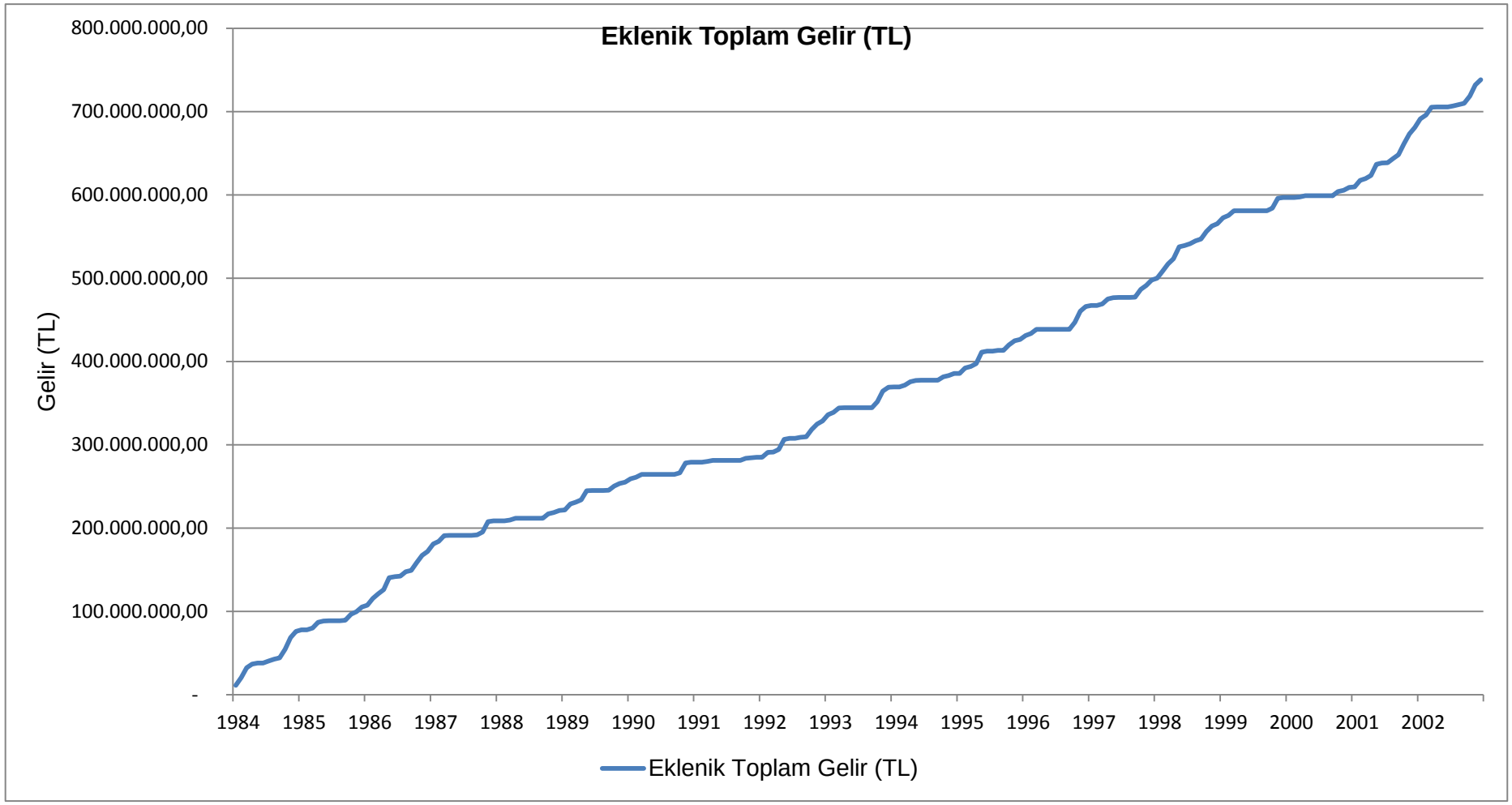
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1547	1507	97,39	73	4.349.614	733.883.893	105.762



Şekil 7.28 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 19 su yılı).



Şekil 7.29 : İkinci kısım 19 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.30 : İkinci kısım 19 su yılı hazne boş başlama–boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..

7.4 İlk Kısım 9 Su Yılı Senaryoları

7.4.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

İlk kısmı oluşturan 9 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 1973 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 4.344.102 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 647.959.602 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

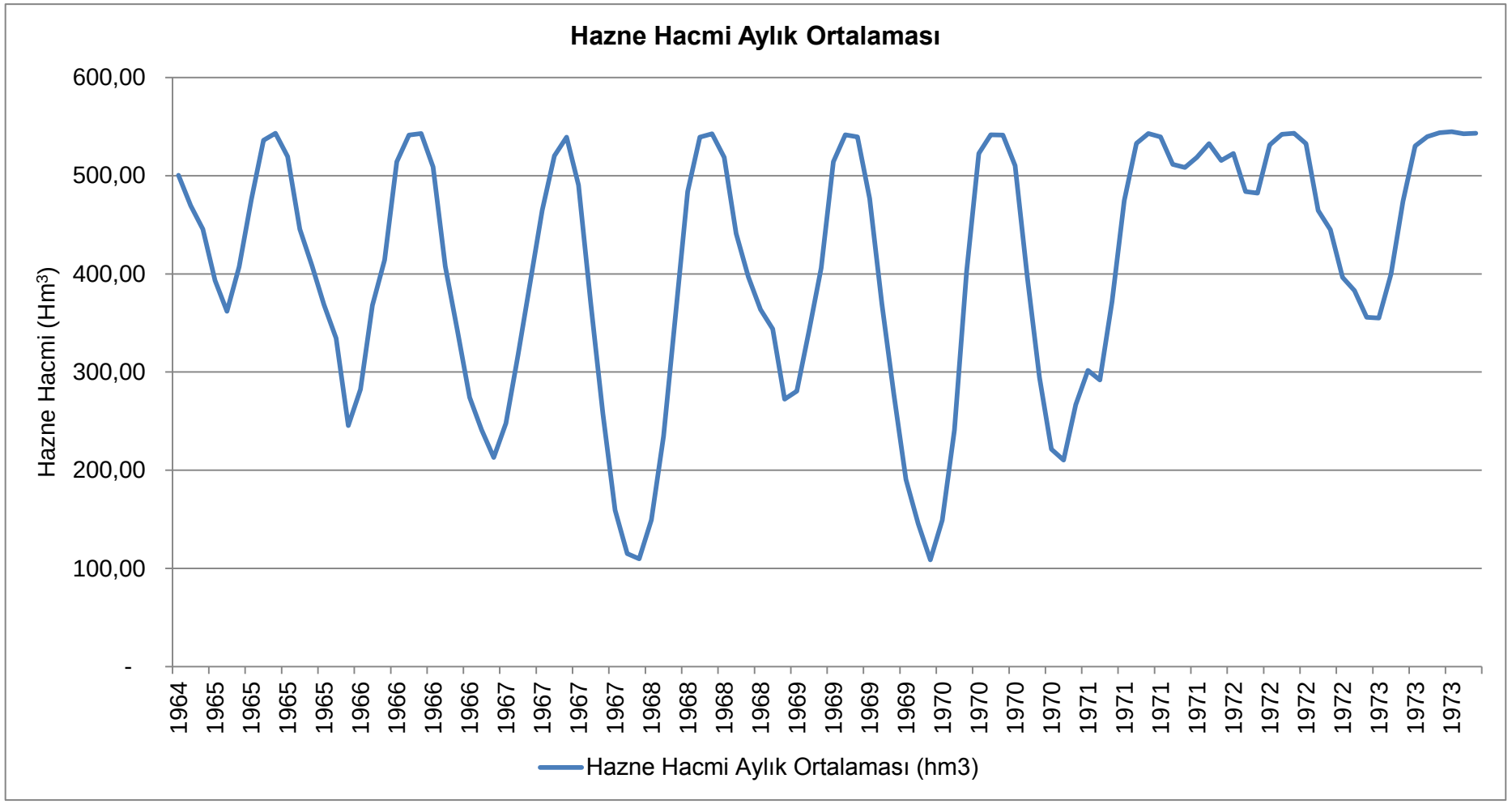
Baraj toplam 1554 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1508 günü tam kapasite çalışmış ve %96,99'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 197.128 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 93 gündür. Yarı dolu başlama-bitiş ve boş başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.10'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

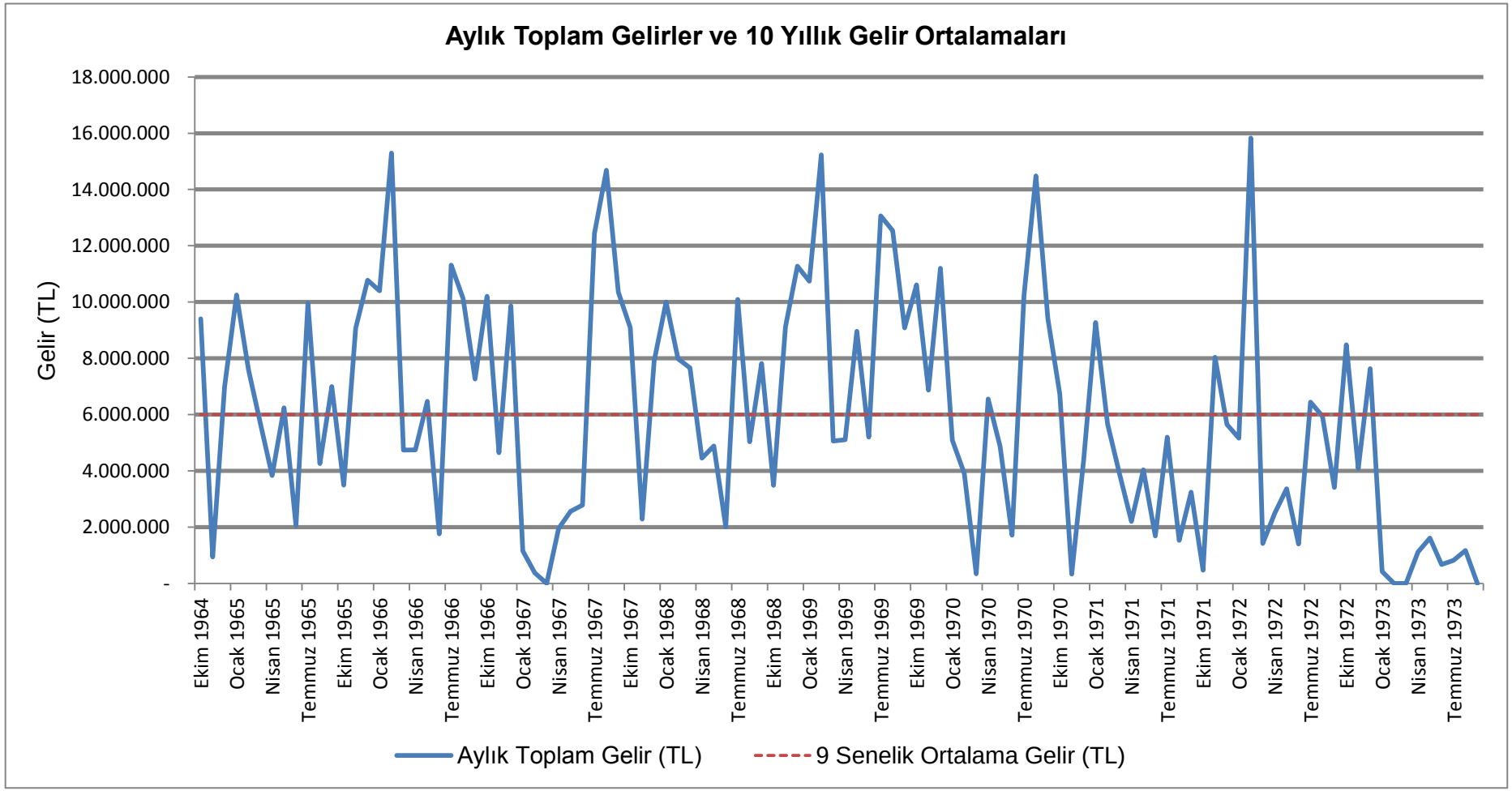
Şekil 7.31'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.32'de aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.33'te eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.34'te karşılaştırma yapabilmek için ilk 9 su yılında hazneye gelen su hacmi miktarları verilmiştir.

Çizelge 7.10 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 9 su yılı).

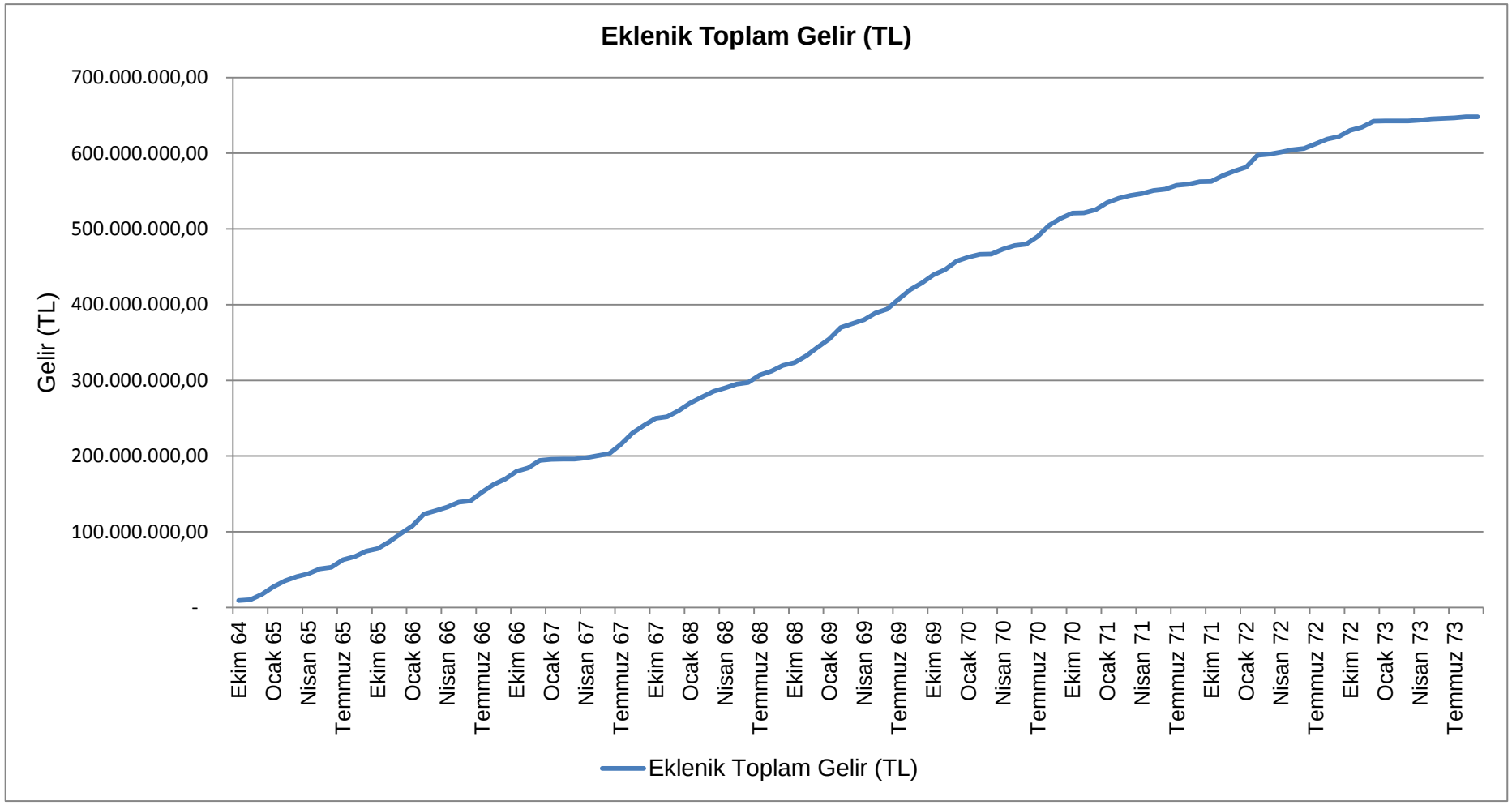
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1554	1508	96,99	93	4.344.102	647.959.602	197.128



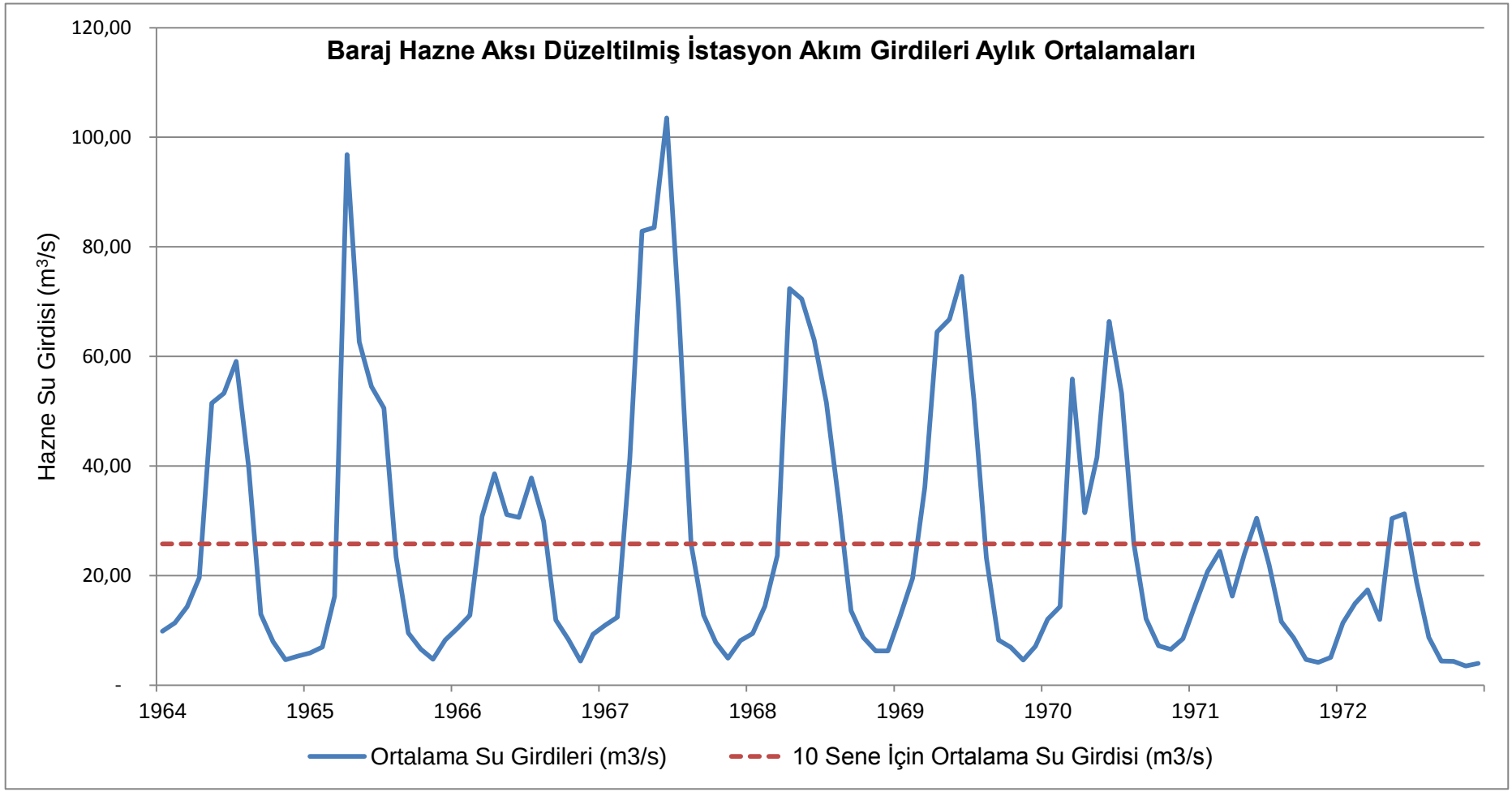
Şekil 7.31 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk kısım 9 su yılı).



Şekil 7.32 : İlk kısım 9 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.33 : İlk kısım 9 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.34 : İlk kısım 9 su yılı hazne ortalama su girdileri (m3/s).

7.4.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

İlk kısmı oluşturan 9 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi yarı dolu başlamış ve 1973 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi yarı dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 4.326.992 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 654.233.398 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Baraj toplam 1554 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1500 günü tam kapasite çalışmış ve %96,47'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 199.037 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 93 gündür.

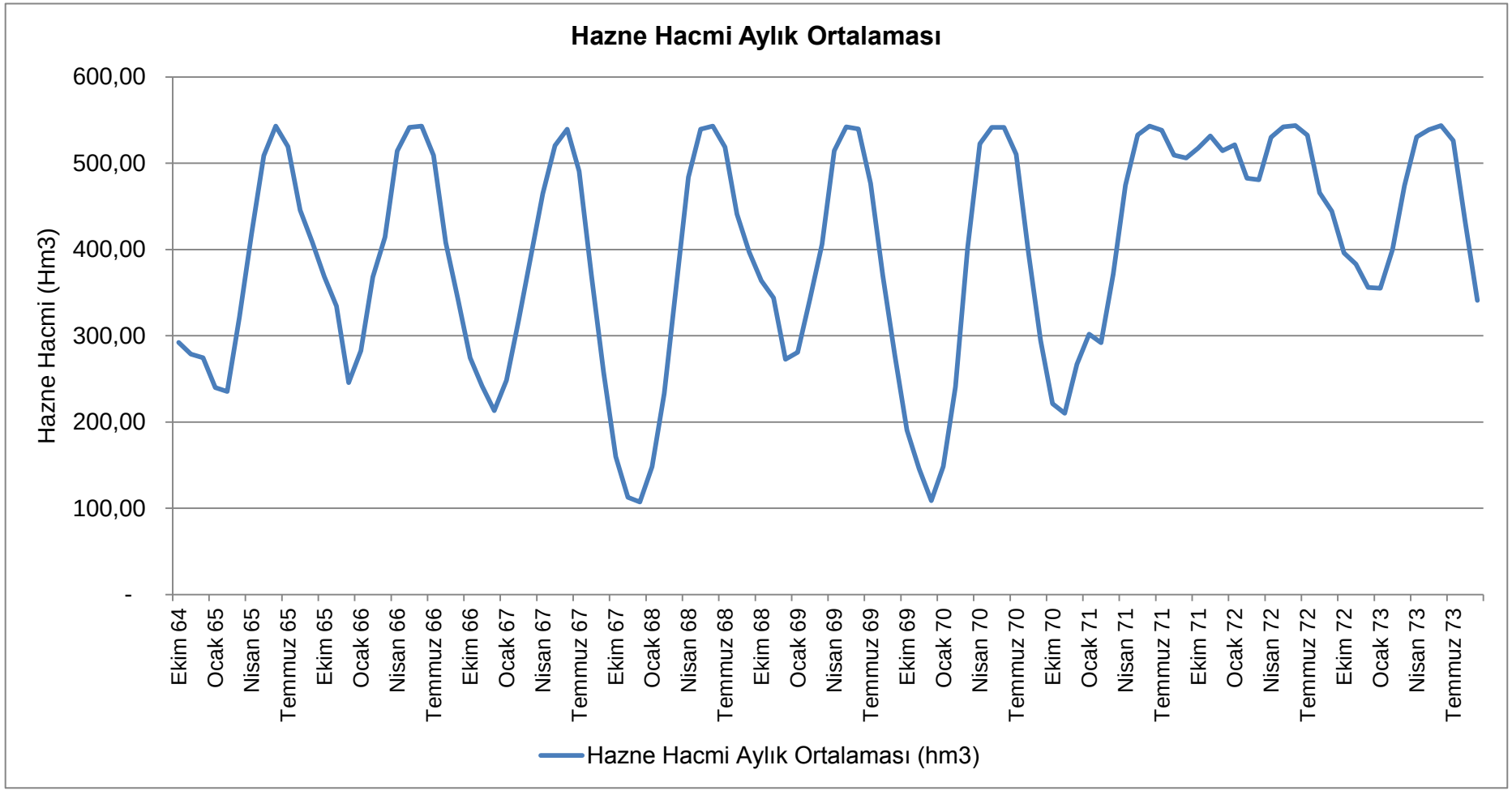
Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Boş başlama-bitiş göre daha düşük getiri, dolu başlama-bitiş koşullarına göre daha yüksek getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.11'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

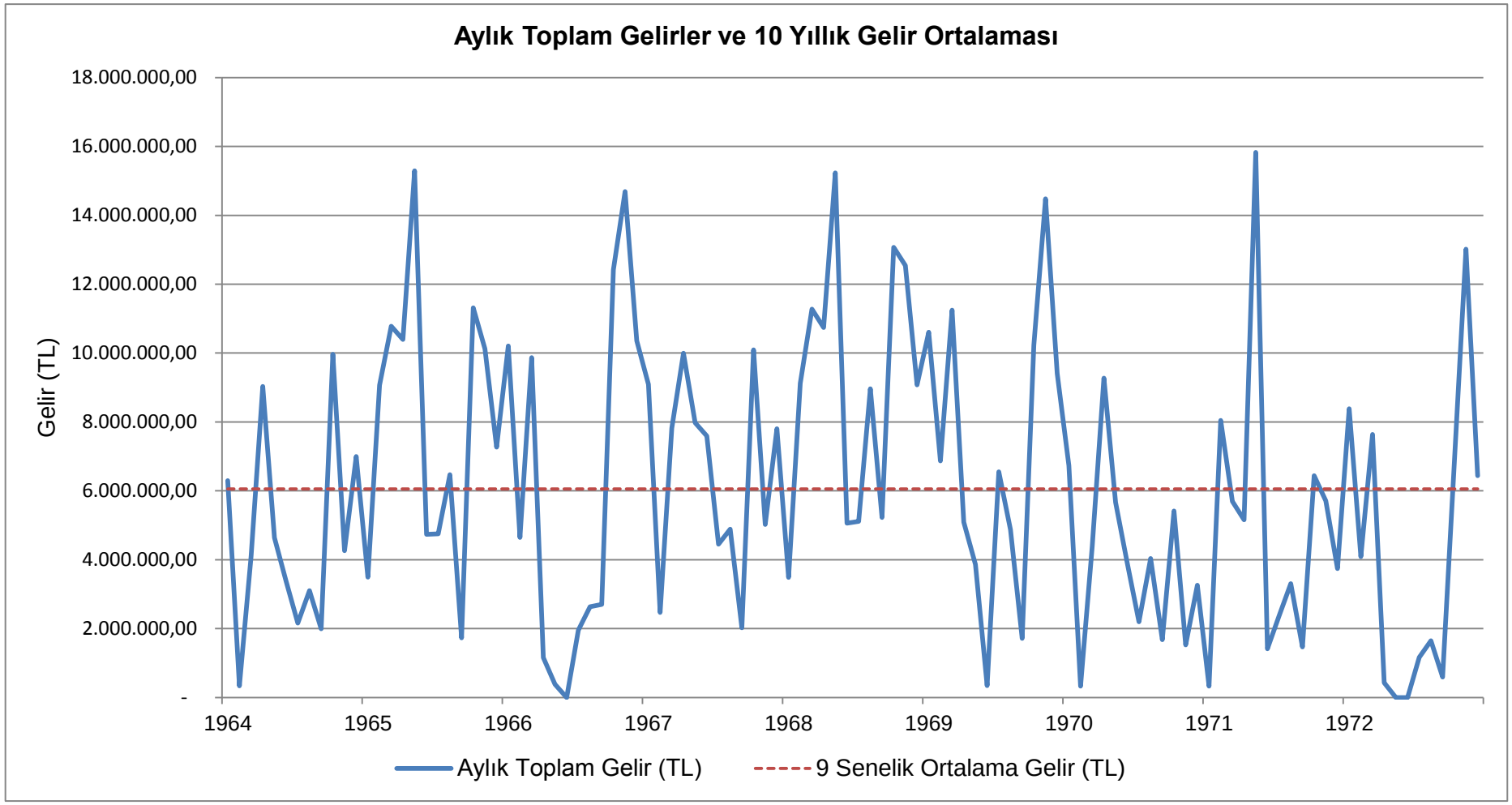
Şekil 7.35'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.36'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.37'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.11 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 9 su yılı).

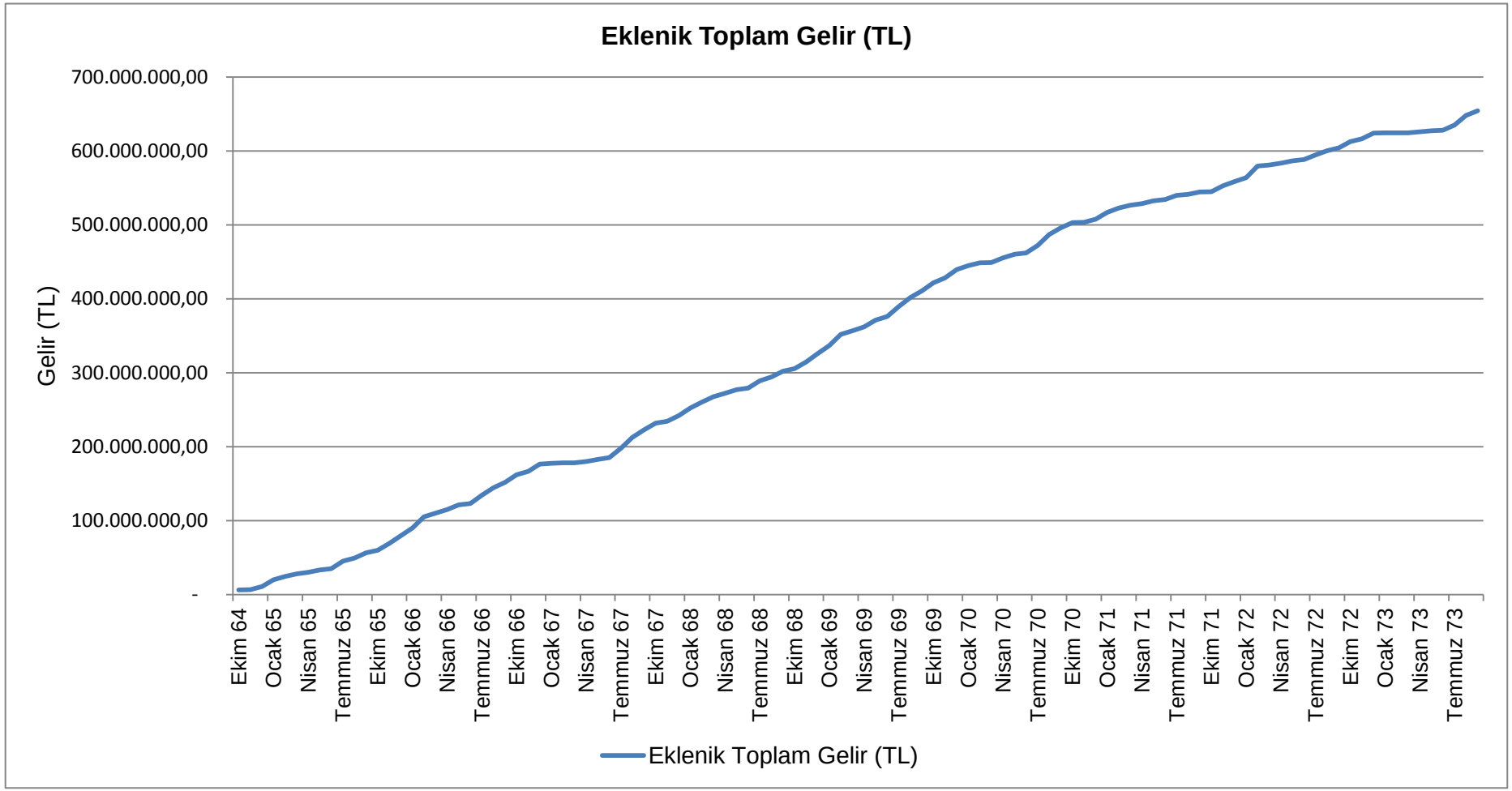
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1554	1500	96,47	93	4.326.992	654.233.398	199.037



Şekil 7.35 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk kısım 9 su yılı).



Şekil 7.36 : İlk kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.37 : İlk kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL)..

7.4.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

İlk kısmı oluşturan 9 su yılı için 1964 Ekim tarihinde hazne hacmi boş başlamış ve 1973 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi boş şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 4.307.605 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 654.643.712 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

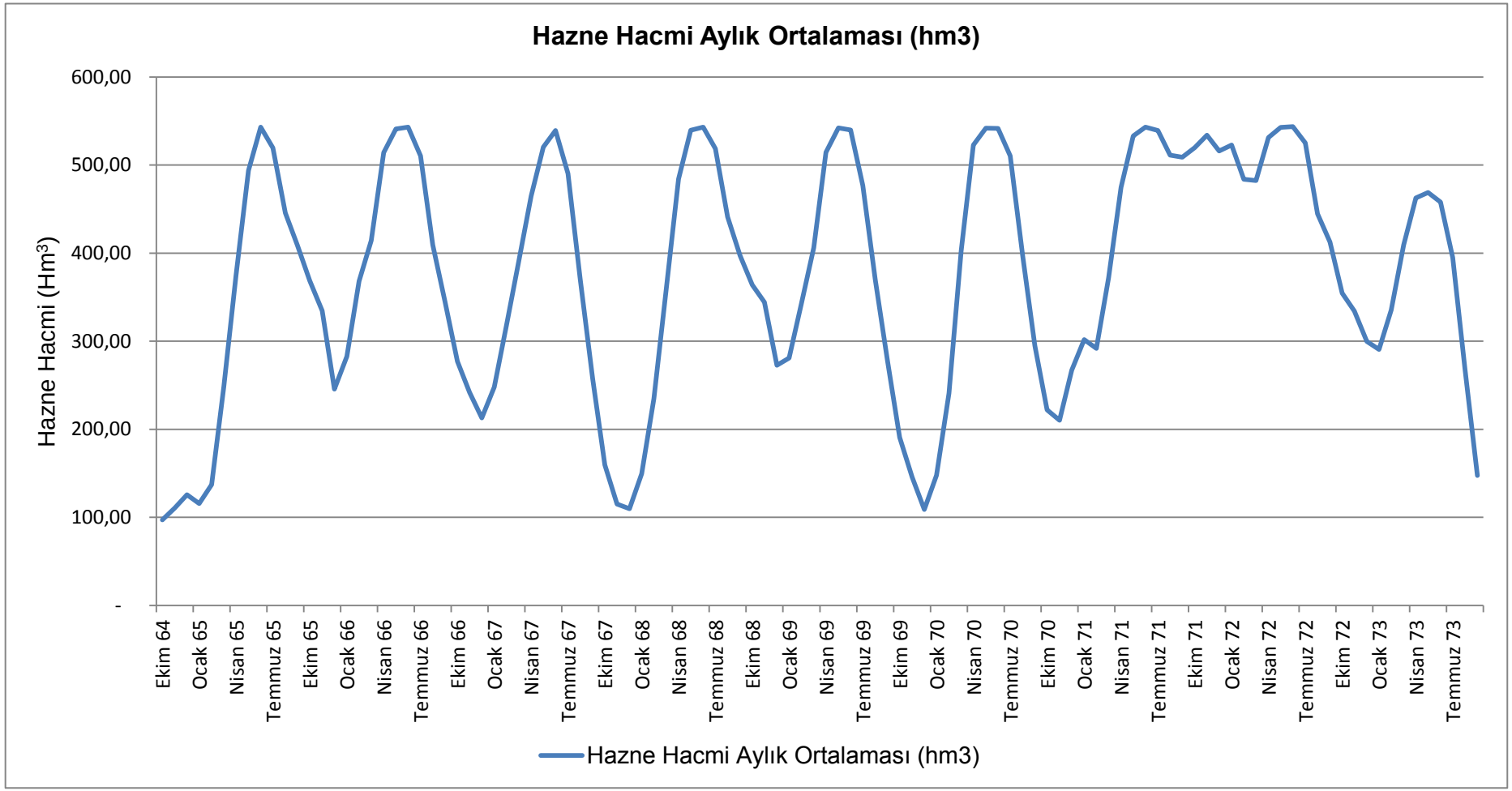
Baraj toplam 1554 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1501 günü tam kapasite çalışmış ve %96,54'lük tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 199.161 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 105 gündür.

Dolu başlama-bitiş ve yarı dolu başlama-bitiş koşullarına göre daha yüksek getiri sağlanmıştır. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Uzun modeller içerisinde en çok günlük getiri ortalamasına sahip senaryodur.

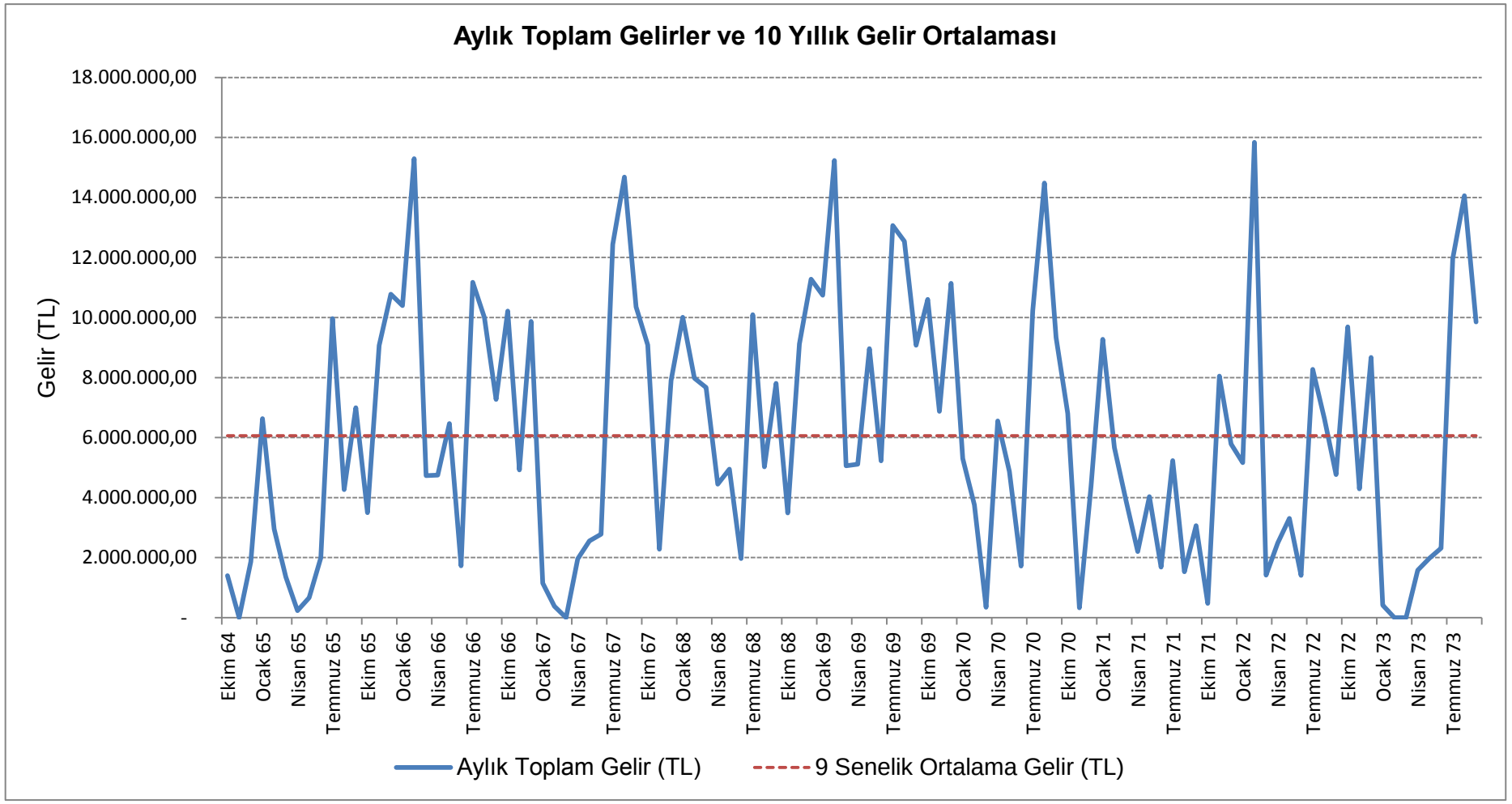
Çizelge 7.12'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.38'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.39'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.40'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.12 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 9 su yılı)

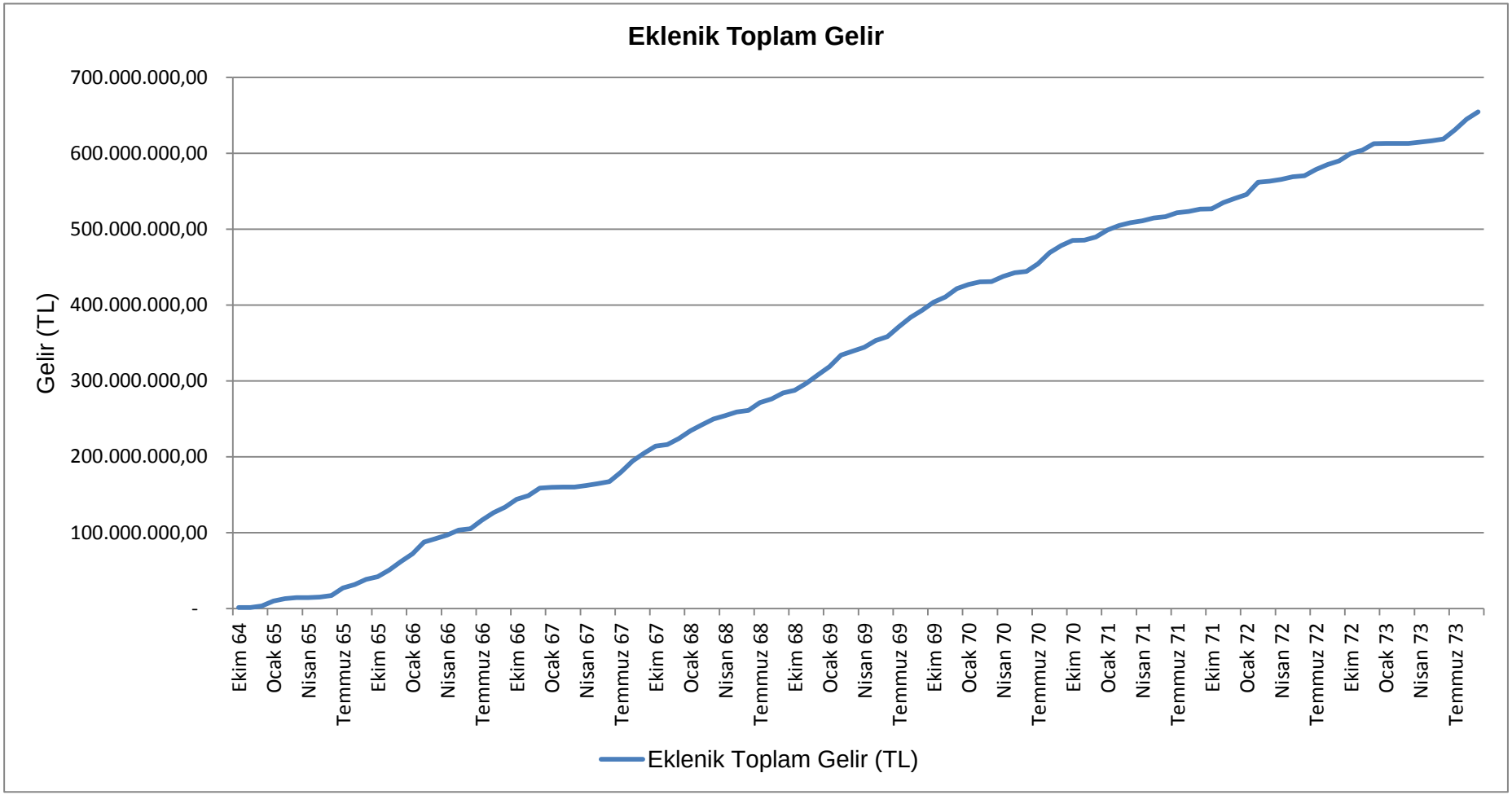
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1.554	1.501	96,54	105	4.307.605	654.643.712	199.161



Şekil 7.38 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ilk kısım 9 su yılı).



Şekil 7.39 : İlk kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.40 : İlk kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.5 İkinci Kısım 11 Su Yılı Senaryoları

7.5.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

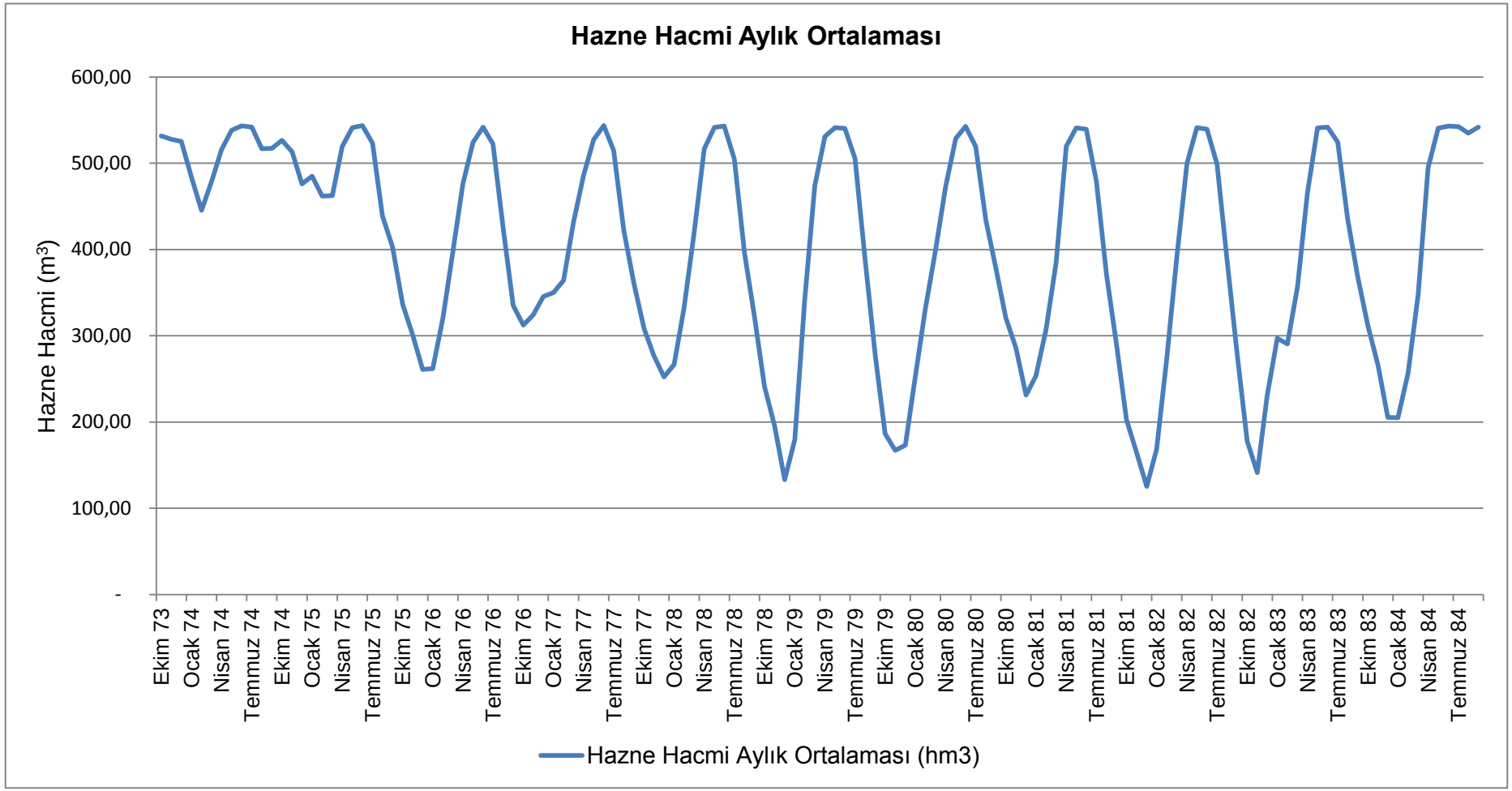
İkinci kısmı oluşturan 11 su yılı için 1973 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 1984 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 5.042.136 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 768.503.456 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Baraj toplam 1811 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1772 günü tam kapasite çalışmış ve %97,82'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 191.265 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 87 gündür. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Yarı dolu başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük boş başlama-bitiş koşuluna göre daha yüksek getiri sağlanmıştır.

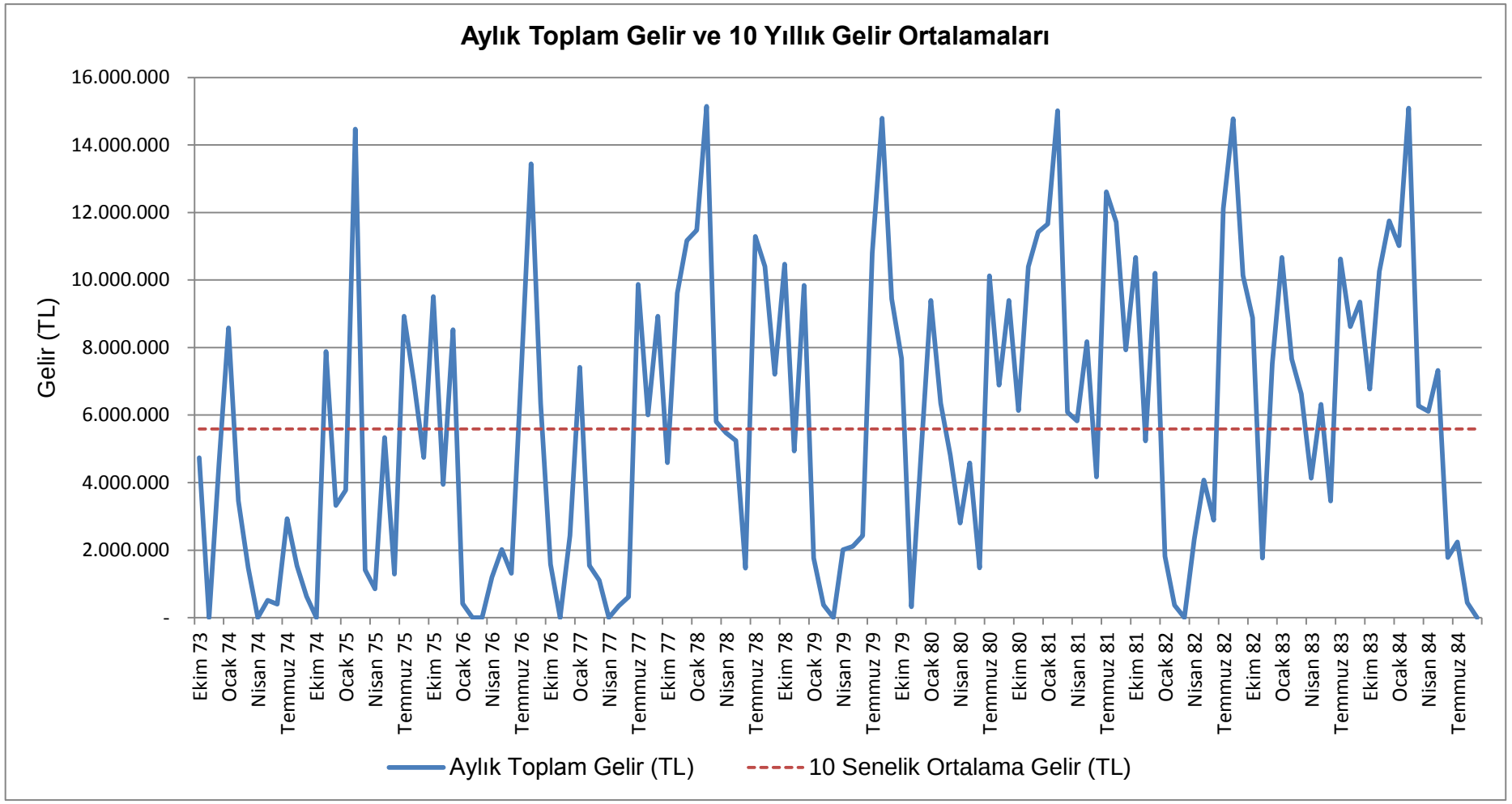
Çizelge 7.13'te gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.41'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.42'de aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.43'te eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.44'te karşılaştırma yapabilmek için ikinci 11 su yılında hazneye gelen su hacmi miktarları verilmiştir.

Çizelge 7.13 : Dolu başlama – dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ilk kısım 11 su yılı).

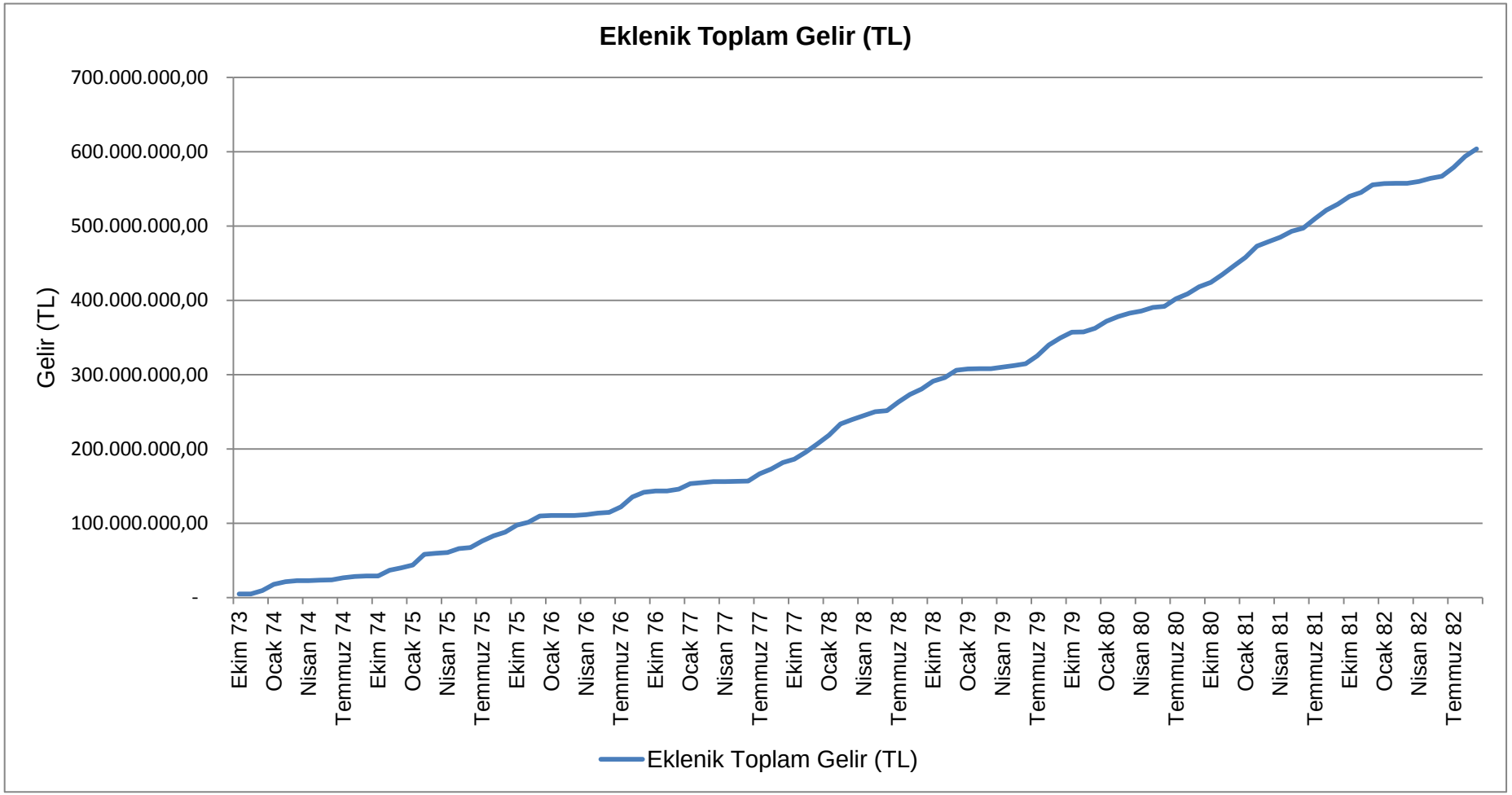
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1.811	1.772	97,82	87	5.042.135	768.503.456	191.265



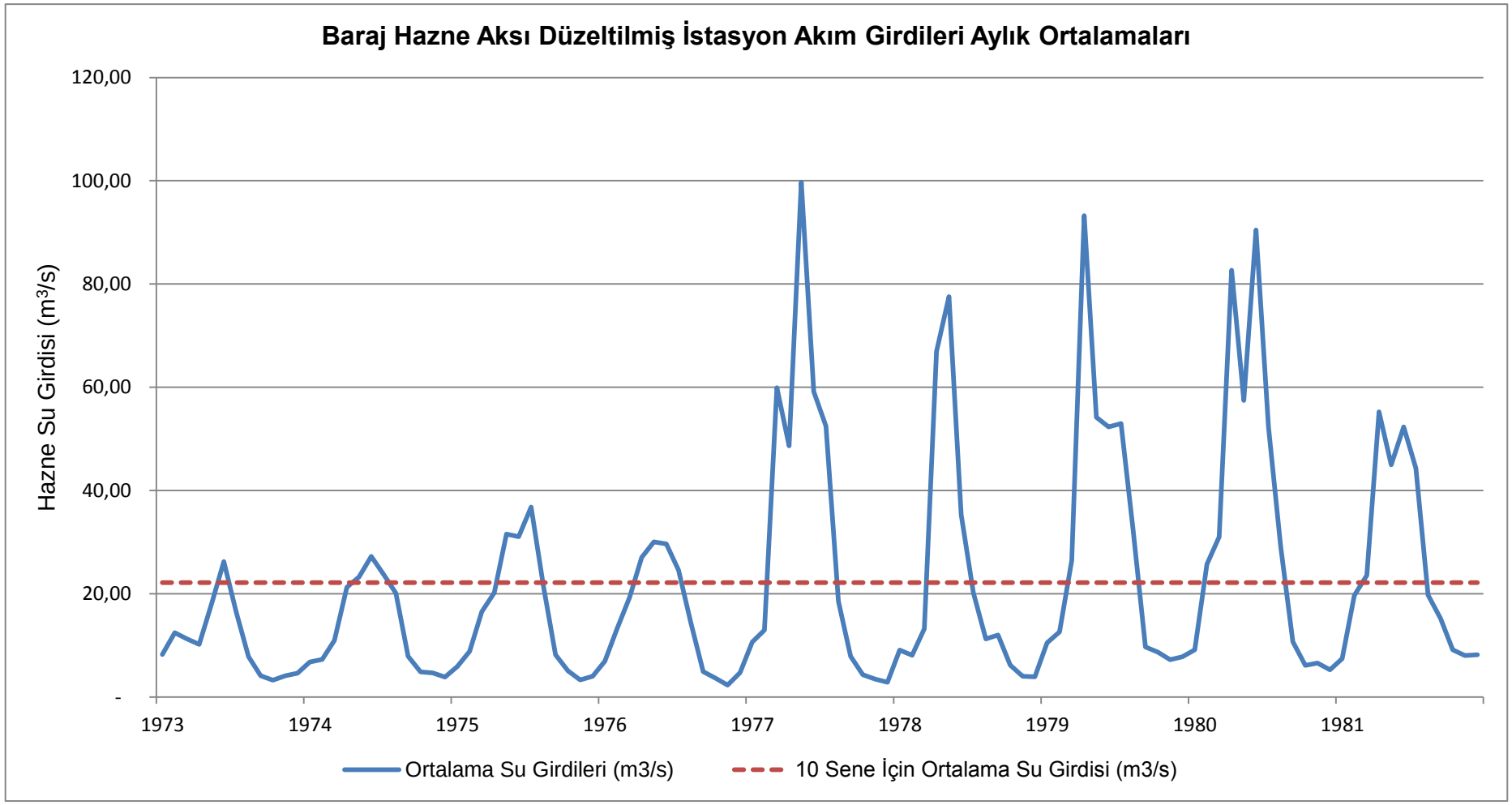
Şekil 7.41 : Hazne dolu başlama–dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 11 su yılı).



Şekil 7.42 : İkinci kısım 11 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.43 : İkinci kısım 11 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.44 : İkinci kısım 11 su yılı hazne ortalama su girdileri (m3/s).

7.5.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

İkinci kısmı oluşturan 11 su yılı için 1973 Ekim tarihinde hazne hacmi yarı dolu başlamış ve 1984 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi yarı dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 5.037.046 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 772.755.474TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

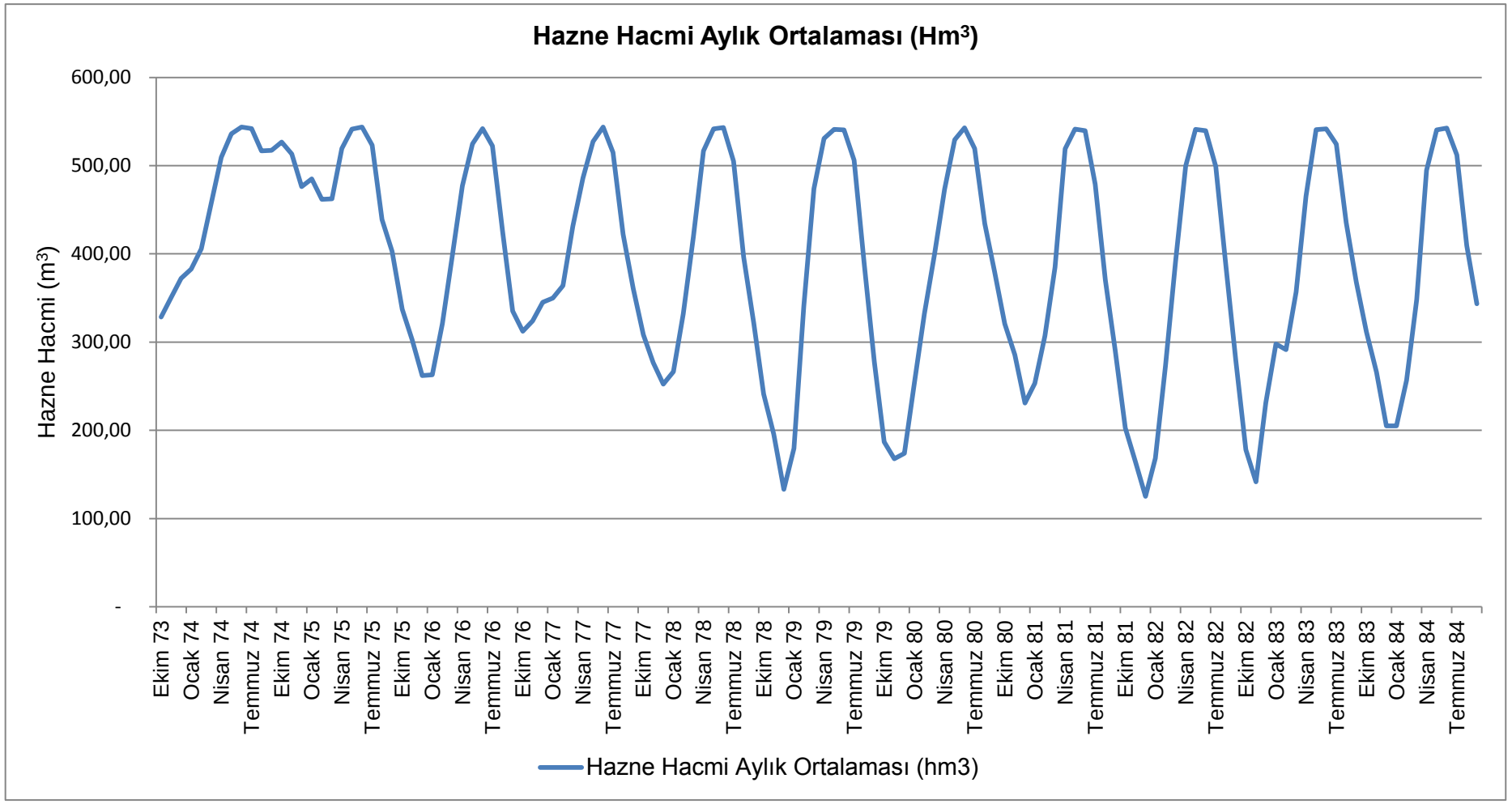
Baraj toplam 1811 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1773 günü tam kapasite çalışmış ve %97,88'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 192.323 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 84 gündür. Bu senaryoda en yüksek getiri yarı dolu başlama-bitiş koşulunda sağlanmıştır.

Çizelge 7.14'te gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

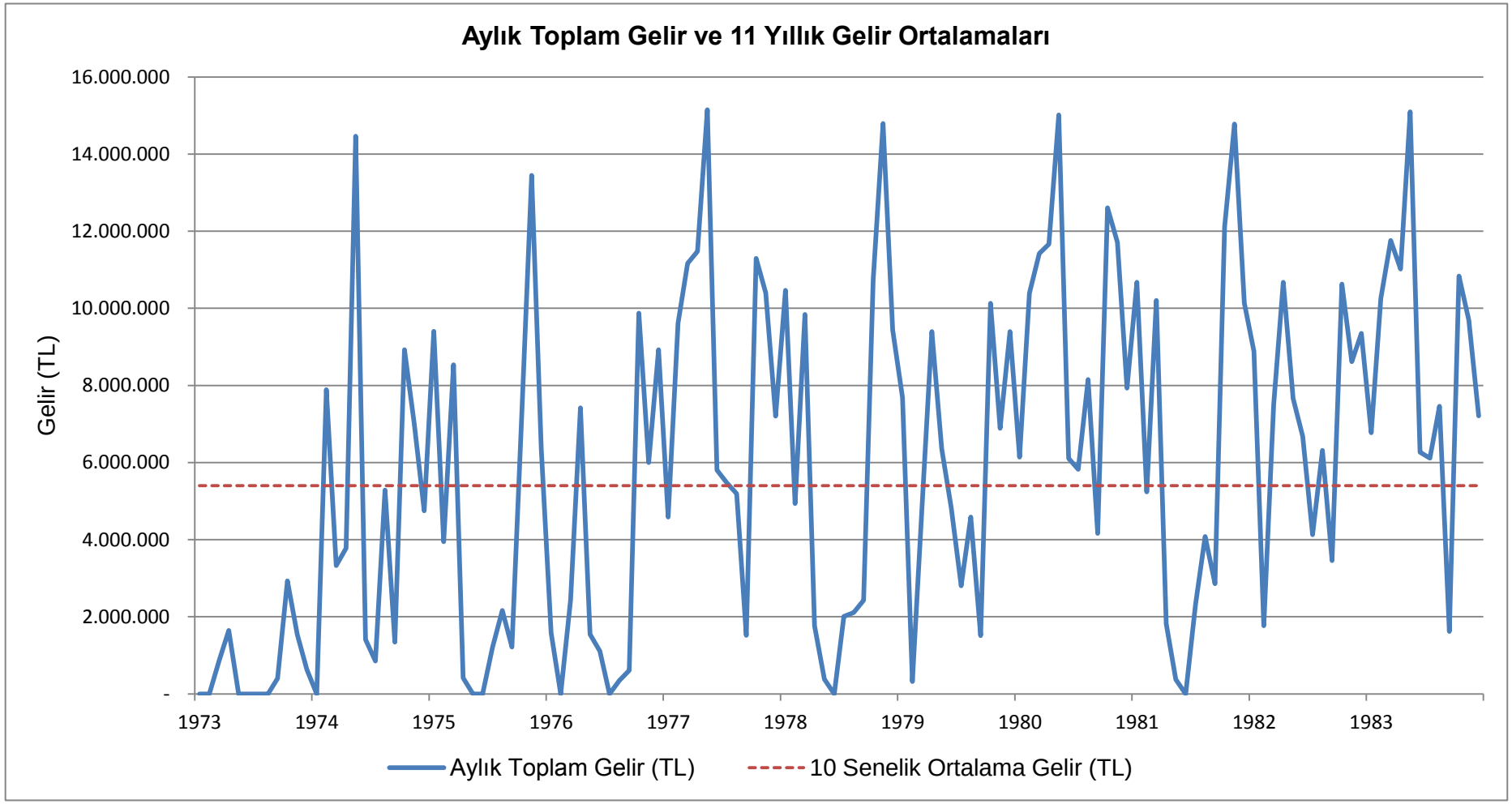
Şekil 7.45'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.46'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.47'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.14 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 11 su yılı).

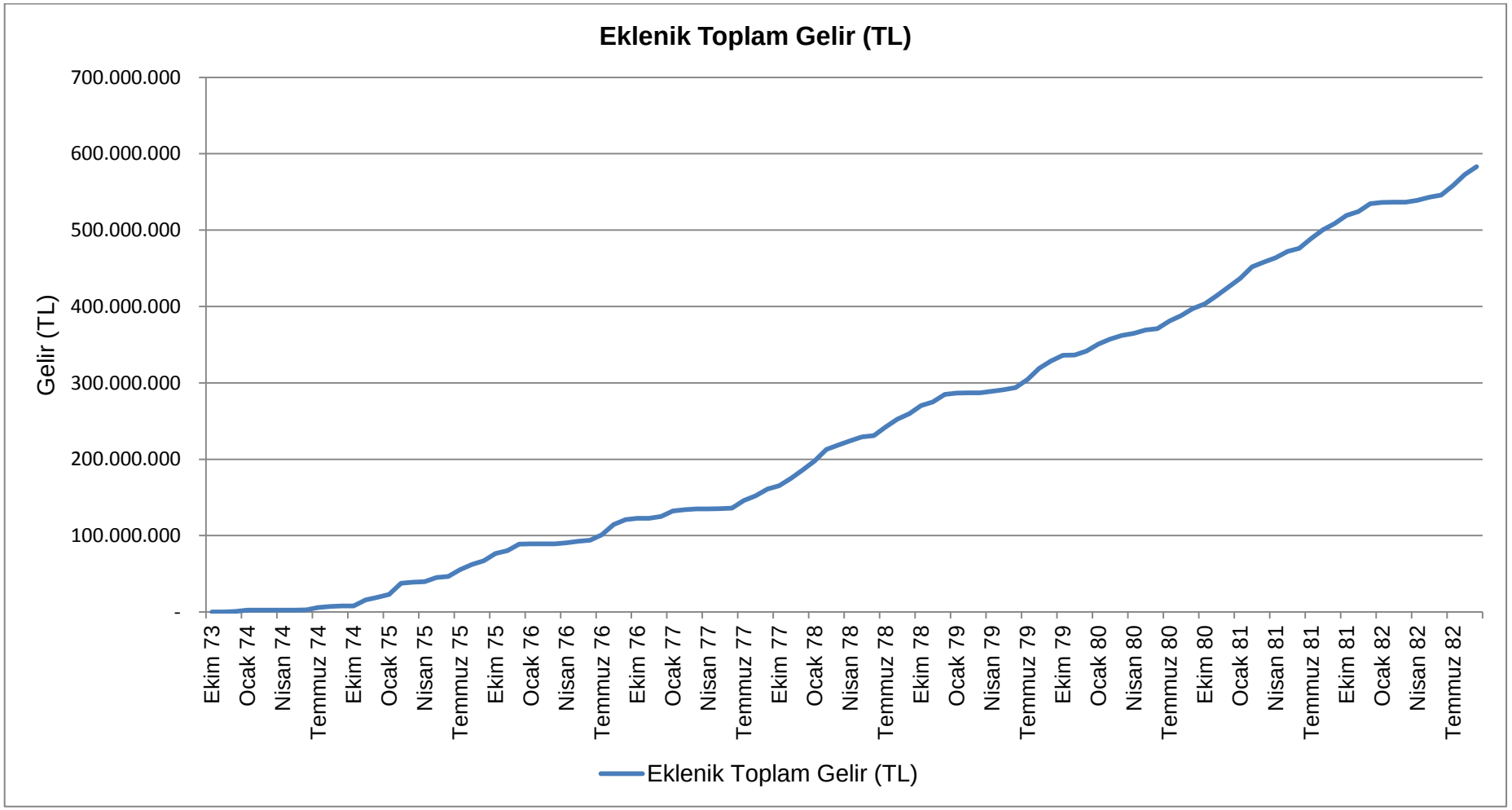
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1.811	1.773	97,88	84	5.037.046	772.755.474	192.323



Şekil 7.45 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 11 su yılı).



Şekil 7.46 : İkinci kısım 11 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 11 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.47 : İkinci kısım 11 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.5.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

İkinci kısmı oluşturan 11 su yılı için 1973 Ekim tarihinde hazne hacmi boş başlamış ve 1984 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi boş şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 5.025.471 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 767.978.466TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

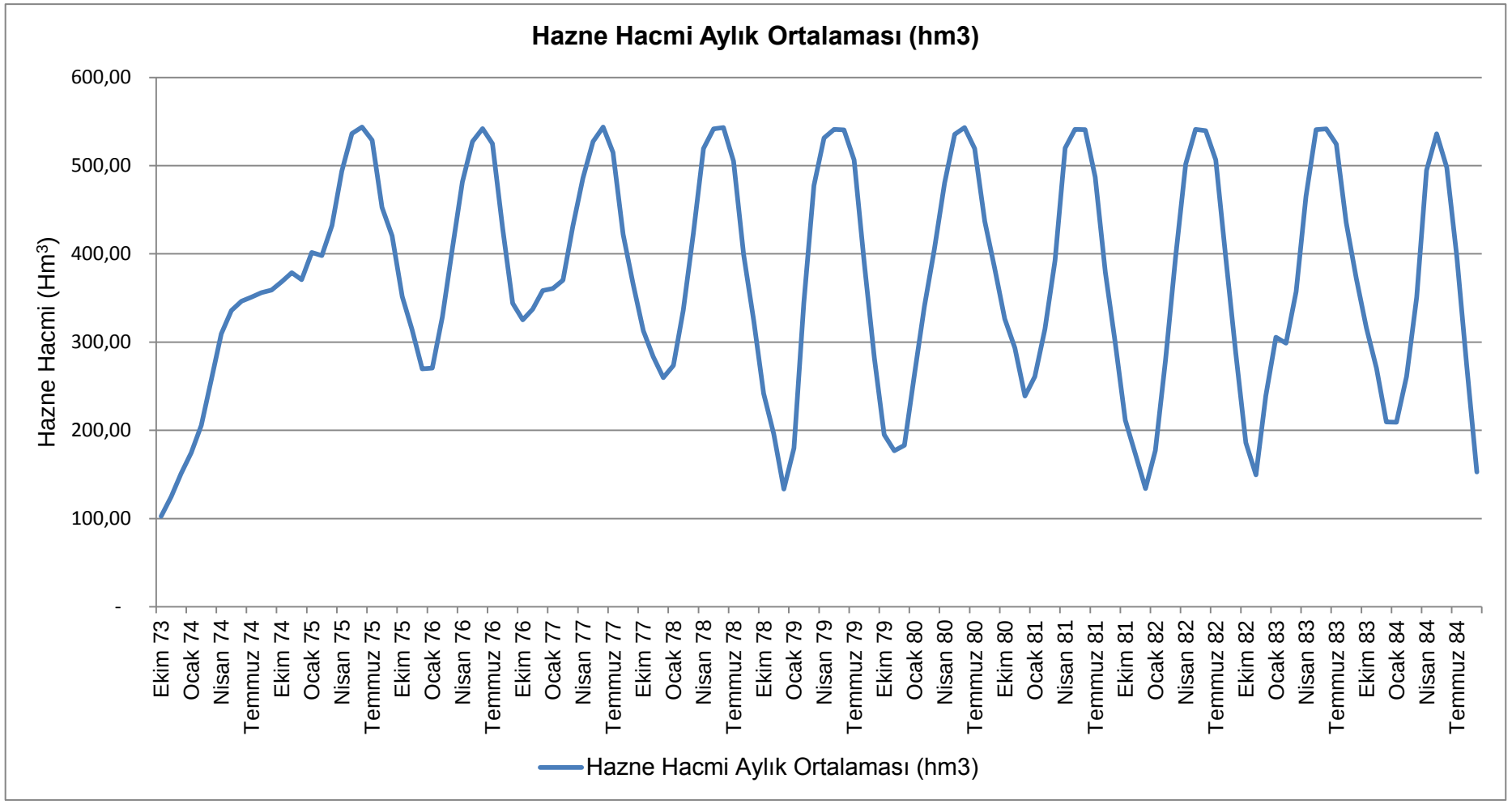
Baraj toplam 1811 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 1773 günü tam kapasite çalışmış ve %97,88'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 191.134 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 93 gündür. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu senaryoda en düşük getiri boş başlangıç-bitiş koşulunda elde edilmiştir.

Çizelge 7.15'te gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

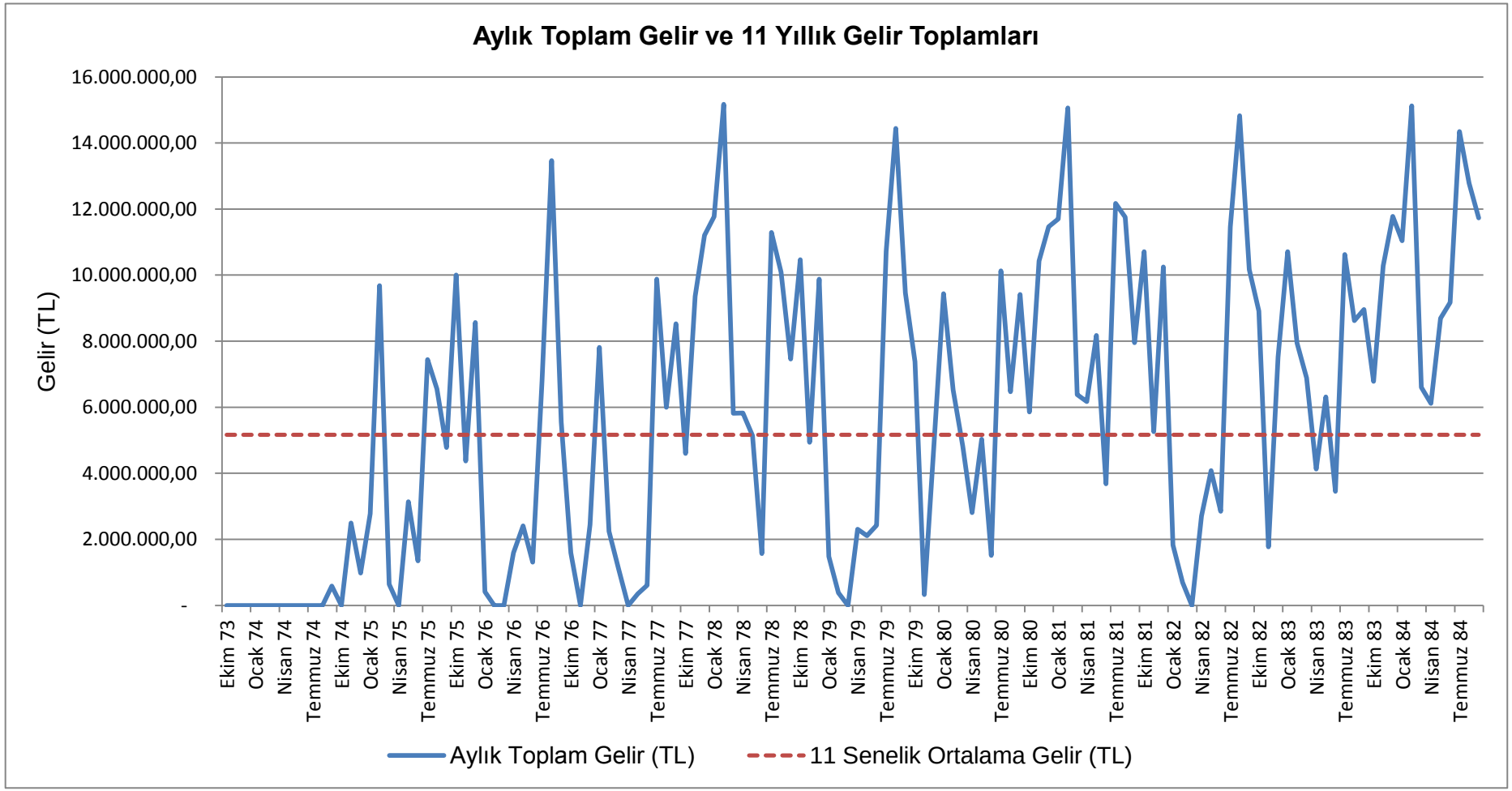
Şekil 7.48'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.49'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.50'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.15 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (ikinci kısım 11 su yılı).

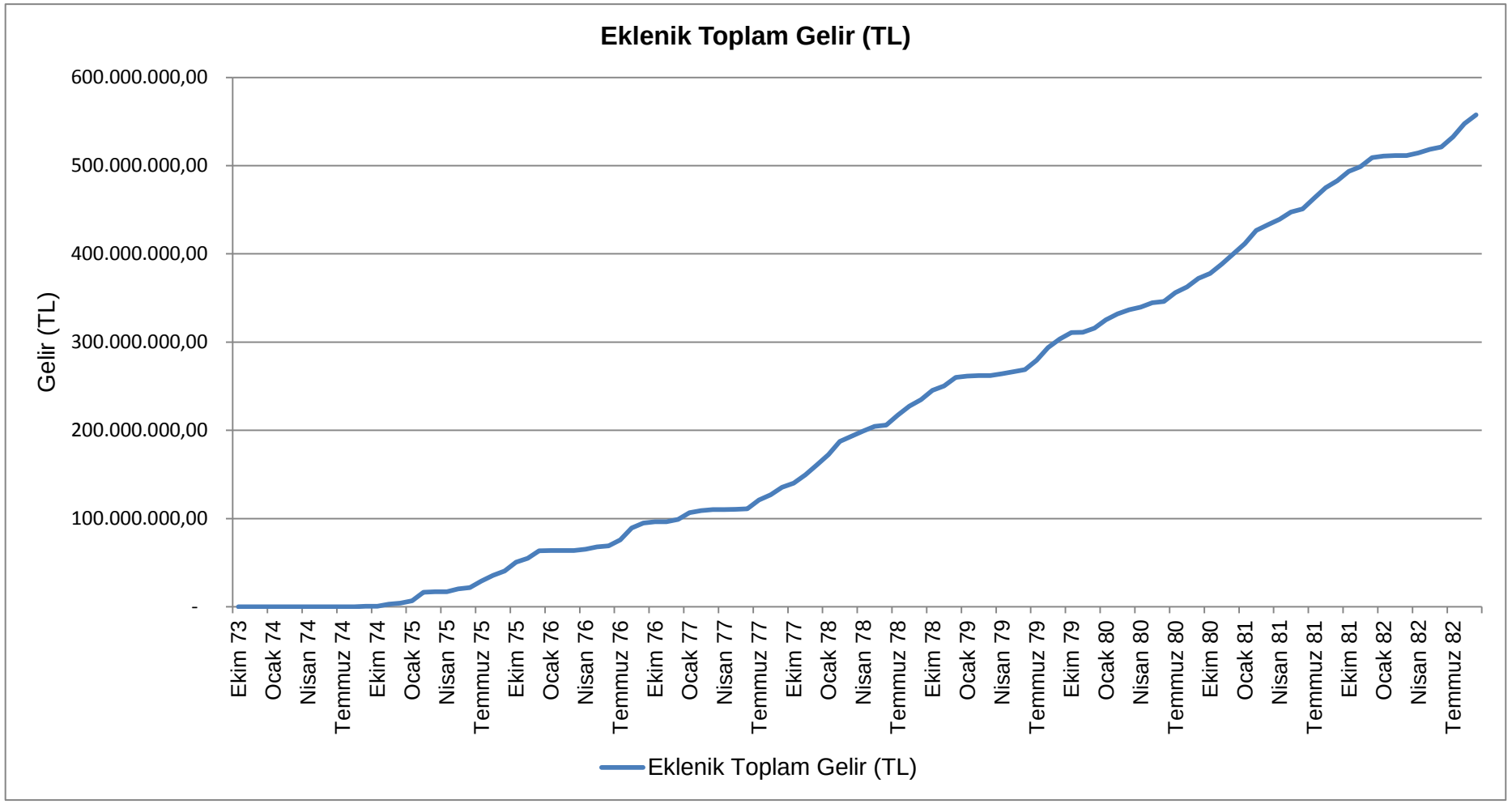
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
1811	1773	97,88	84	5.025.471	767.978.466	191.134



Şekil 7.48 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (ikinci kısım 11 su yılı).



Şekil 7.49 : İkinci kısım 11 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 11 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.50 : İkinci kısım 11 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.6 Üçüncü Kısım 10 Su Yılı Senaryoları

7.6.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

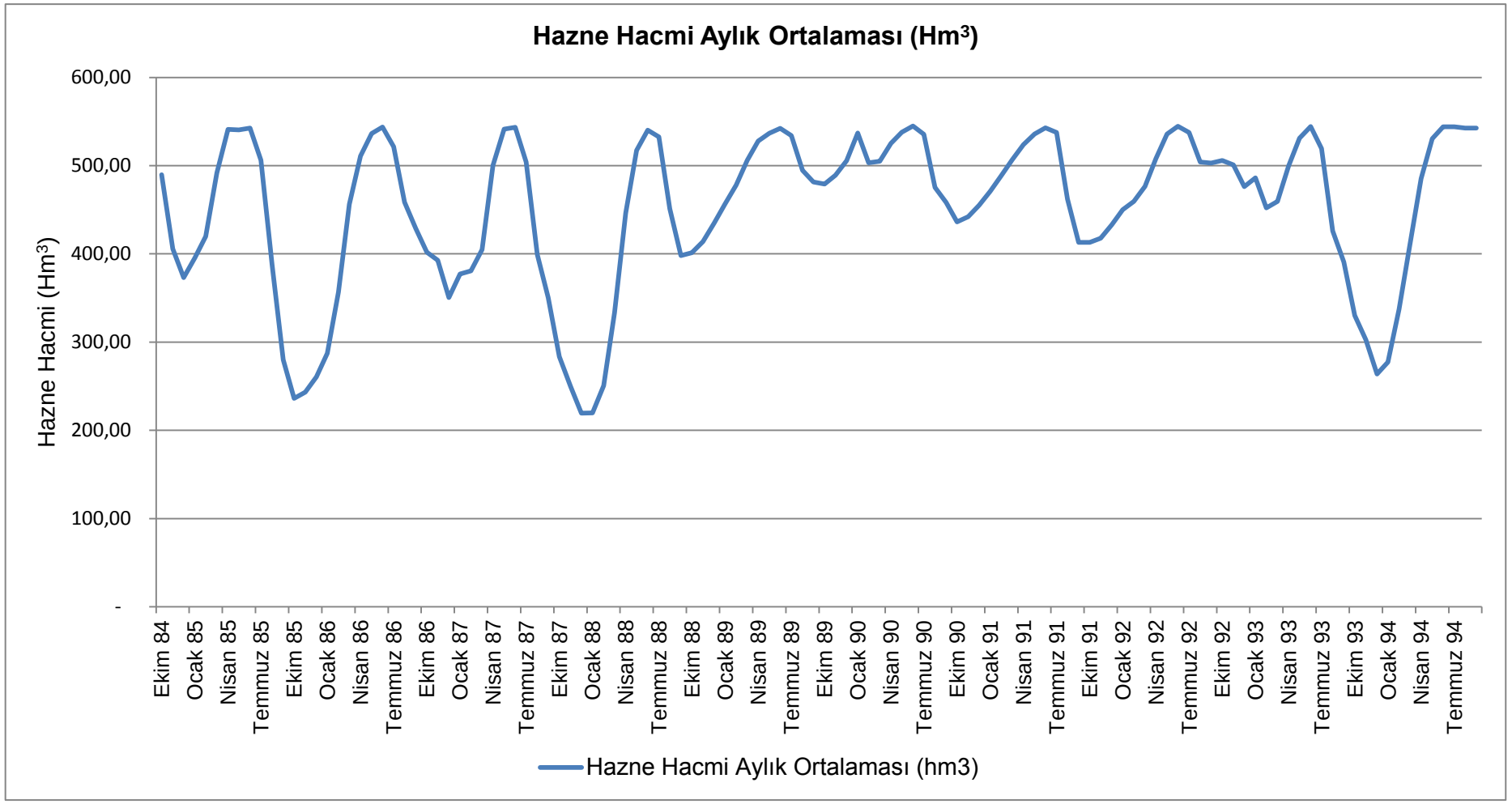
İkinci kısmı oluşturan 10 su yılı için 1984 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 1994 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 2.208.091 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 365.702.002 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Baraj toplam 773 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 750 günü tam kapasite çalışmış ve %96,99'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 100.137 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 40 gündür. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır. Yarı dolu başlama-bitiş ve boş başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır. Uzun modeller içerisinde en düşük getiri elde edilen senaryodur.

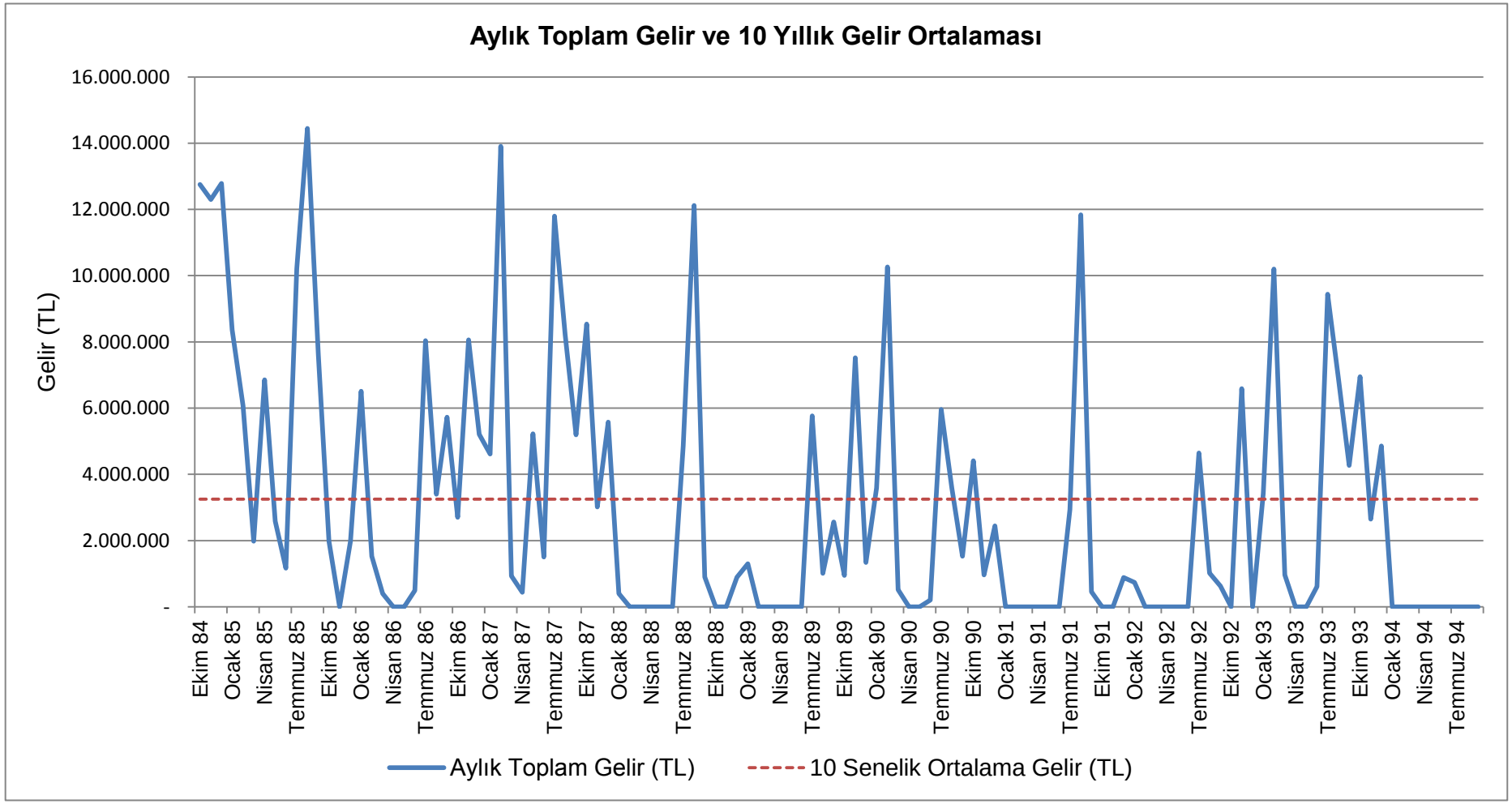
Çizelge 7.16'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Şekil 7.51'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.52'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.52'de eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.53'te karşılaştırma yapabilmek için ikinci 11 su yılında hazneye gelen su hacmi miktarları verilmiştir.

Çizelge 7.16 : Dolu başlama – dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (üçüncü kısım 10 su yılı).

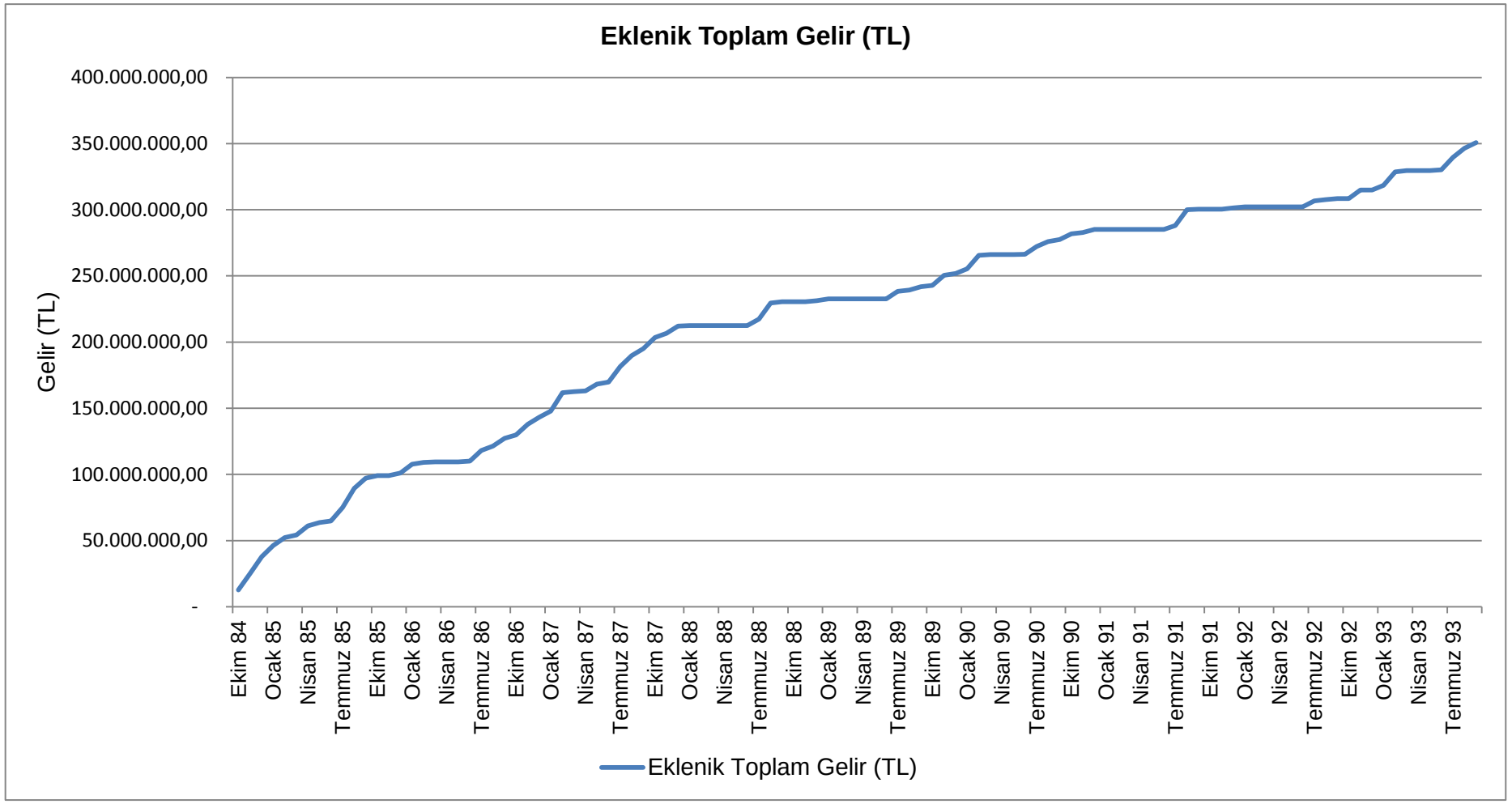
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
773	750	96,99	40	2.208.091	365.702.002	100.137



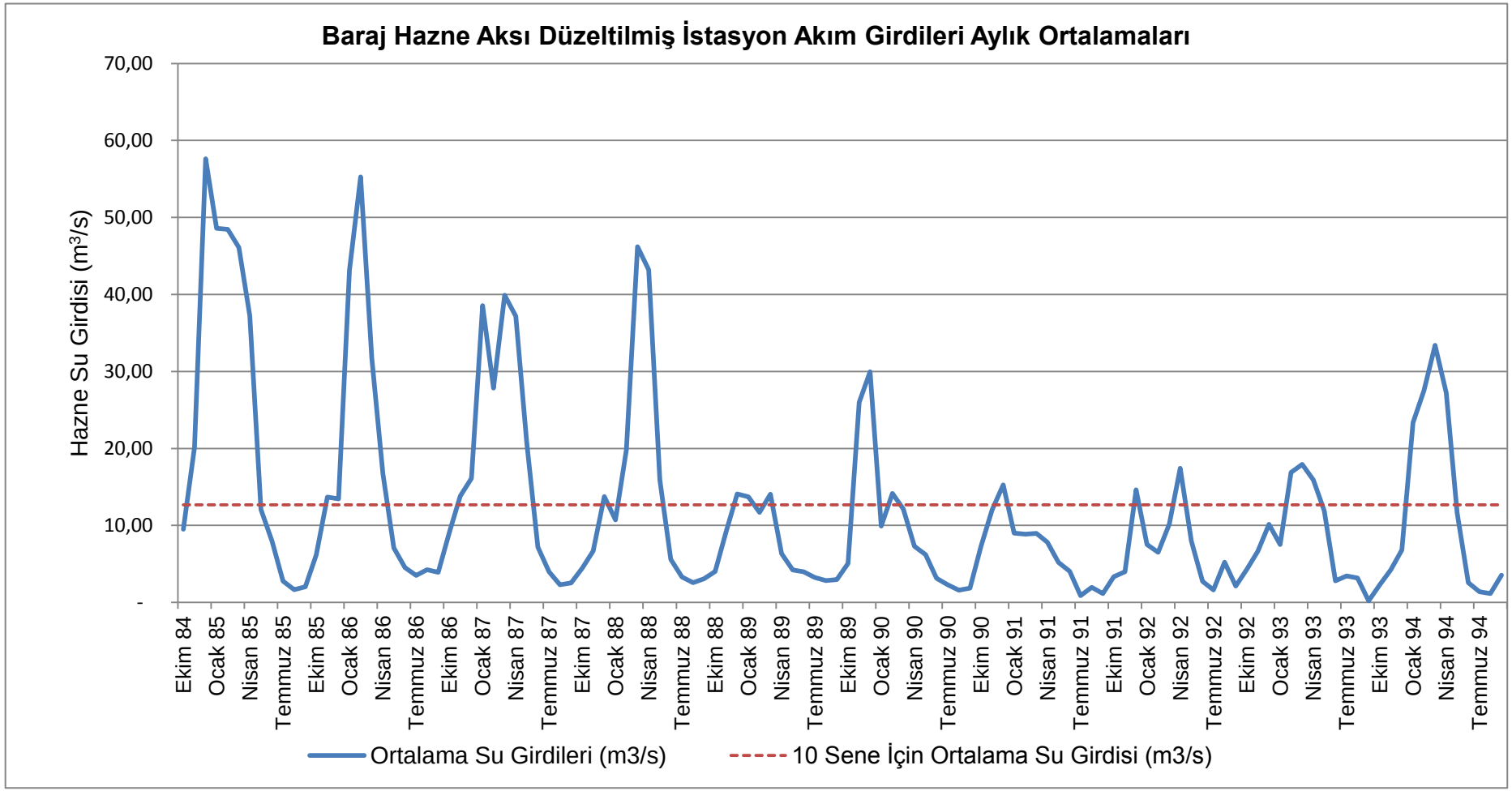
Şekil 7.51 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (üçüncü kısım 10 su yılı).



Şekil 7.52 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.53 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.54 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne ortalama su girdileri (m3/s).

7.6.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

Üçüncü kısmı oluşturan 10 su yılı için 1984 Ekim tarihinde hazne hacmi yarı dolu başlamış ve 1994 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi yarı dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 2.183.902 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 369.162.221 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

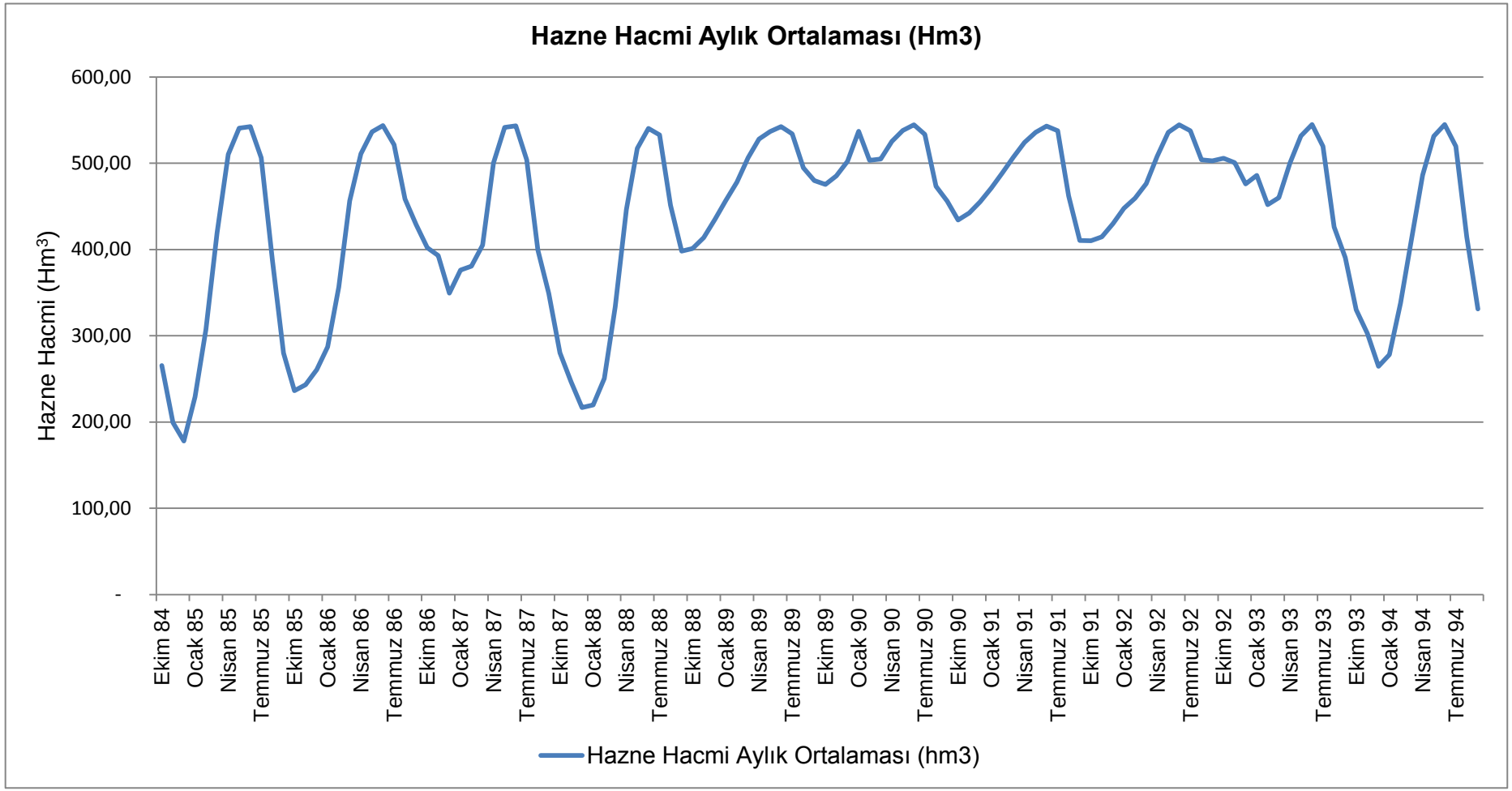
Baraj toplam 752 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 747 günü tam kapasite çalışmış ve %97,24'lük tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 101.084TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 37 gündür. Dolu başlama-bitiş ve boş başlama-bitiş koşullarına göre daha yüksek getiri sağlanmıştır. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama-bitirme durumu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır.

Çizelge 7.17'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

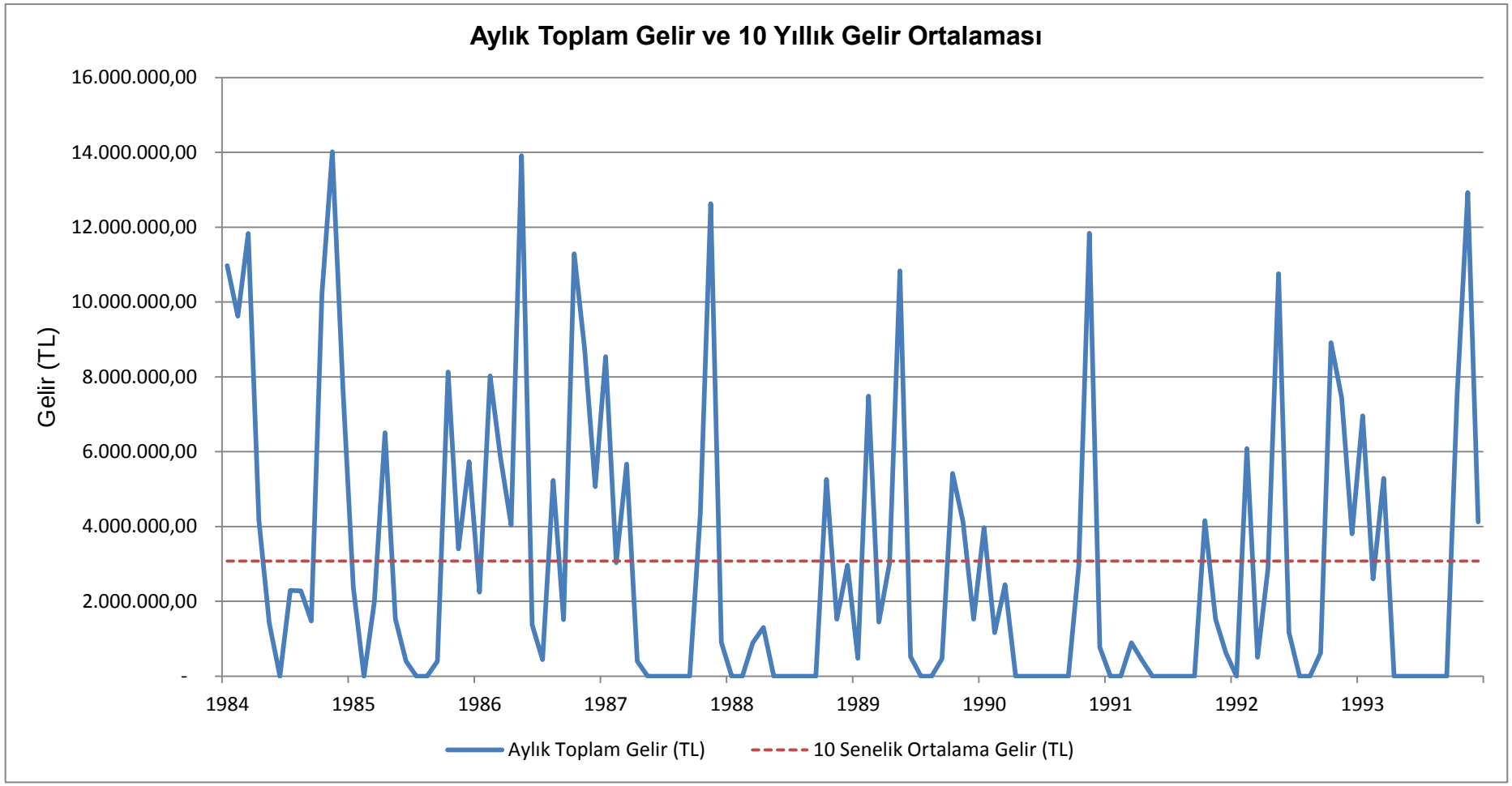
Şekil 7.55'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.56'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.57'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.17 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (üçüncü kısım 10 su yılı).

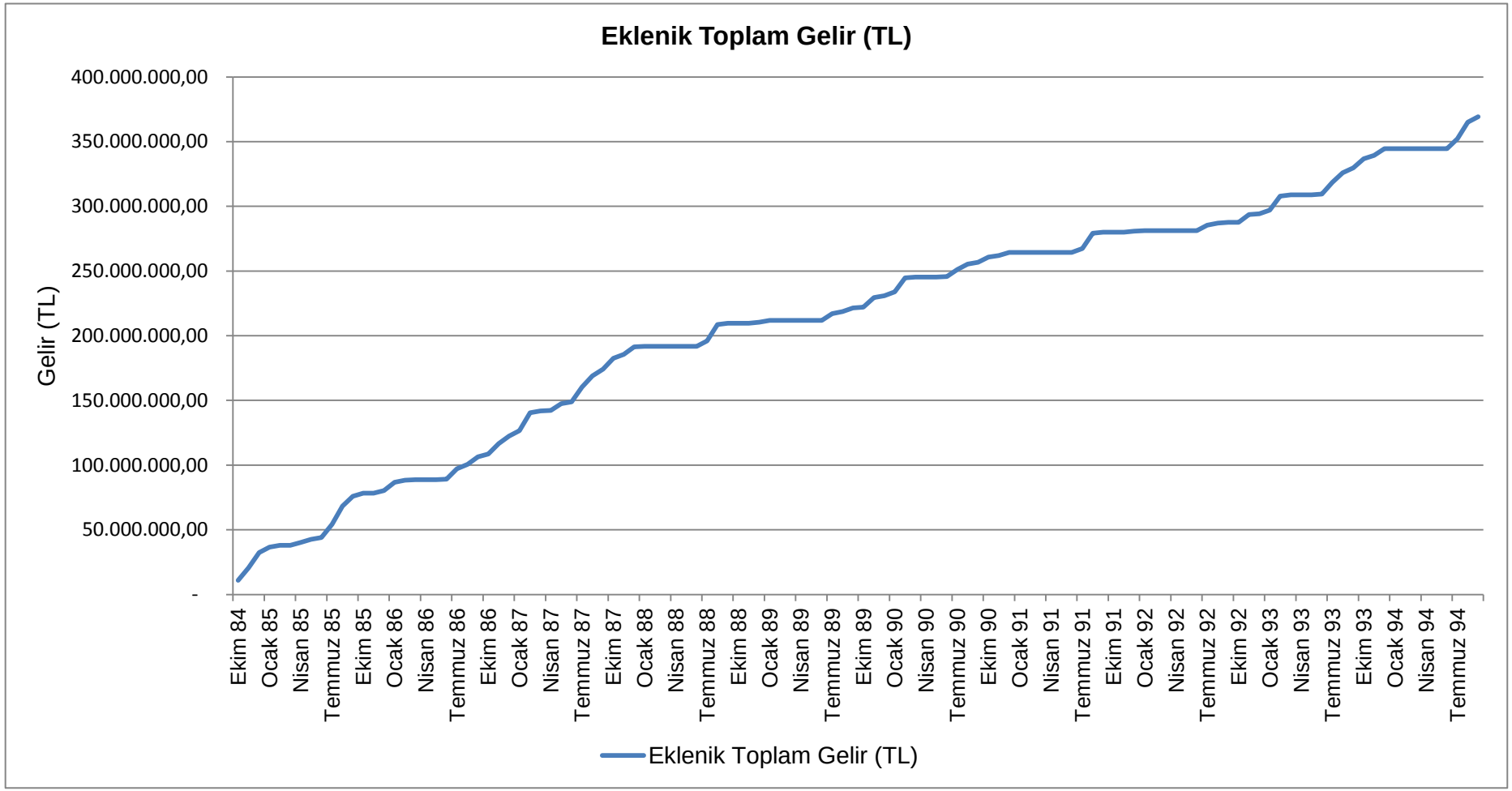
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
752	747	97,24	37	2.183.902	369.162.221	101.084



Şekil 7.55 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (üçüncü kısım 10 su yılı).



Şekil 7.56 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.57 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.6.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

Üçüncü kısmı oluşturan 10 su yılı için 1984 Ekim tarihinde hazne hacmi boş başlamış ve 1994 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi boş şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 2.165.844 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 367.345.590 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

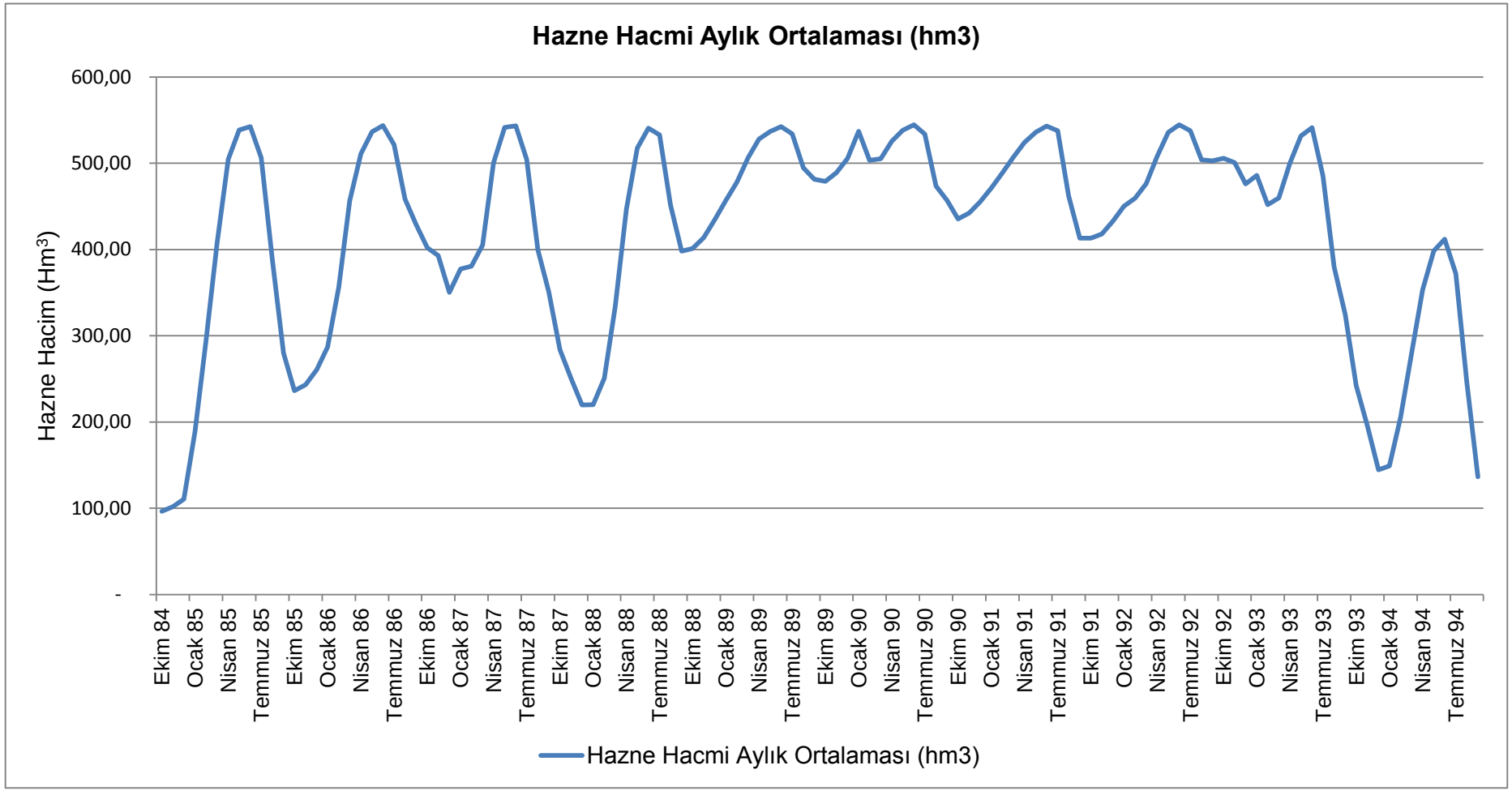
Baraj toplam 773 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 747günü tam kapasite çalışmış ve %96,60'lık tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 100.588 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 44 gündür. Yarı dolu başlama-bitiş ve boş başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır. Dolu başlama ve bitiş koşullarına göre daha yüksek getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.18'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

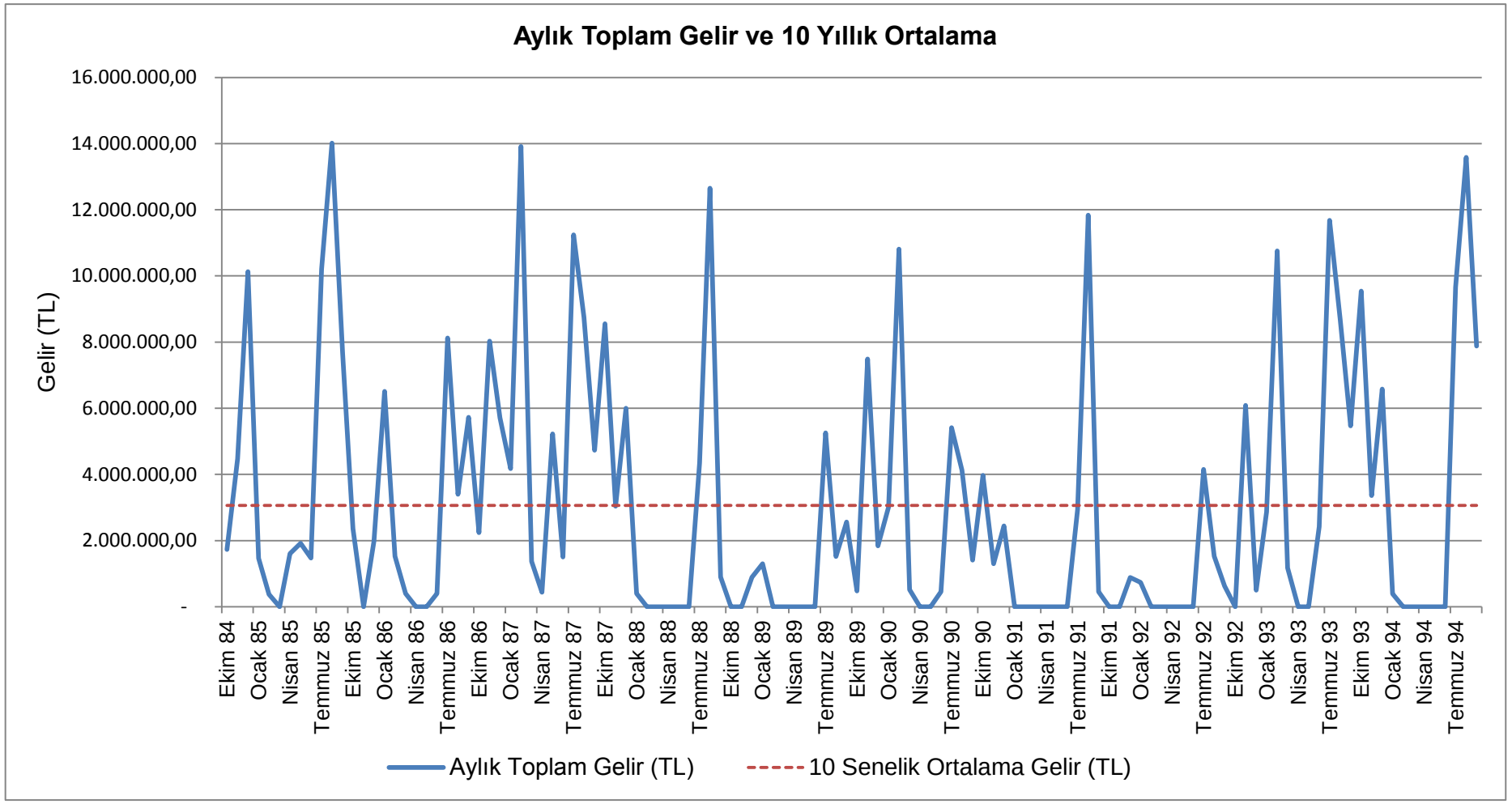
Şekil 7.58'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.59'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.60'da eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.18 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (üçüncü kısım 10 su yılı).

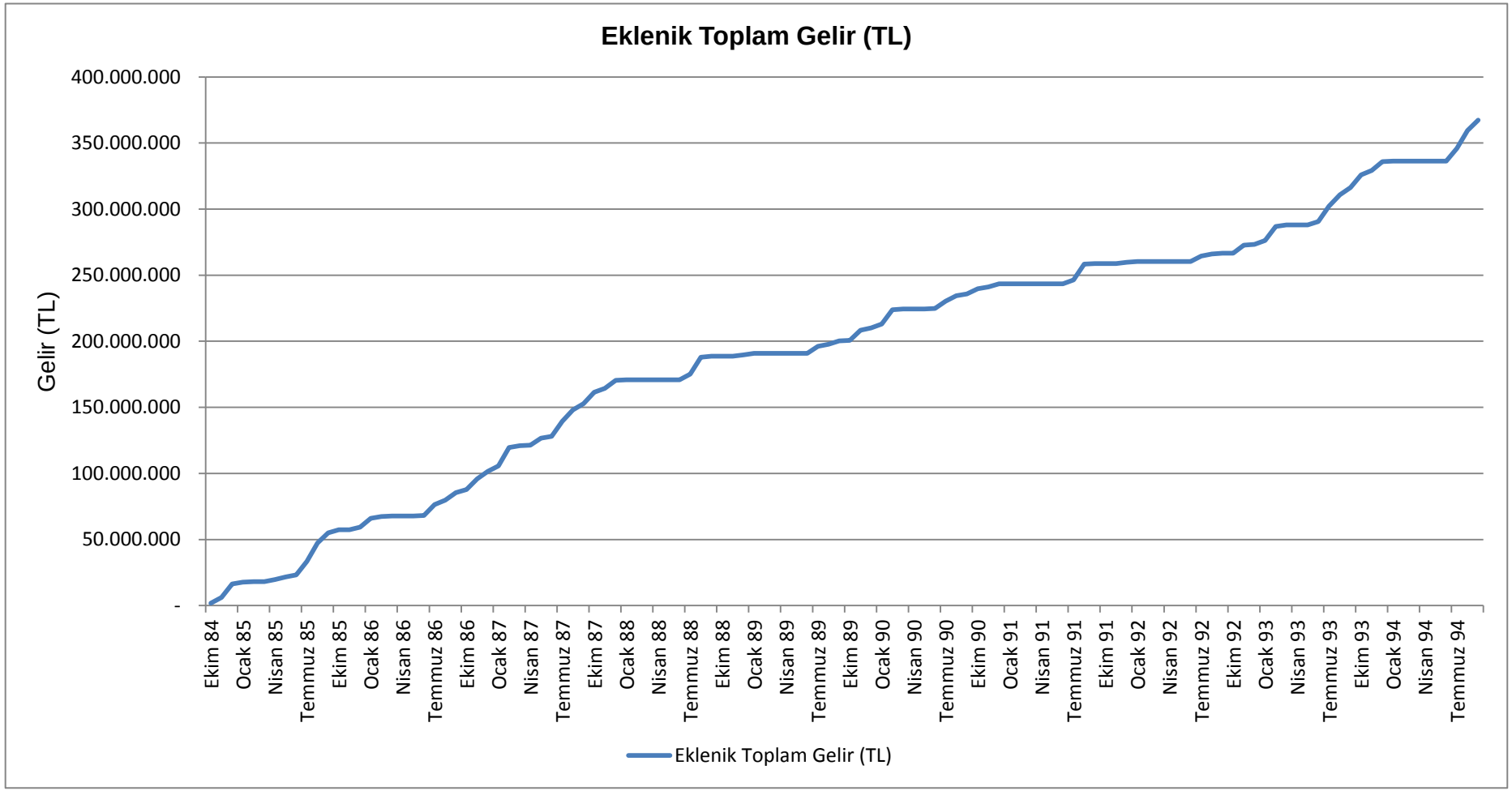
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
773	747	96,60	44	2.165.844	367.345.590	100.588



Şekil 7.58 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (üçüncü kısım 10 su yılı).



Şekil 7.59 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 10 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.60 : Üçüncü kısım 10 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.7 Dördüncü Kısım 9 Su yılı Senaryoları

7.7.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

Dördüncü kısımı oluşturan 9 su yılı için 1994 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 2003 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 2.161.303 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 361.786.133 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da dolu başlama-bitirme durumu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır.

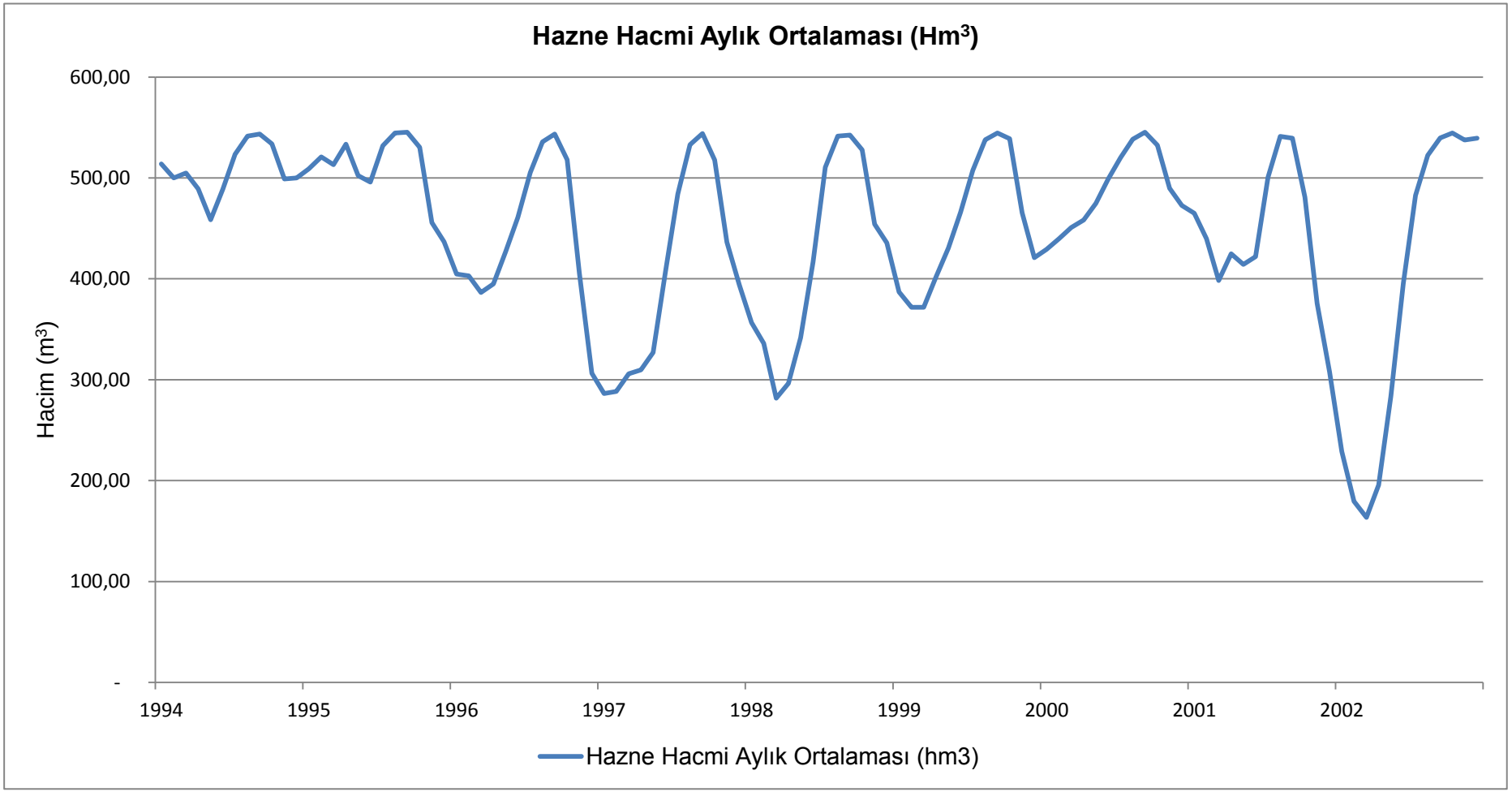
Baraj toplam 774 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 747 günü tam kapasite çalışmış ve %96,50'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 111.332 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 51 gündür. Yarı dolu başlama-bitiş ve boş başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.19'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

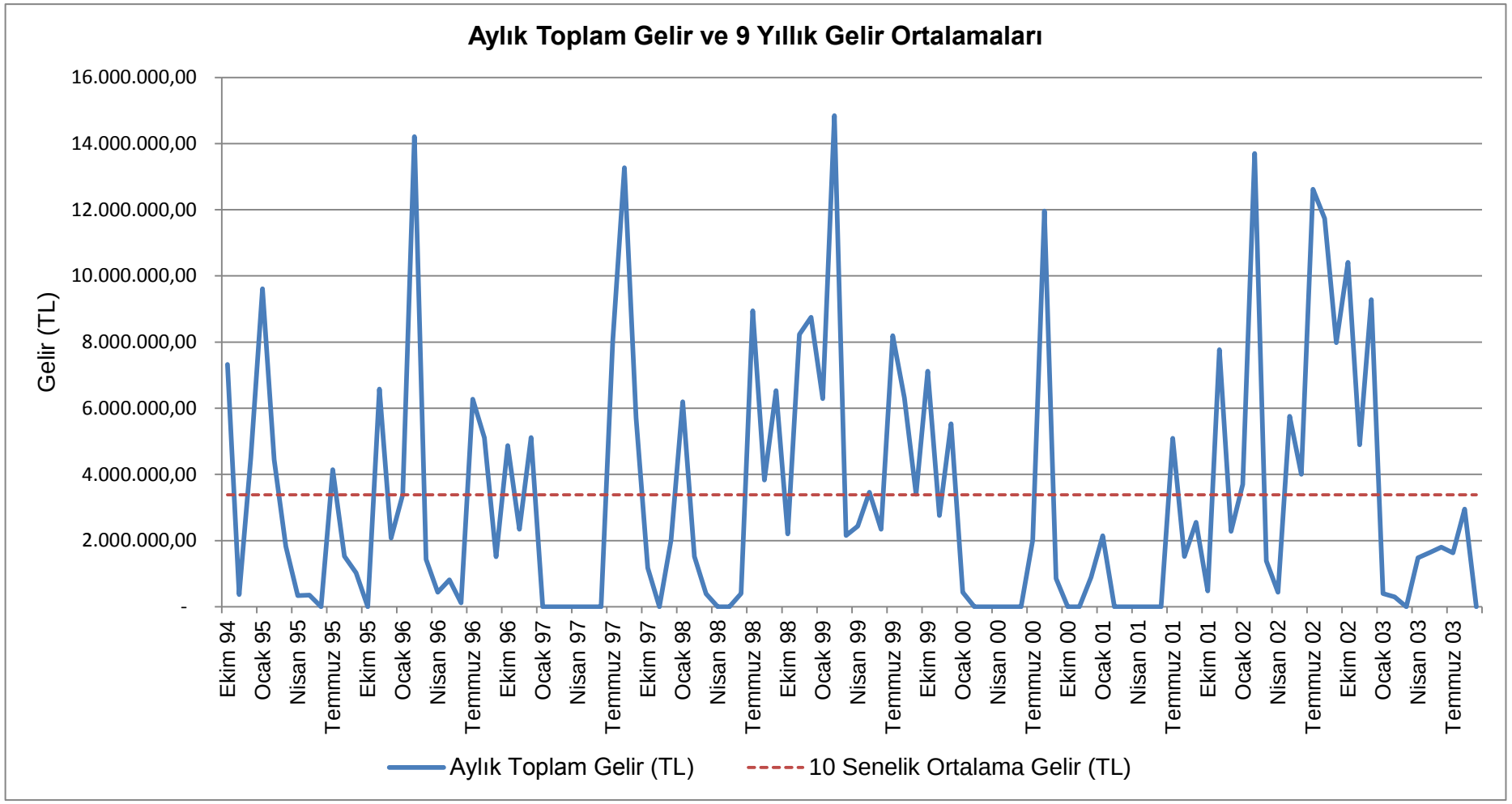
Şekil 7.61'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.62'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.63'de eklenik gelir grafiği verilmiştir. Şekil 7.64'te karşılaştırma yapabilmek için dördüncü kısım olan 9 su yılında hazneye gelen su hacmi miktarları verilmiştir.

Çizelge 7.19 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (dördüncü kısım 9 su yılı).

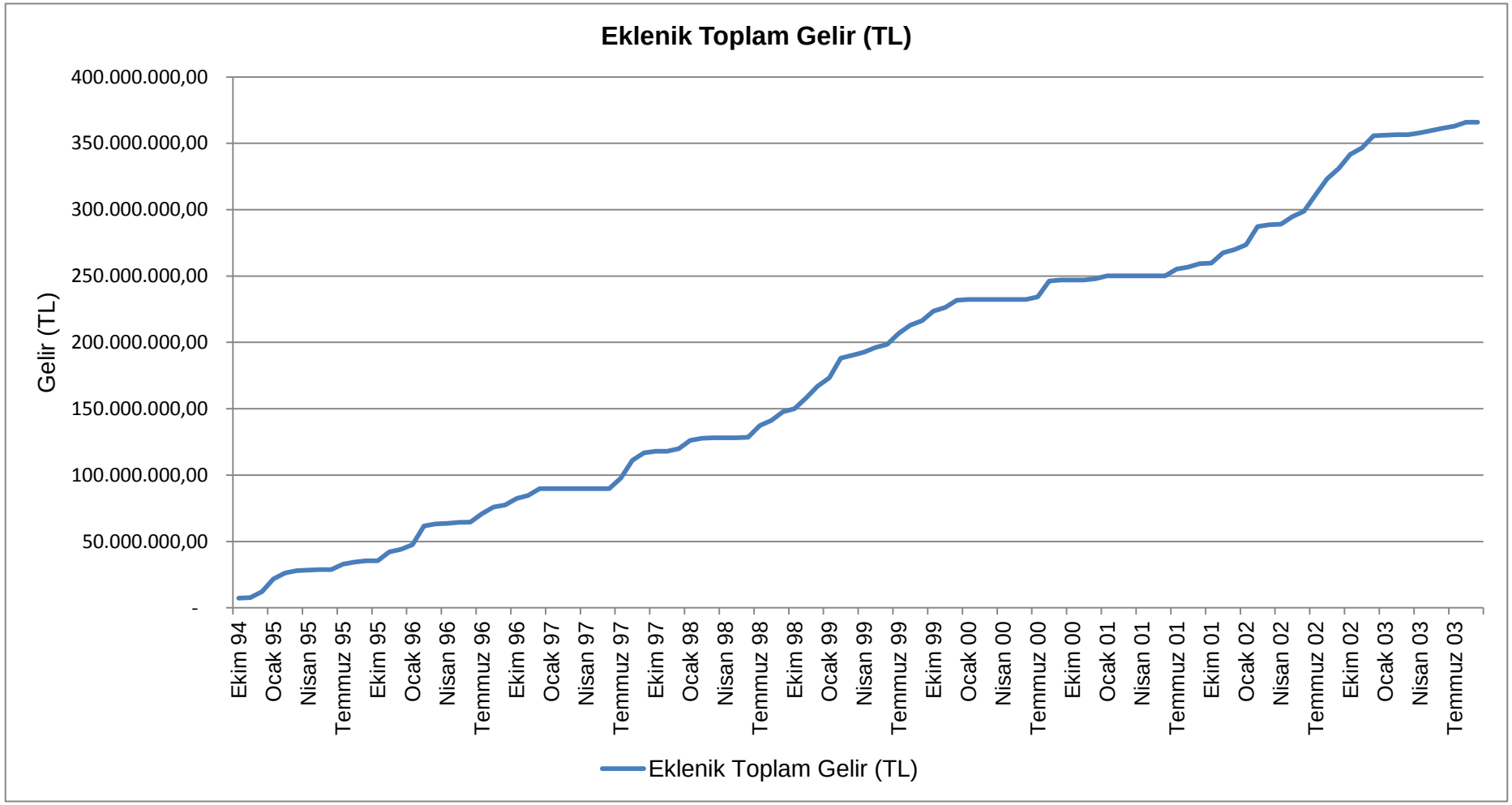
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
774	747	96,50	51	2.203.136	365.949.143	111.332



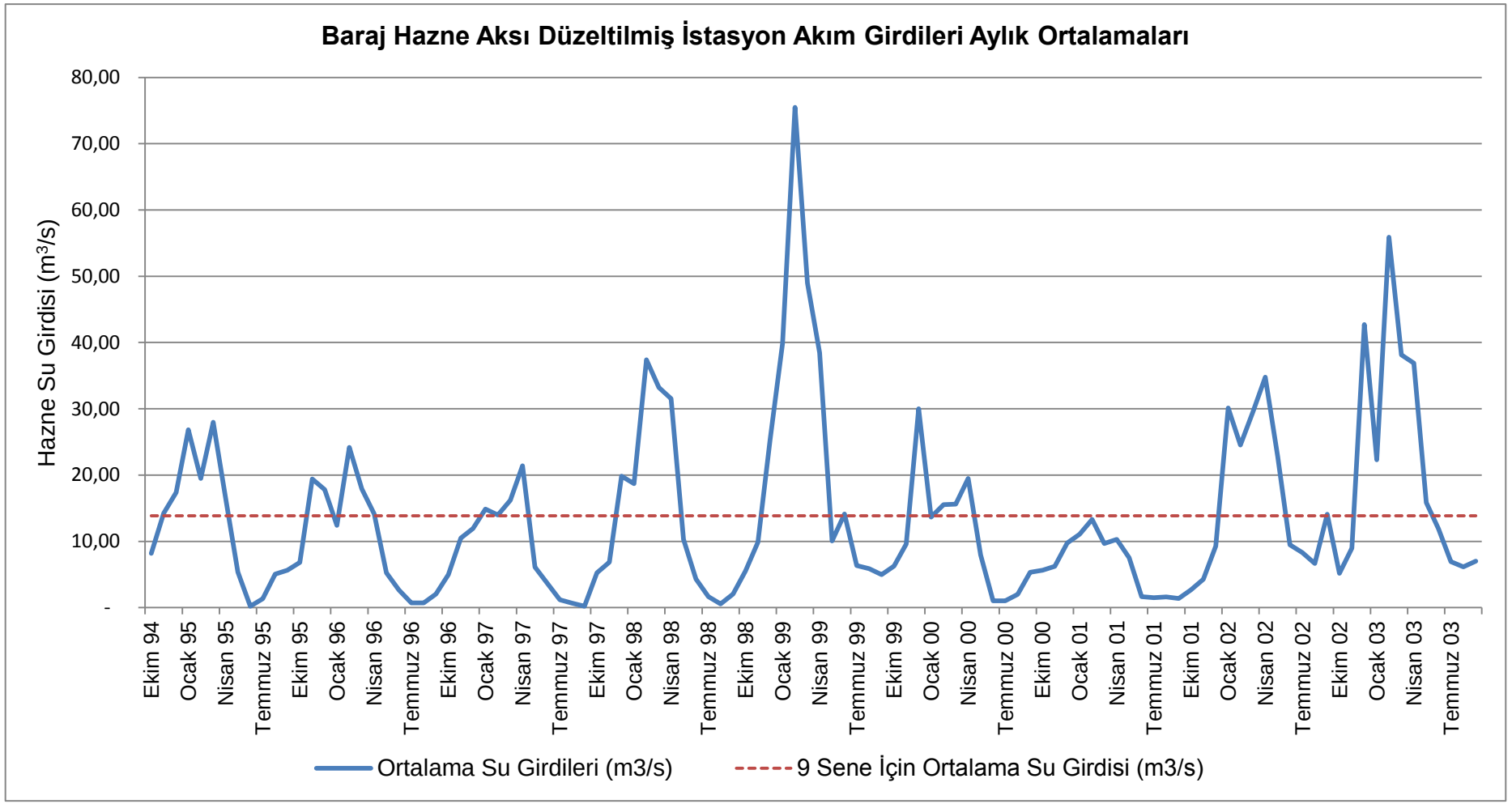
Şekil 7.61 : Hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (dördüncü kısım 9 su yılı).



Şekil 7.62 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne dolu başlama – dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 9 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.63 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne dolu başlama - dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).



Şekil 7.64 : Dördüncü kısım 9 su yılı baraj hazne aksı düzeltilmiş istasyon akım girdileri aylık ortalamaları.

7.7.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

Dördüncü kısımı oluşturan 9 su yılı için 1994 Ekim tarihinde hazne hacmi dolu başlamış ve 2003 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi dolu şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 2.196.044 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 369.364.748 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

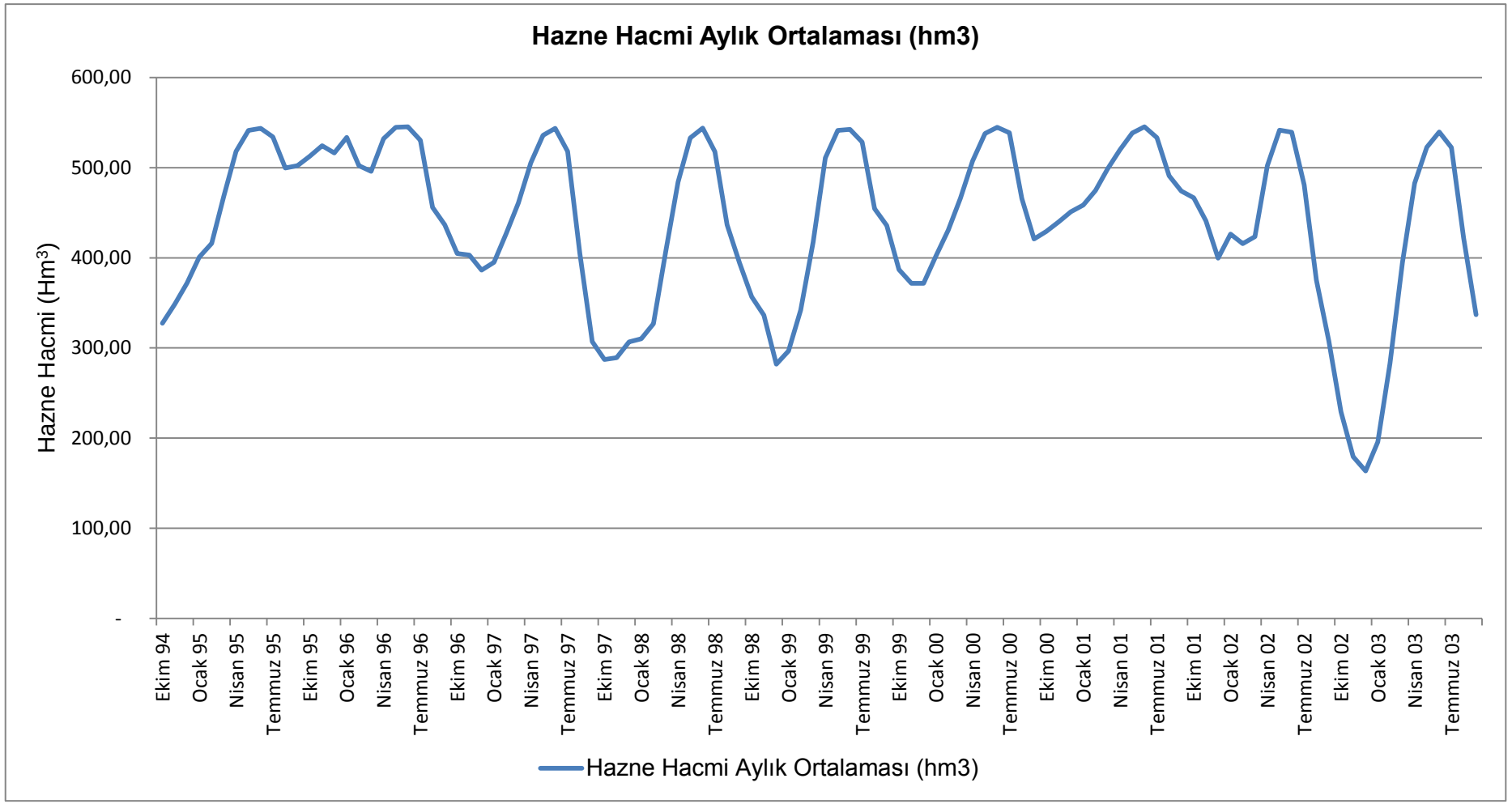
Baraj toplam 774 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 746 günü tam kapasite çalışmış ve %96,37'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 112.371 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 55 gündür. Dolu başlama-bitiş ve boş başlama-bitiş koşullarına göre daha yüksek getiri sağlanmıştır. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama yarı dolu başlama-bitirme durumu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır.

Çizelge 7.20'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

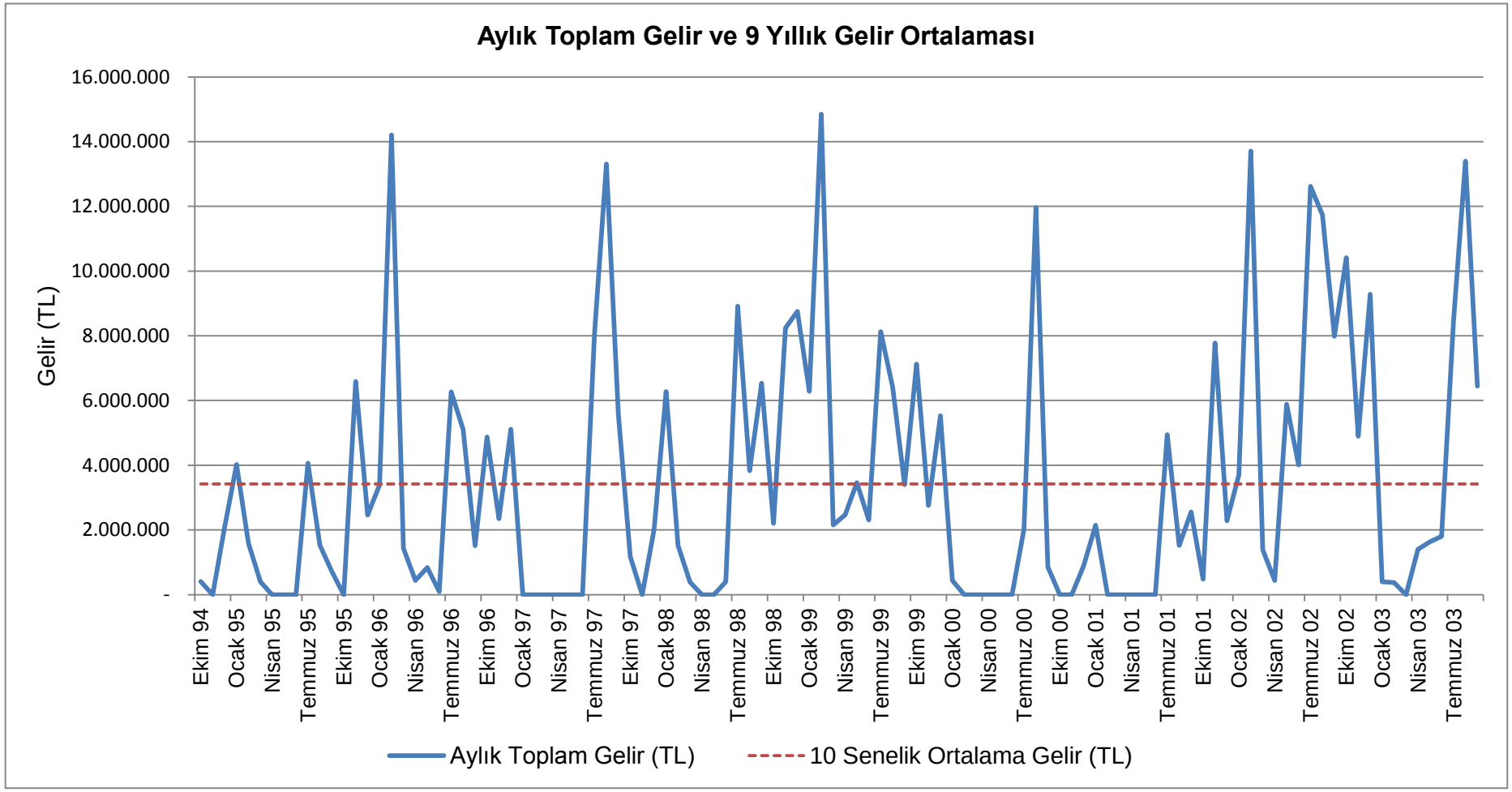
Şekil 7.65'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.66'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.67'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.20 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (dördüncü kısım 9 su yılı).

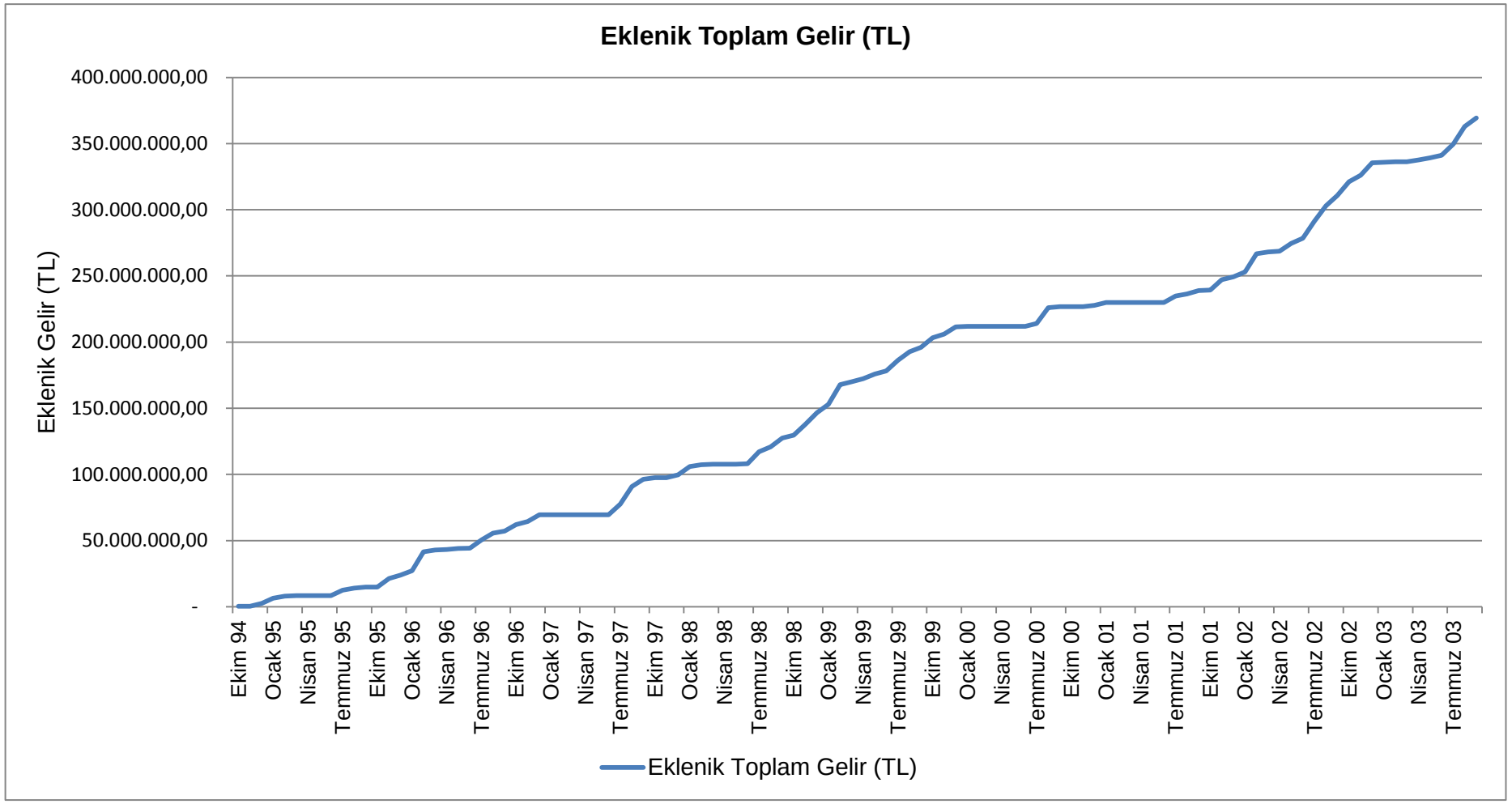
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
774	746	96,37	55	2.196.044	369.364.748	112.371



Şekil 7.65 : Hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (dördüncü kısım 9 su yılı).



Şekil 7.66 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 9 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.67 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.7.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

Dördüncü kısımı oluşturan 9 su yılı için 1994 Ekim tarihinde hazne hacmi boş başlamış ve 2003 Eylül tarihi sonunda hazne hacmi boş şekilde bitirilmiştir. Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 2.161.303 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 361.786.133 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

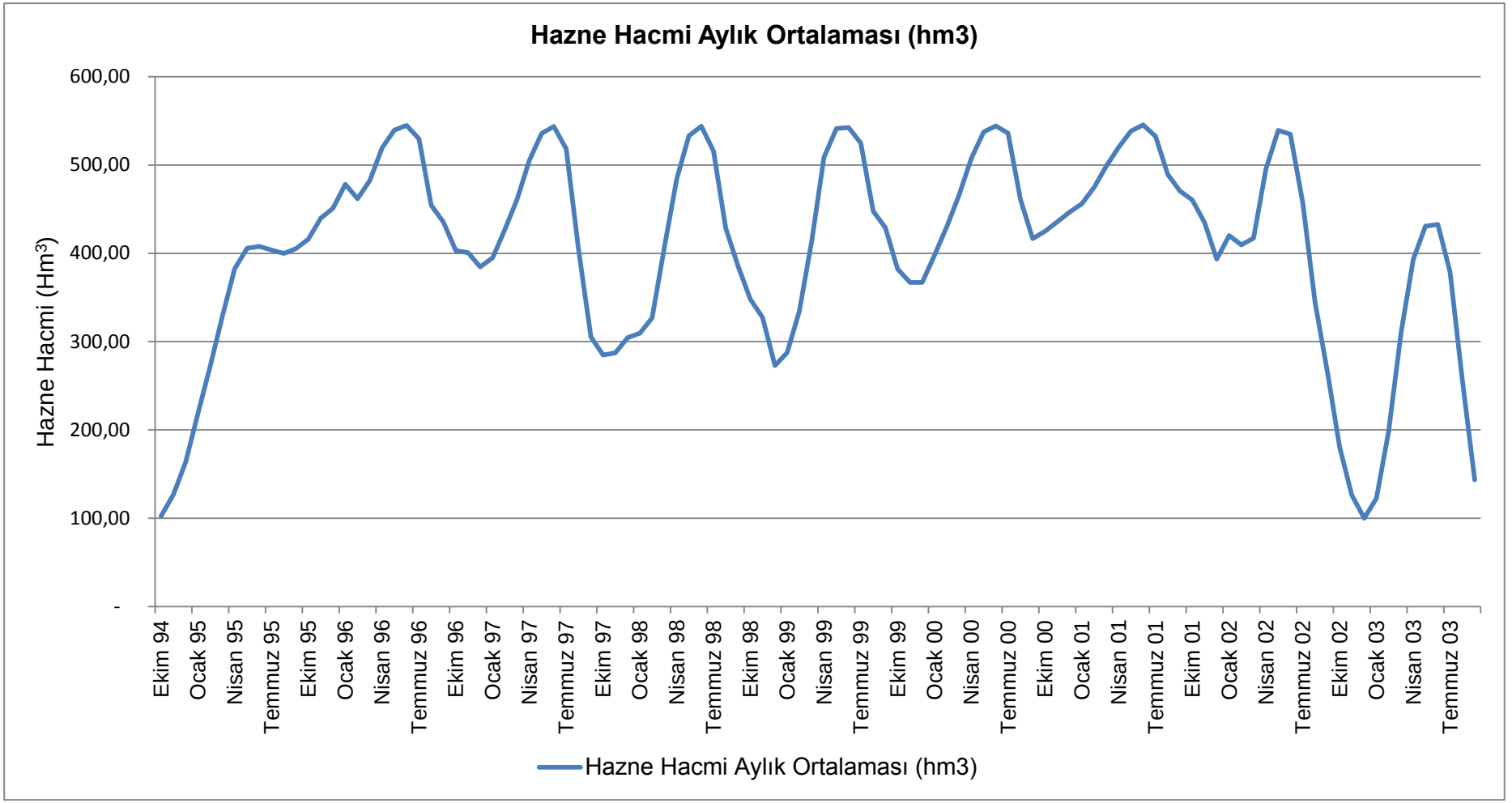
Çizelge 7.21'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

Buna göre baraj toplam 774 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 756 günü tam kapasite çalışmış ve %97,66'lık tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 110.066 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 29 gündür. Yarı dolu başlama-bitiş ve dolu başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlama boş bitirme durumu için kalibrasyon çalışmaları yapılmıştır.

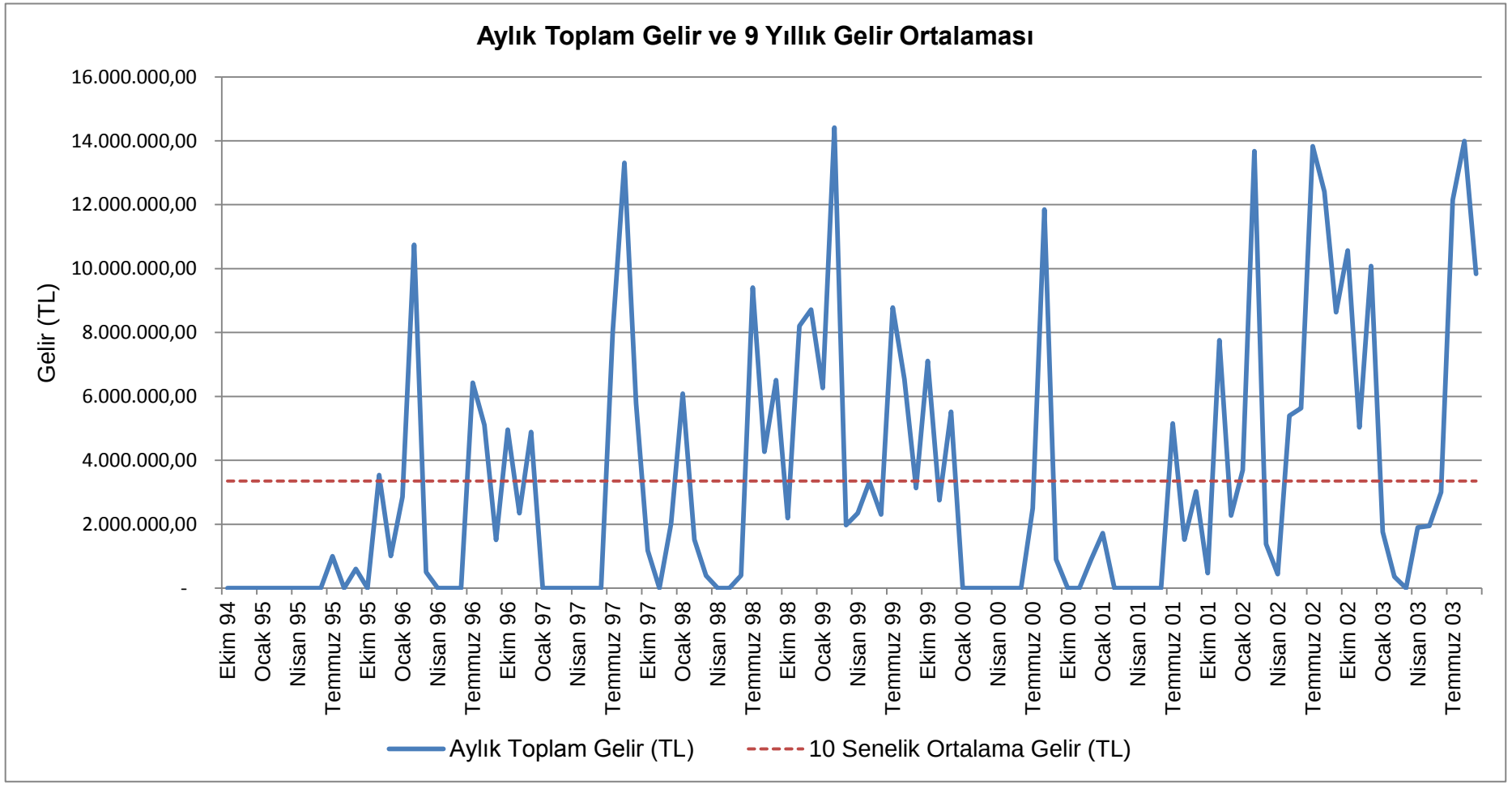
Şekil 7.68'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.69'da aylık gelir toplamları ile on senelik gelir ortalamaları ve Şekil 7.70'de eklenik gelir grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.21 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (dördüncü kısım 9 su yılı).

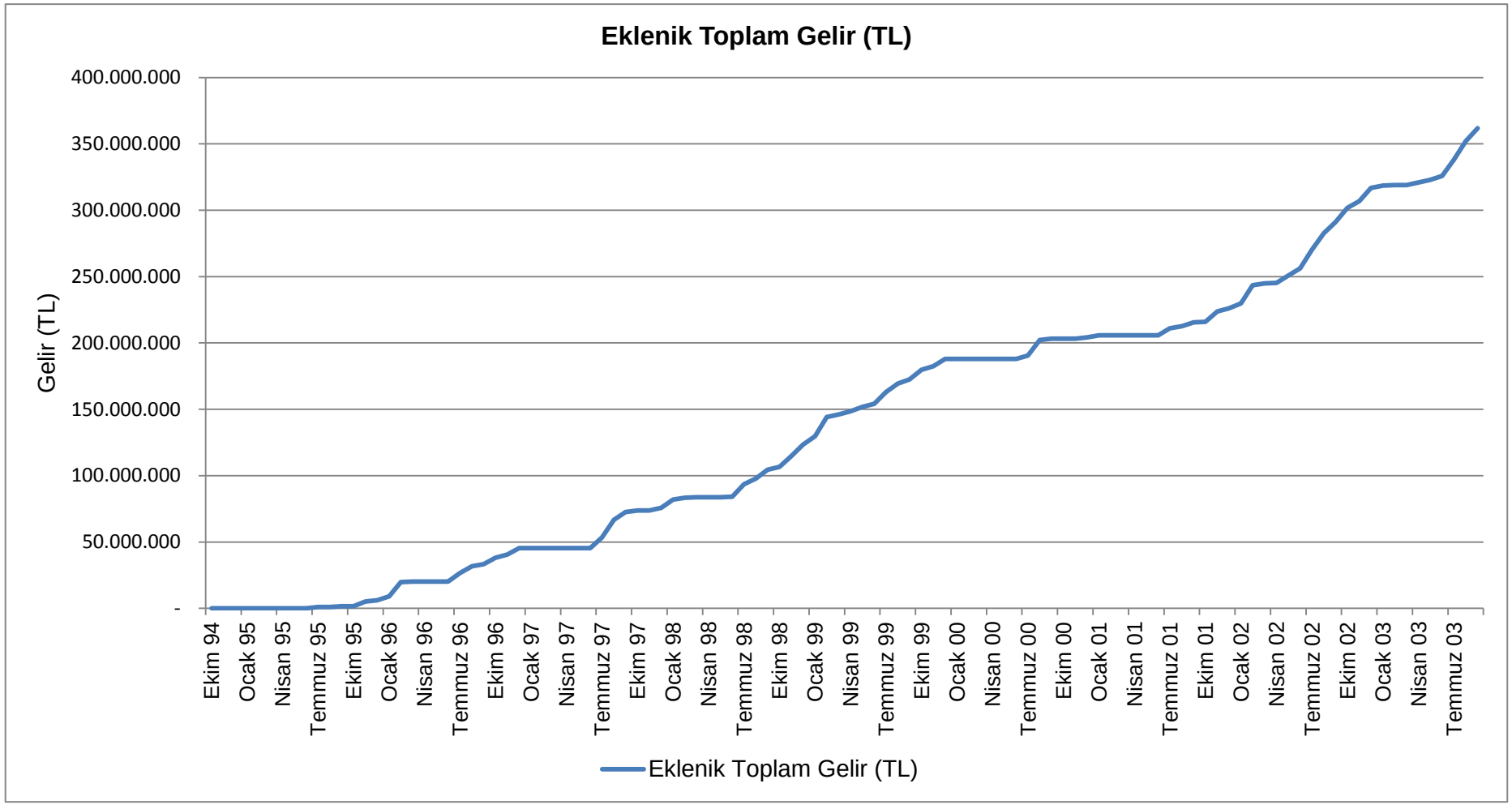
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
774	756	97,66	29	2.161.303	361.786.133	110.066



Şekil 7.68 : Hazne boş başlama – boş bitirme durumu için hazne hacmi aylık ortalamaları (dördüncü kısım 9 su yılı).



Şekil 7.69 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için aylık toplam gelir ve 9 yıllık gelir ortalamaları.



Şekil 7.70 : Dördüncü kısım 9 su yılı hazne boş başlama – boş bitirme durumu için eklenik gelir (TL).

7.8 Yıllık En İyi ve En Kötü Durum Varyasyonları

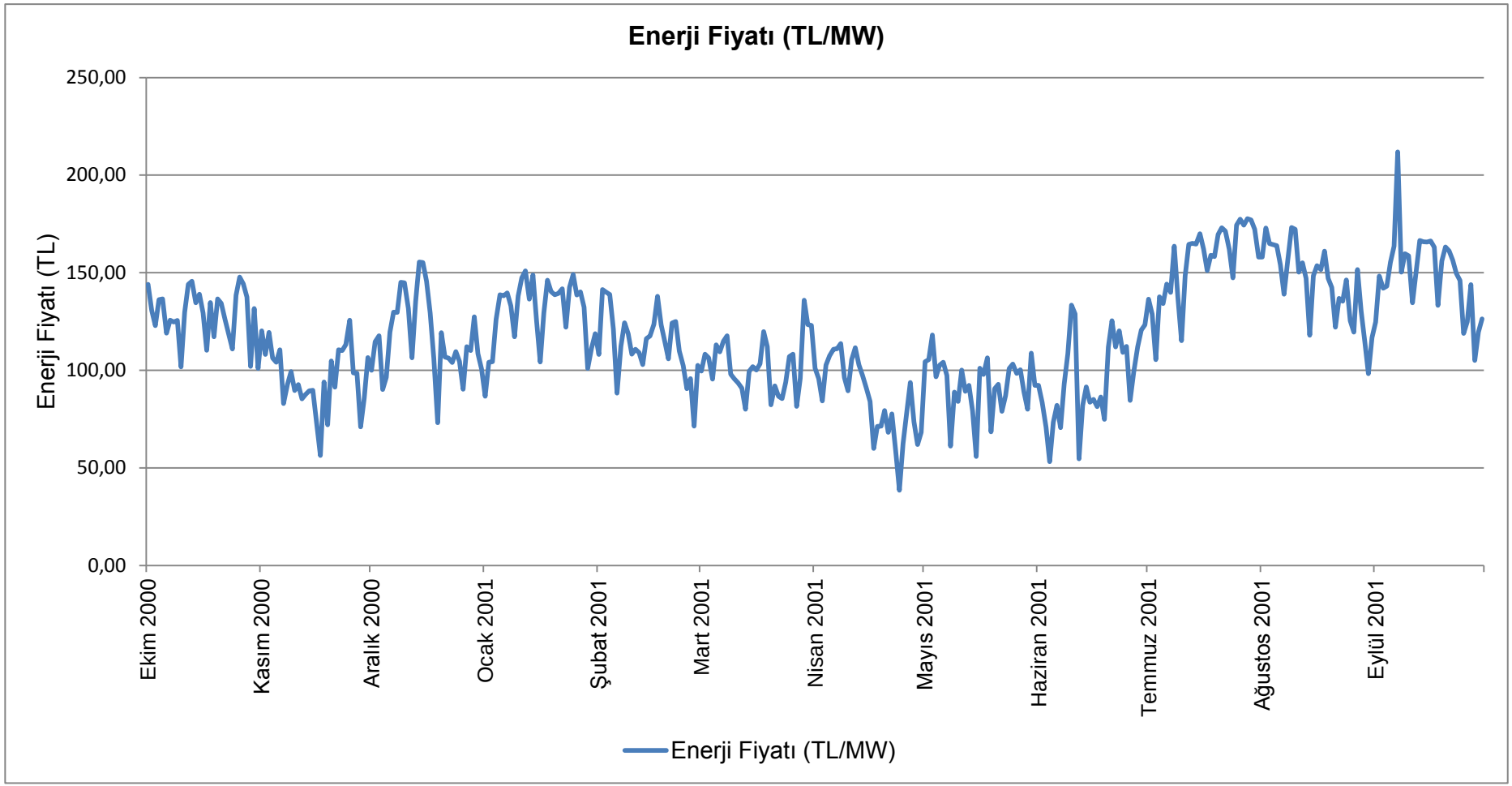
Bu çalışmada ayrıca minimum baraj giriş akım ortalamasına sahip (2000-2001) su yılı, maksimum akım ortalamasına sahip (1967-1968) su yılı ile, düşük enerji fiyat ortalamasına sahip (2010-2011) su yılı enerji fiyatları ve yüksek enerji fiyat ortalamasına sahip (2011-2012) su yılları enerji fiyatlarının oluşturduğu senaryo kombinasyonları denenmiştir. Verilerdeki değişikliğe karşı model sonuçlarındaki tepkileri görebilmek açısından bu modeller çözülmüştür.

7.8.1 En düşük akım ortalaması ile en düşük enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en kötü durum senaryosu)

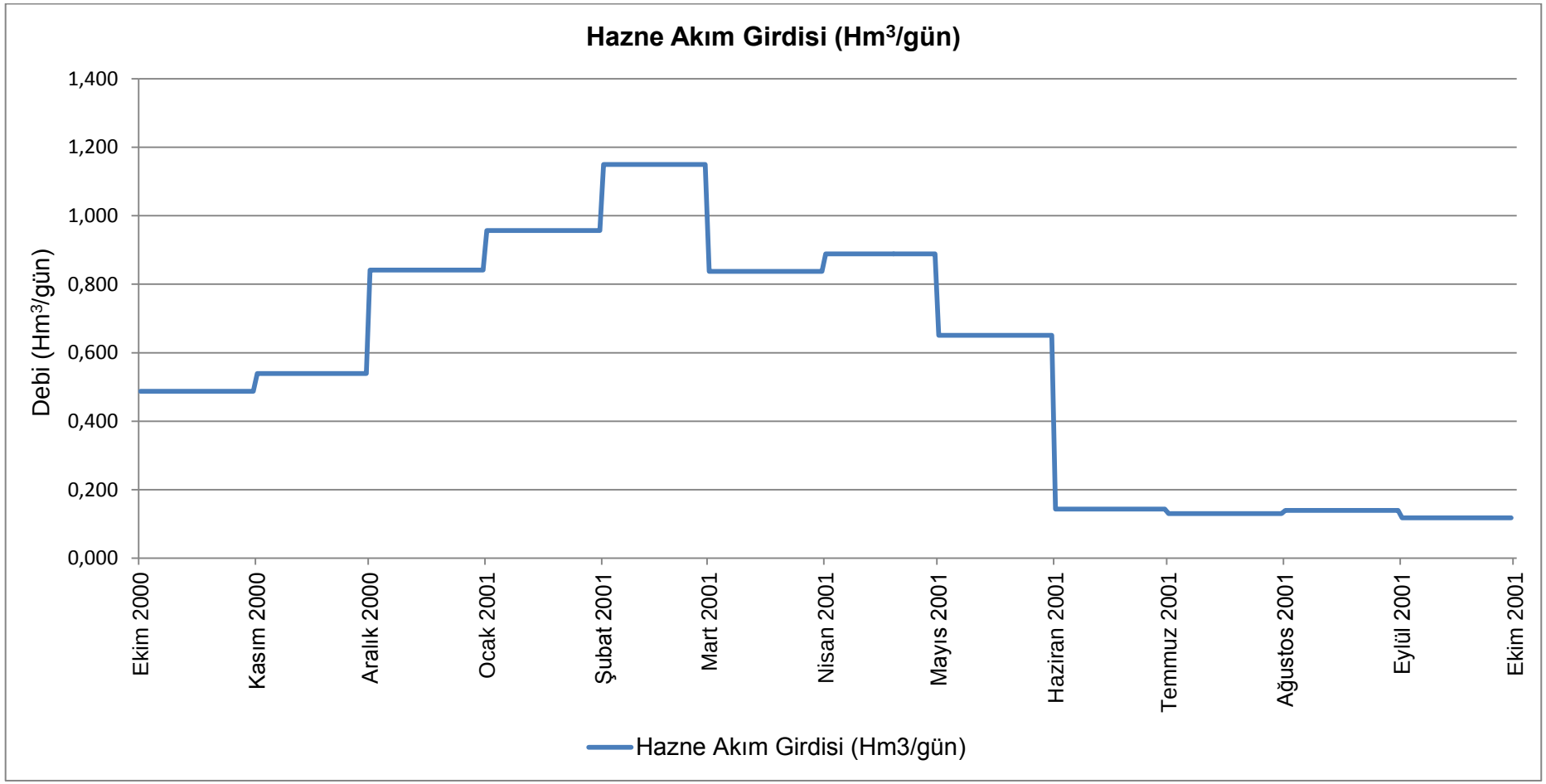
Sami Soydam Barajı minimum giriş akımları ortalamasına sahip (2000-2001) su yılı, düşük enerji fiyat ortalamasına sahip (2010-2011) su yılı enerji fiyatlarının oluşturduğu en kötü durum senaryosu için model çalıştırılmıştır. Mevcut veriler arasından en kötü durum seçilmiştir. En kötü durum senaryosu için de ayrıca dolu başlama dolu bitirme, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme ve boş başlama boş bitirme koşulları için model çalıştırılmıştır. Her senaryoda olduğu gibi bu senaryoda da tüm başlangıç-bitiş koşulları için ayrı ayrı kalibrasyon çalışması yapılmıştır.

Senaryo çeşitliliği oluşturabilmek için bu veriler arasında kombinasyonlar yaratılıp senaryo çeşitliliği yaratılmıştır. Beklendiği gibi en düşük enerji üretimi, en düşük ekonomik getiri ve en düşük günlük getiri ortalamaları bu senaryoda elde edilmiştir. Kurak dönem için işletme politikası belirlenmiş en iyi başlangıç bitiş koşulu için de ayrıca değerlendirme yapılmıştır. En iyi başlangıç bitiş koşulunun yarı dolu başlangıç yarı dolu bitiş olduğu görülmüştür.(bkz. Çizelge 7.35)

Şekil 7.71'de en kötü durum senaryosuna ait fiyatlar yer almaktadır. Şekil 7.72'de ise en kötü durum senaryosuna ait hazneye giren su hacmi miktarları yer almaktadır. Mevcut verilerden daha kötü sonucun alınmayacağı bilinmektedir.



Şekil 7.71 : Ekim 2000 ve Ekim 2001 yılları boyunca senaryoda kullanılan en düşük (2010 2011) enerji fiyatı serisi.



Şekil 7.72 : Ekim 2000 ve Ekim 2001 yılları boyunca hazneye gelen günlük debi ortalamaları (aylık değerler günlük ortalamalara çevrilmiştir).

7.8.1.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 101.043 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 14.435.691 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

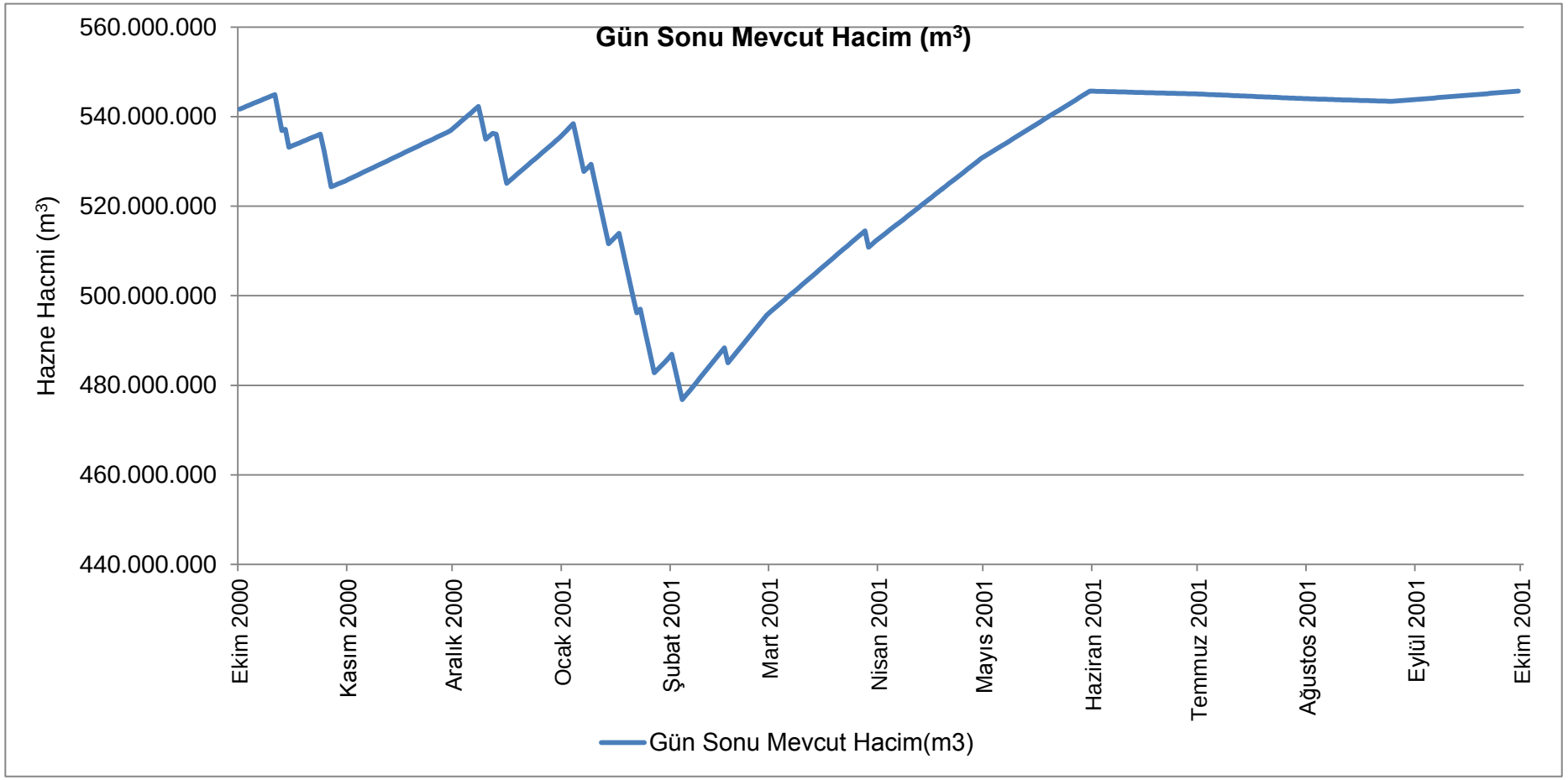
Çizelge 7.22'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

Şekil 7.73'te hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.74'te hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.75'te günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

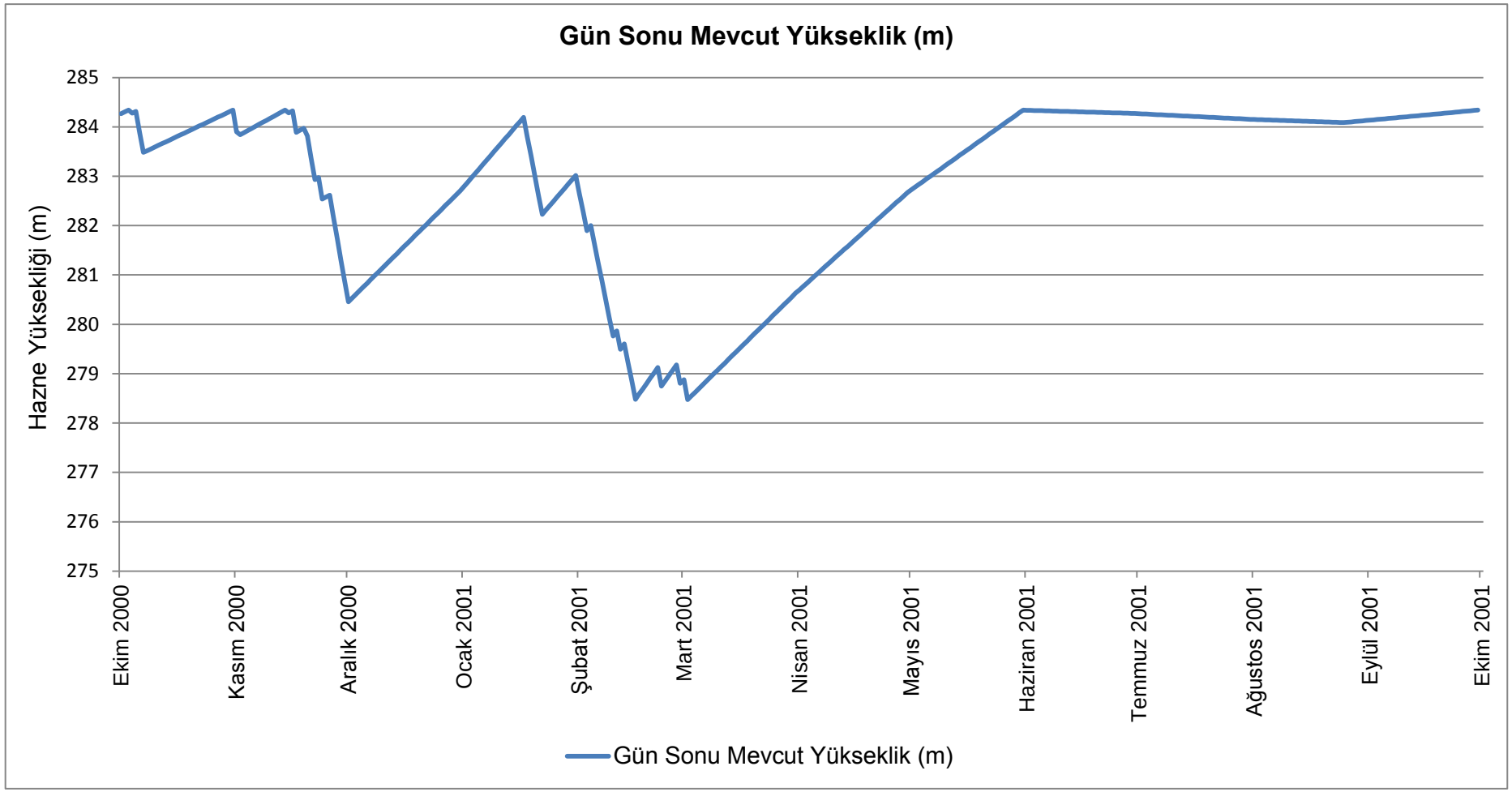
Buna göre baraj toplam 34 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 33 günü tam kapasite çalışmış ve %96,69'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 39.550 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 2 gündür. Yarı dolu başlama-bitiş ve dolu başlama-bitiş koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.22 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en kötü durum senaryosu).

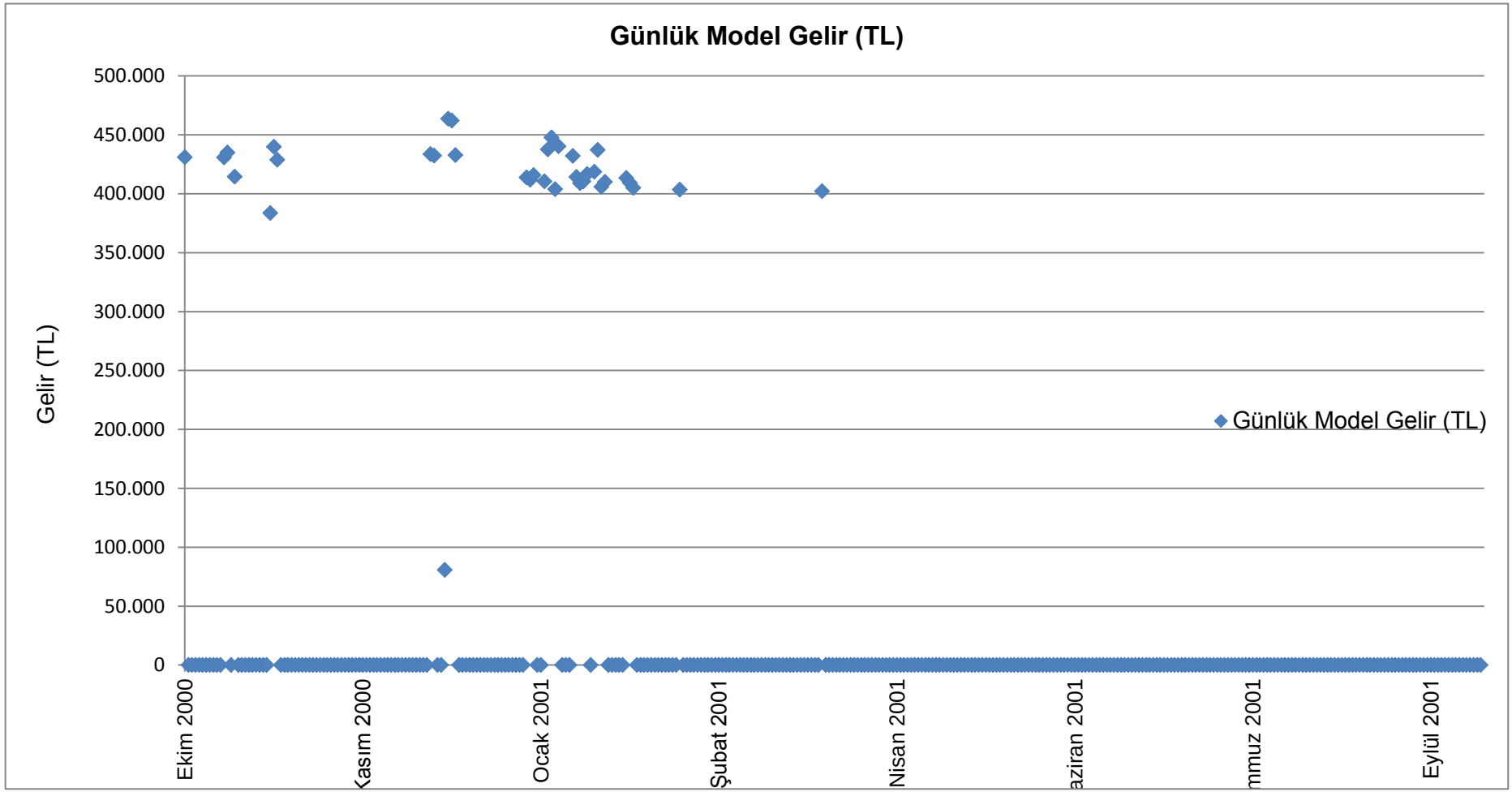
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
34	33	96,69	2	101.043	14.435.691	39.550



Şekil 7.73 : En kötü durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.74 : En kötü durumda, dolu başlama - dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.75 : En kötü durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.1.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 96.206 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 16.230.487 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Buna göre baraj toplam 34 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 33 günü tam kapasite çalışmış ve %96,71'lık tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 44.467 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 2 gündür. Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışması yapılmıştır.

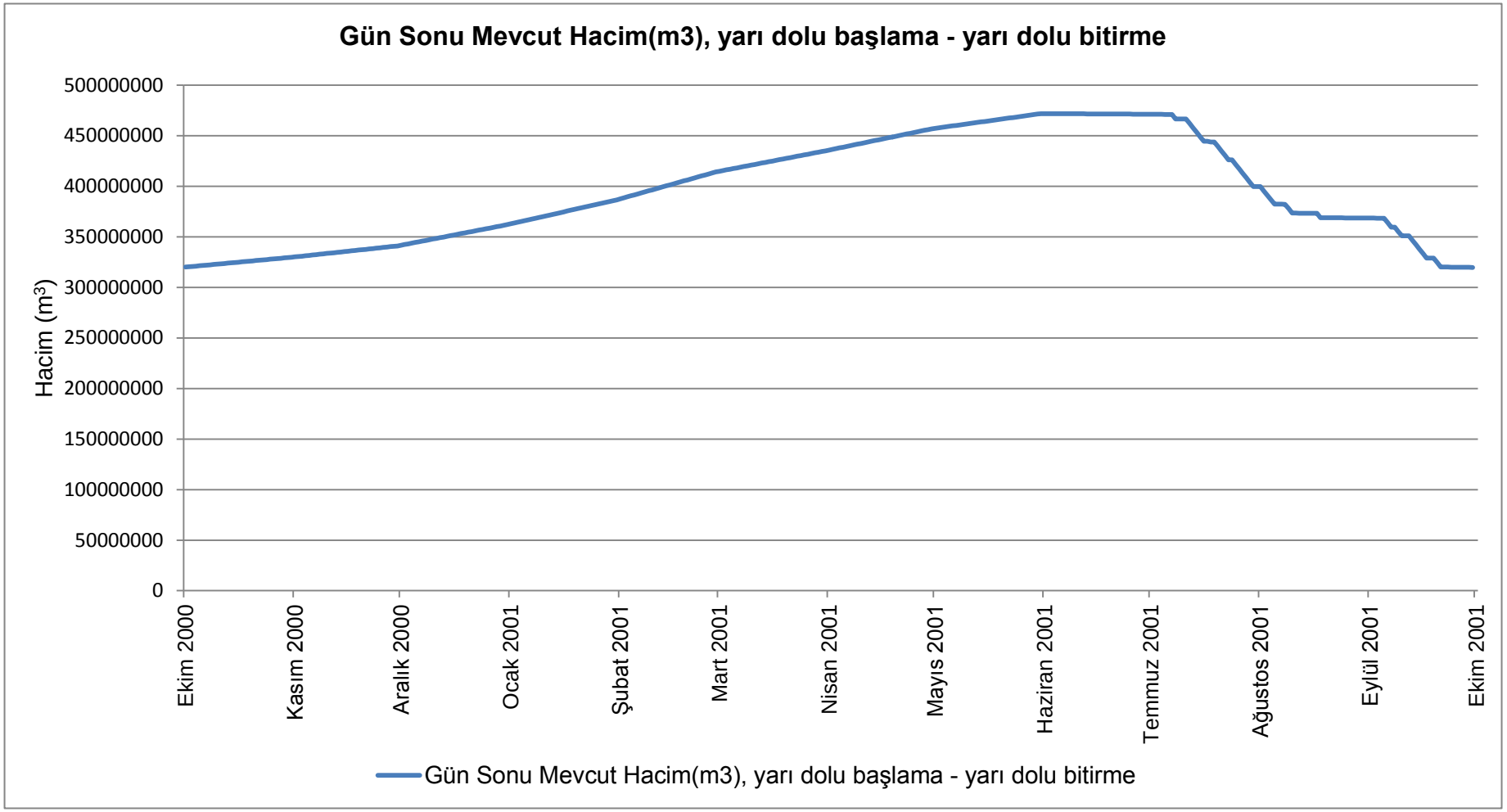
Yarı dolu başlama-bitiş koşulu en yüksek getiriyi sağlamıştır. En kötü durum senaryosunda yarı dolu başlama-bitiş koşulu ile en yüksek getiri sağlanması kurak sezonlar öncesinde hazneyi bu durumda tutmanın daha iyi sonuçlar getireceğini bize açıklamaktadır.

Çizelge 7.23'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

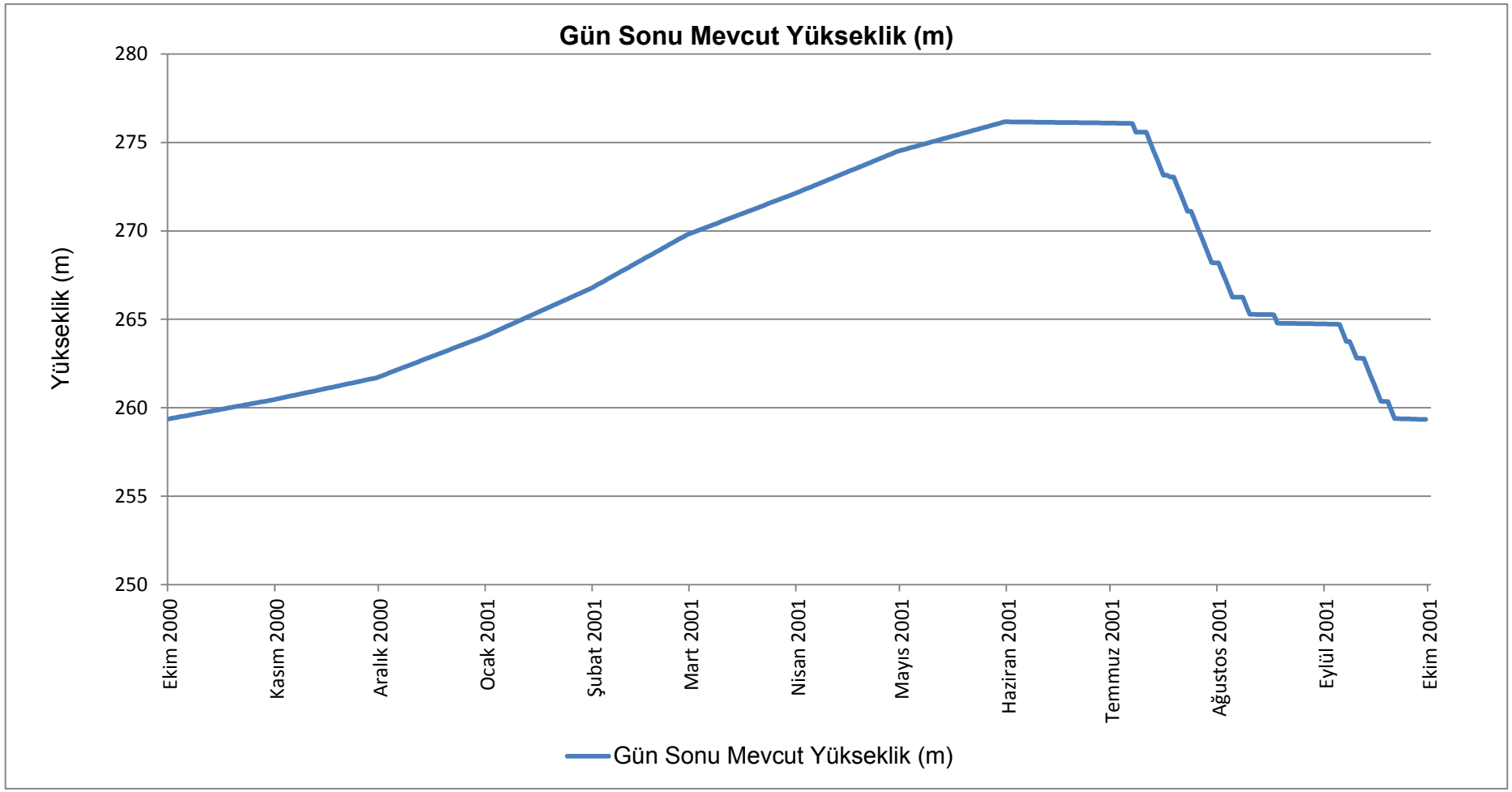
Şekil 7.76'da hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.77'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.78'de günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.23 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en kötü durum senaryosu).

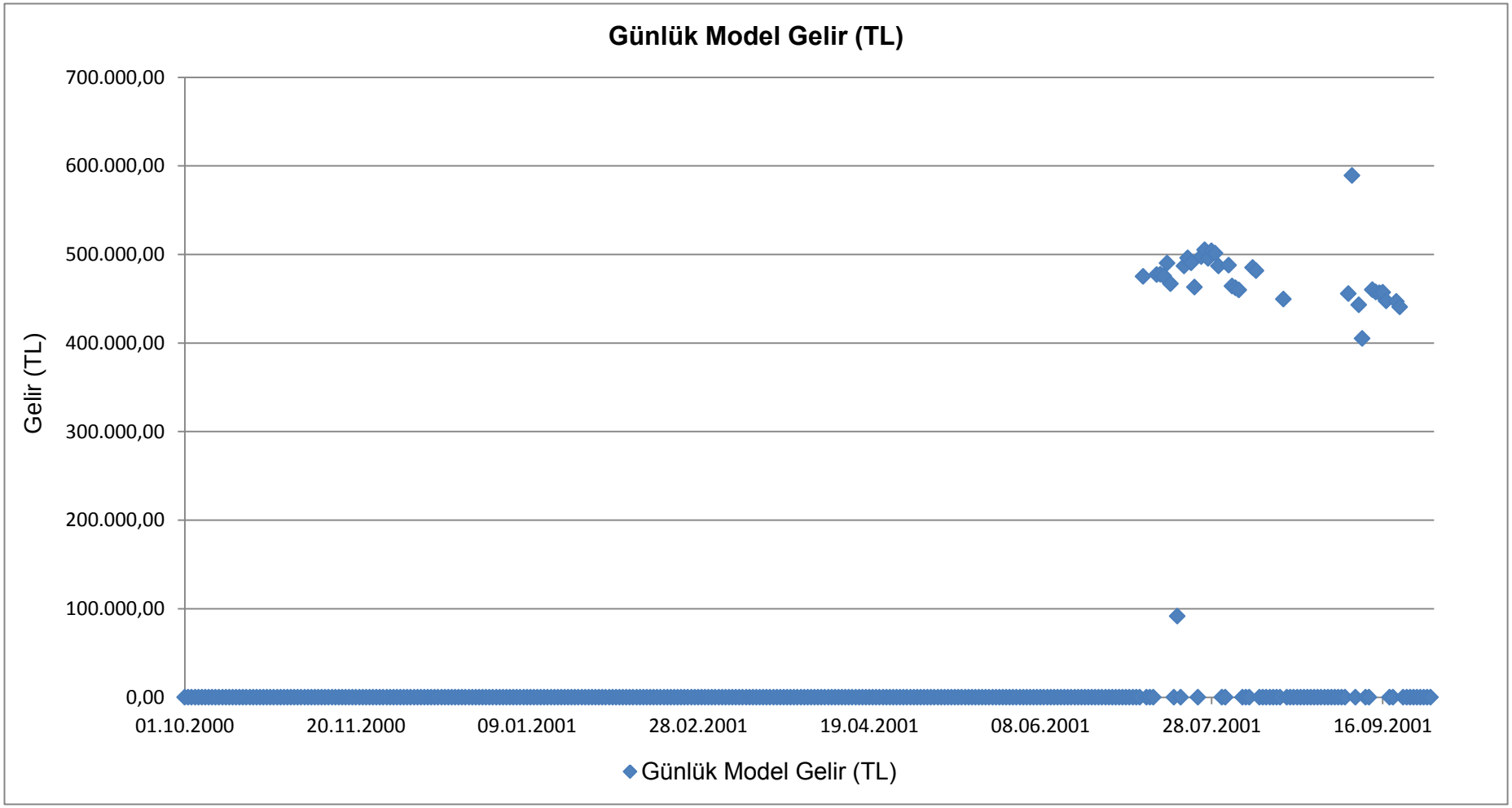
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
34	33	96,71	2	96.206	16.230.487	44.467



Şekil 7.76 : En kötü durumda yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.77 : En kötü durumda, yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.78 : En kötü durumda, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.1.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 87.214 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 14.713.732 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 7.24'te gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

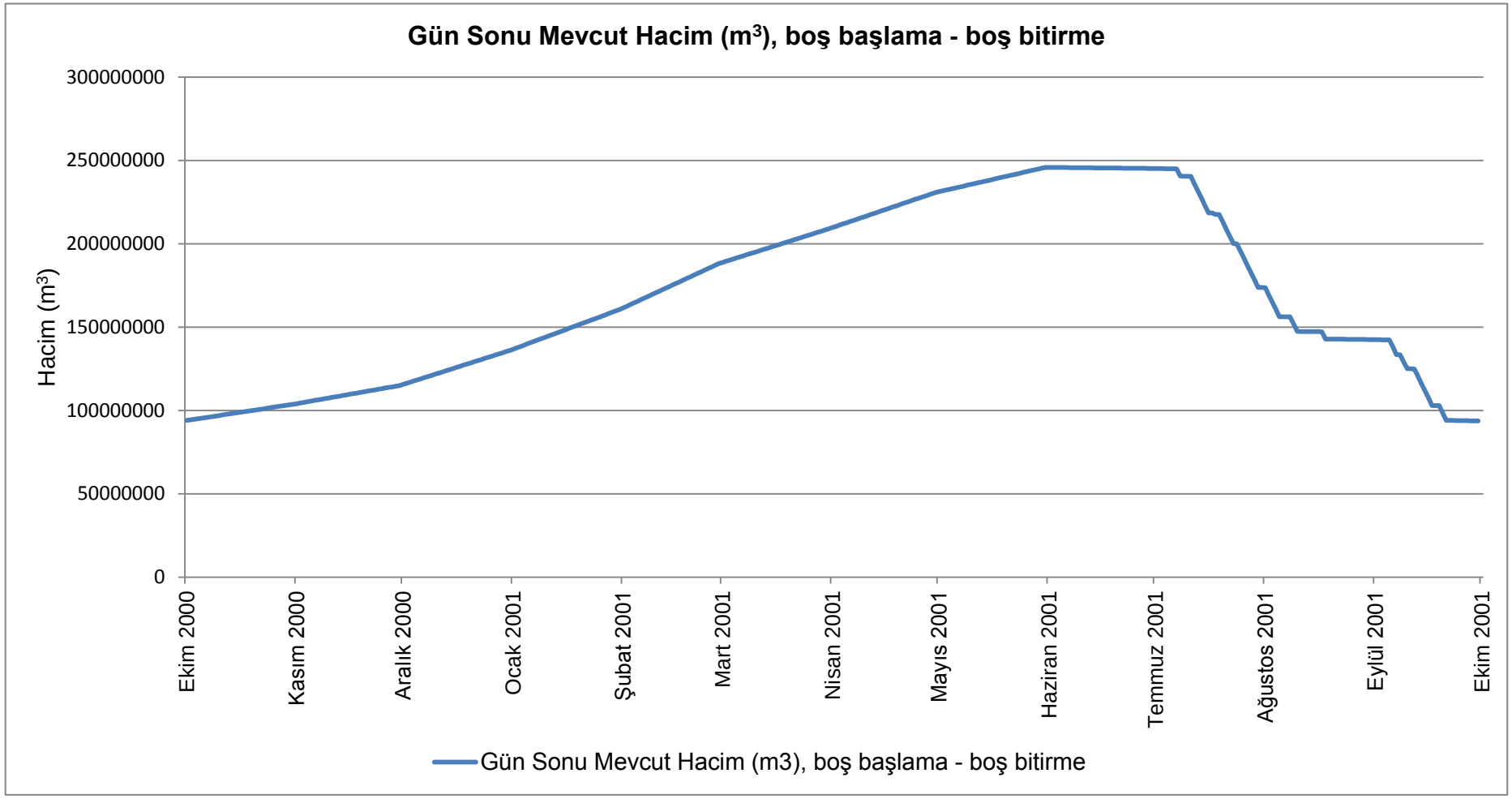
Buna göre baraj toplam 34 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 33 günü tam kapasite çalışmış ve %96,71'lık tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 40.312 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 2 gündür.

Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Boş başlama-bitirme koşulu ile yarı dolu başlama bitirme koşulundan daha düşük dolu başlama-bitirme koşulundan daha yüksek getiri sağlanmıştır.

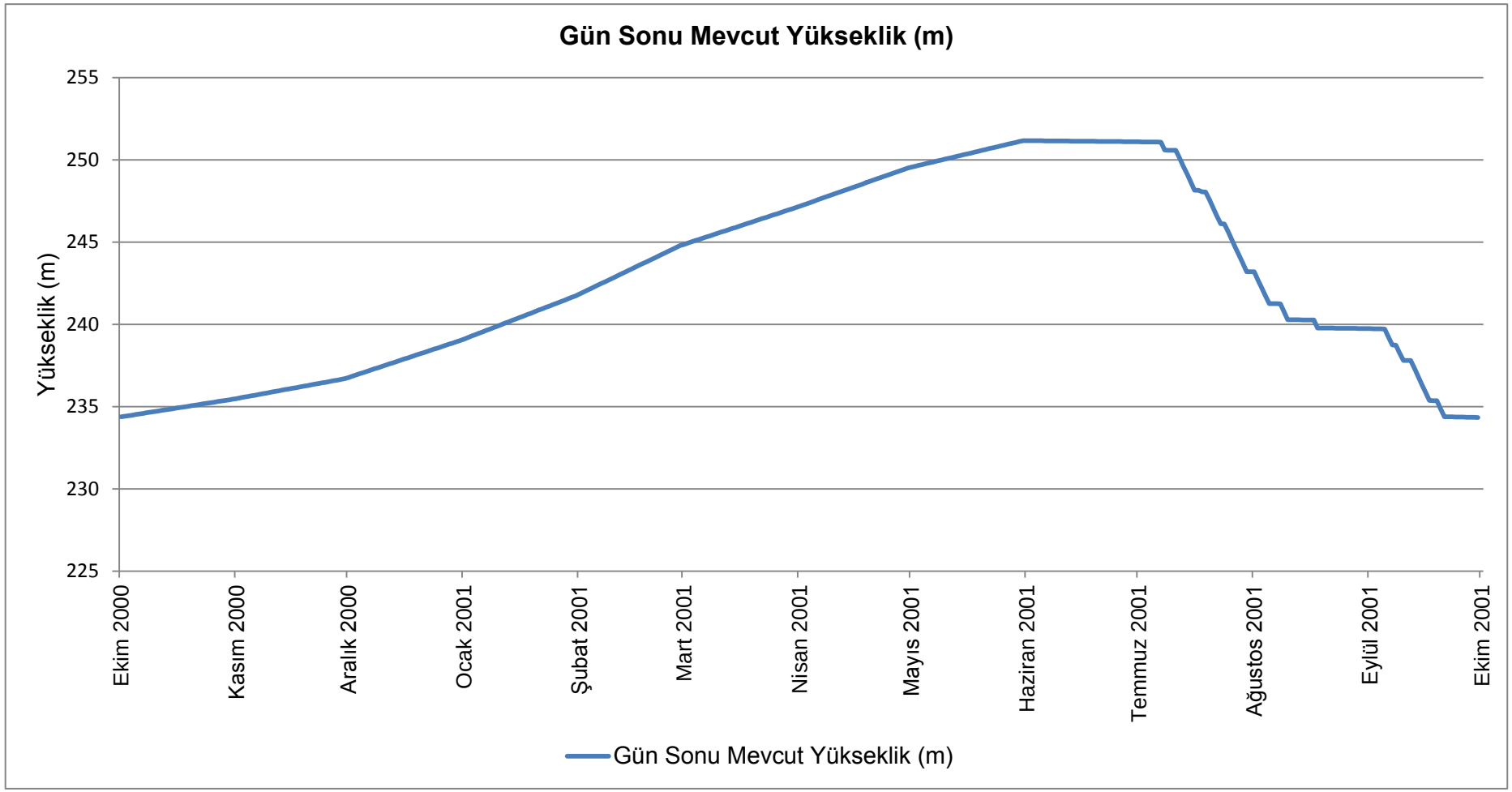
Şekil 7.79'da hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.80'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.81'de günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.24 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en kötü durum senaryosu).

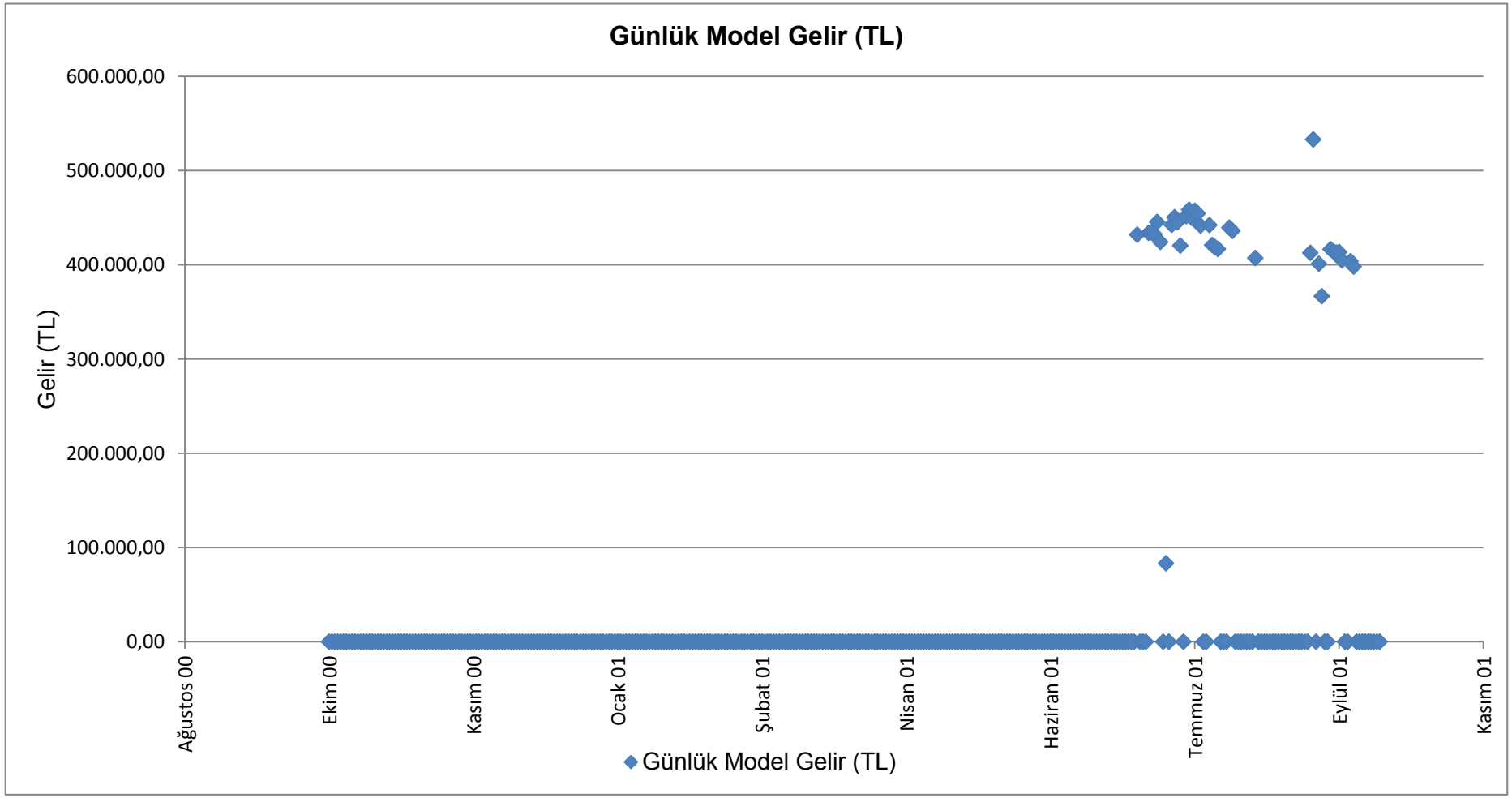
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
34	33	96,71	2	87.214	14.713.732	40.312



Şekil 7.79 : En kötü durumda boş başlama boş bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.80 : En kötü durumda, boş başlama – boş bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



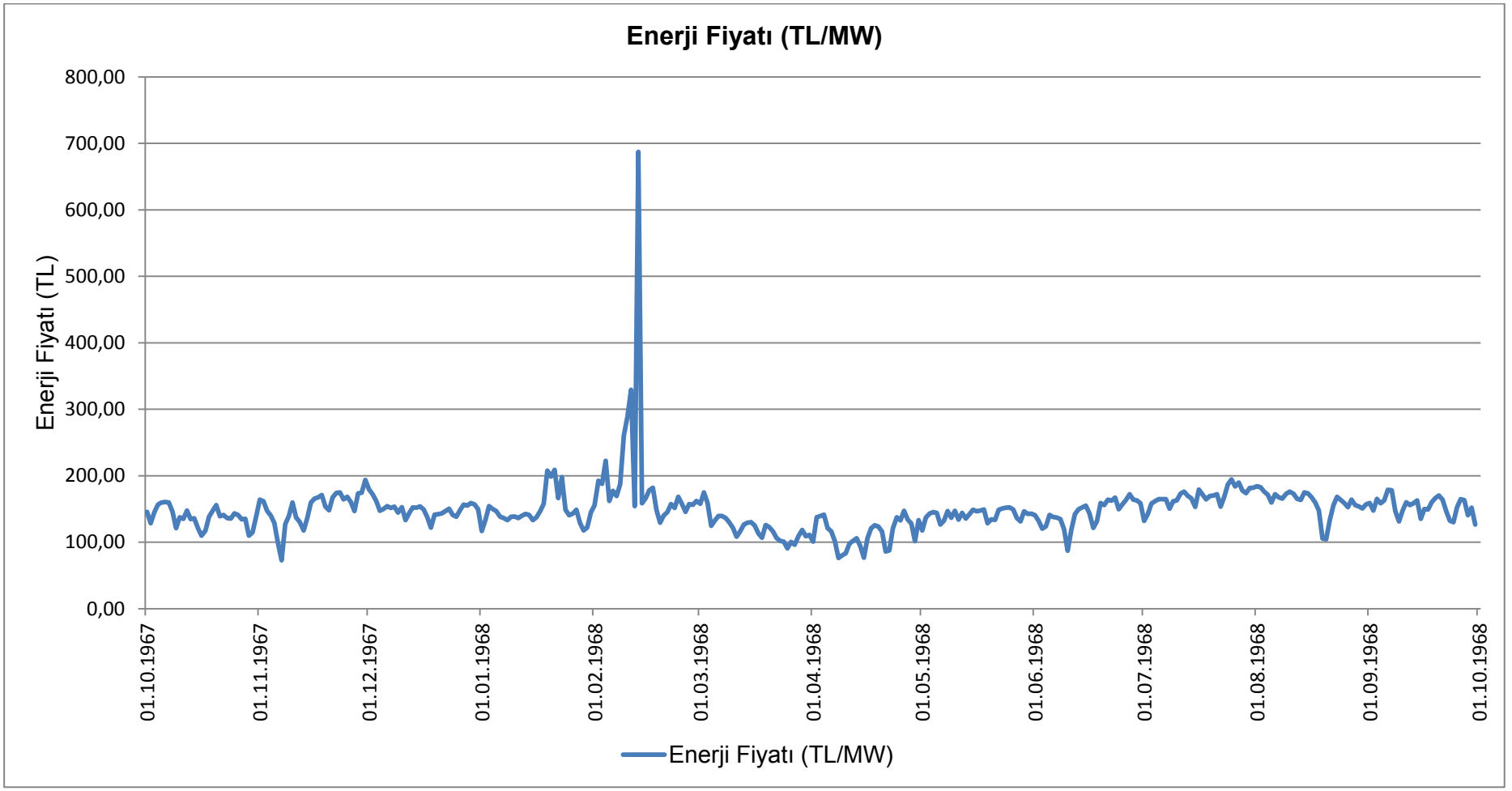
Şekil 7.81 : En kötü durumda, boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.2 En yüksek akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en iyi durum senaryosu)

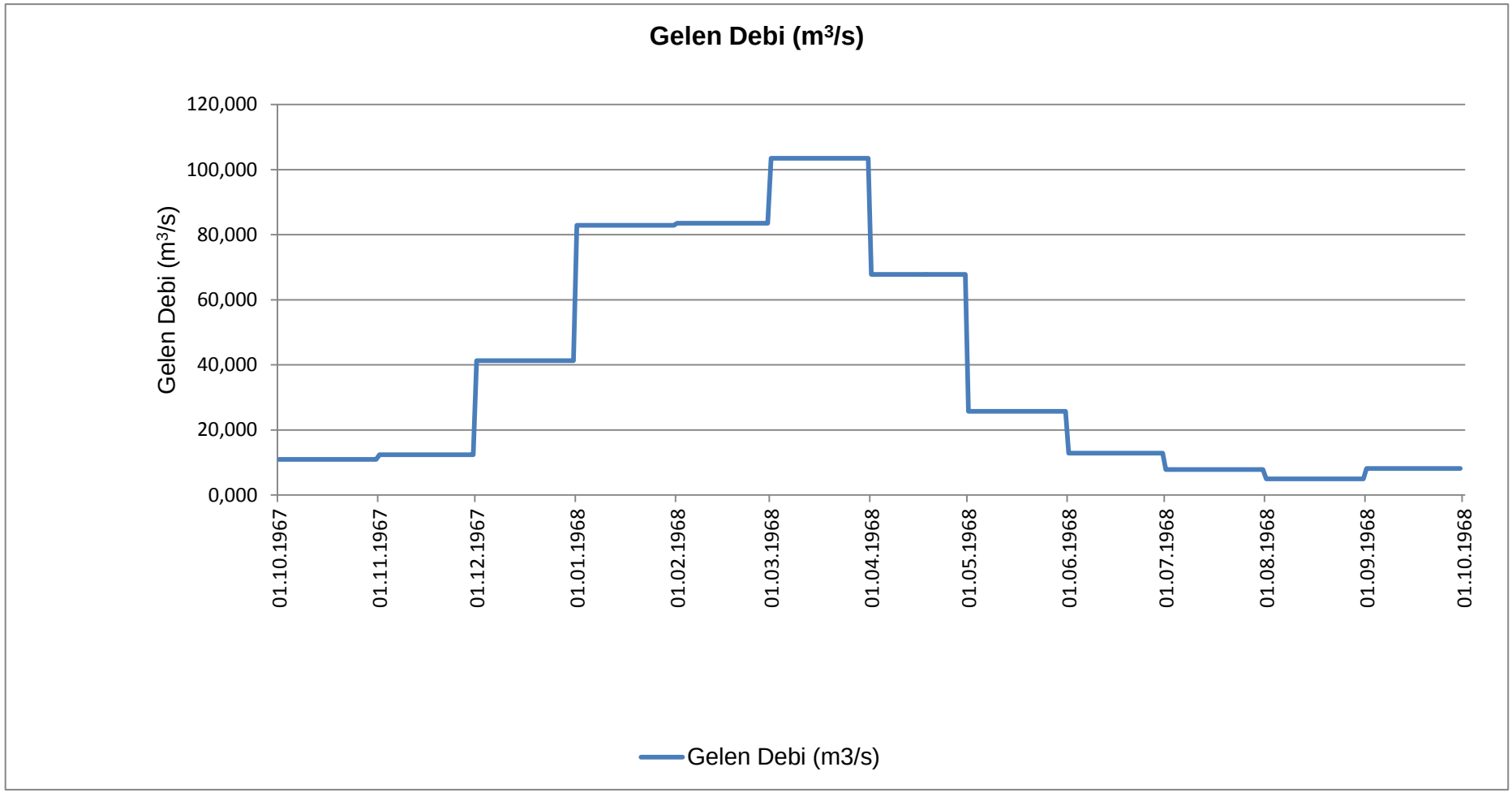
Bu süreler için baraja giren akımların ölçüldüğü ilgili istasyon verilerinin maksimum su girdi ortalamasına sahip (1967-1968) su yılı, yüksek enerji fiyat ortalamasına sahip (2011-2012) su yılı enerji fiyatlarının oluşturduğu en iyi durum senaryosu için model çalıştırılmıştır.

En iyi durum senaryosu için de ayrıca dolu başlama dolu bitirme, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme ve boş başlama-bitirme koşulları için model çalıştırılmıştır. Model sonuçlarında en iyi durumda dolu başlama koşulunda hazne kapasitesinin fazla suyu depolayamadığı dolayısıyla fazla suyu savakladığı görülecektir. Bu sebeple dolu başlama-bitirme koşulunda diğer koşullara oranla çok daha az getiri elde edildiği görülecektir. Bu koşul için yarı dolu başlama-bitirme koşulu en yüksek getiriyi sağlamıştır.

Şekil 7.82'de en iyi durum senaryosuna ait fiyatlar yer almaktadır. Şekil 7.83'de ise en kötü durum senaryosuna ait hazneye giren su hacmi miktarları yer almaktadır.



Şekil 7.82 : Ekim 1967 ve Ekim 1968 yılları boyunca senaryoda kullanılan en yüksek (2011 2012) enerji fiyatı serisi.



Şekil 7.83 : Ekim 1967 ve Ekim 1968 yılları boyunca hazneye gelen günlük debi ortalamaları (aylık değerler günlük ortalamalara çevrilmiştir).

7.8.2.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 701.306 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 102.669.115 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Bu şartlarda gelen su miktarının hazne maksimum işletme hacmini zorladığı görülmüştür. Gelen suyun miktarına bağlı olarak hazneden can suyuna ek olarak salım yapılması gerekliliği doğmuştur. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

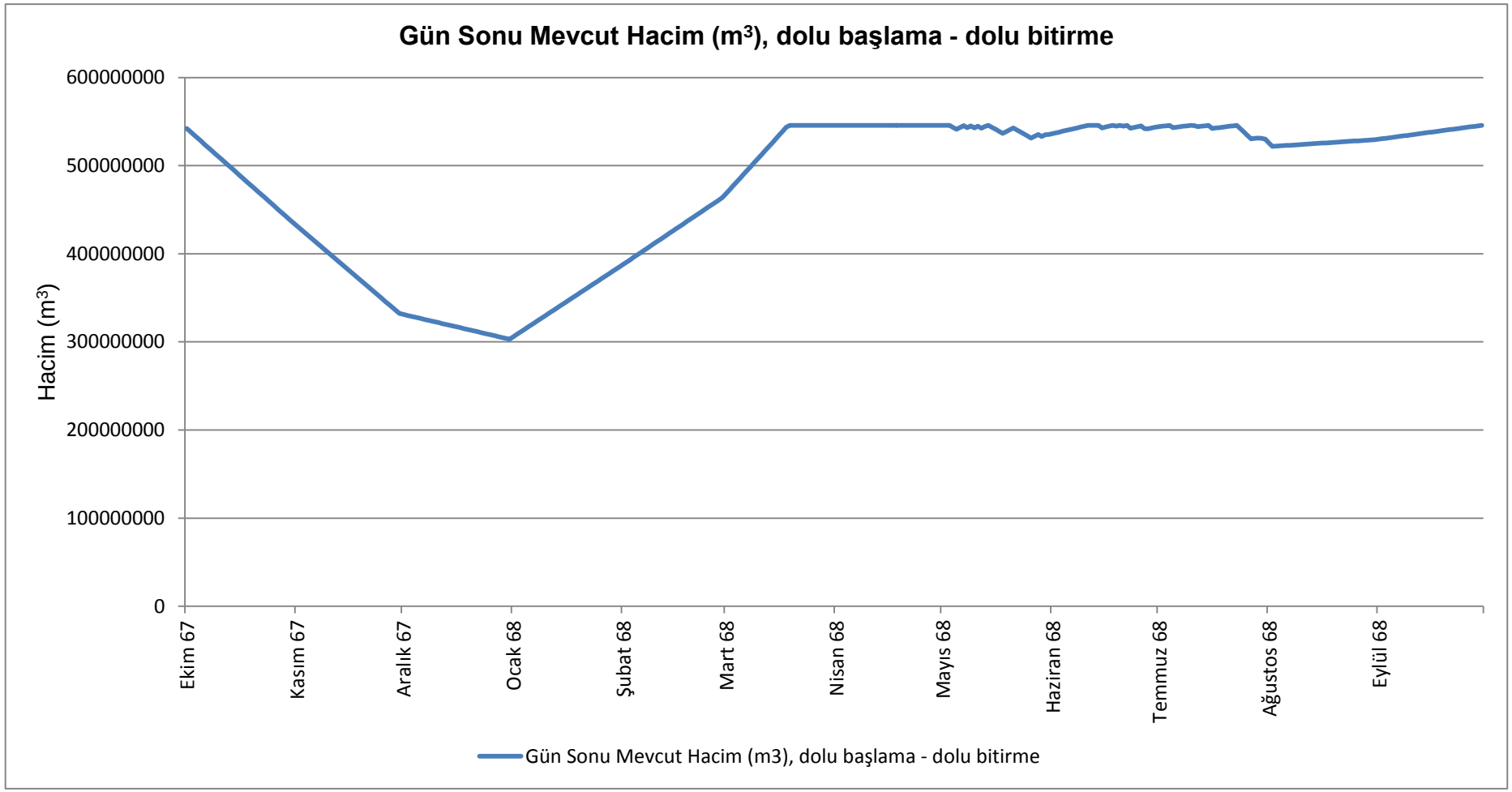
Buna göre baraj toplam 243 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 236 günü tam kapasite çalışmış ve %96,92'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 280.517 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 18 gündür. Dolu başlama-bitiş ve koşullarında gelen suyun depolanamaması sebebiyle en düşük getiri elde edilmiştir (Şekil 7.87).

Çizelge 7.25'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

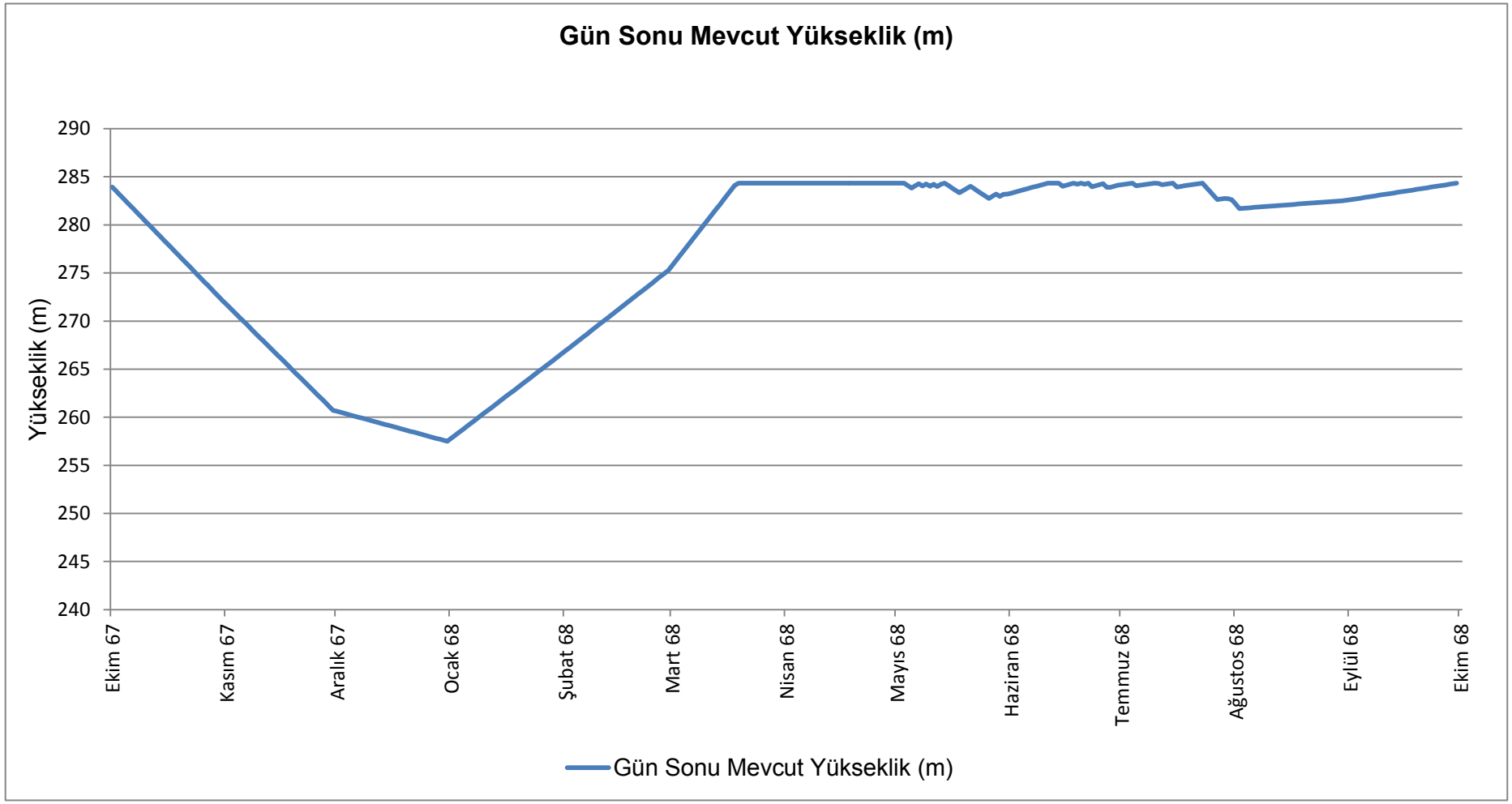
Şekil 7.84'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.85'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.86'de günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir. Şekil 7.87'de hazneden yapılan günlük can suyu ve ilave zorunlu hazne salımları gösterilmektedir.

Çizelge 7.25 : Dolu başlama – dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en iyi durum senaryosu).

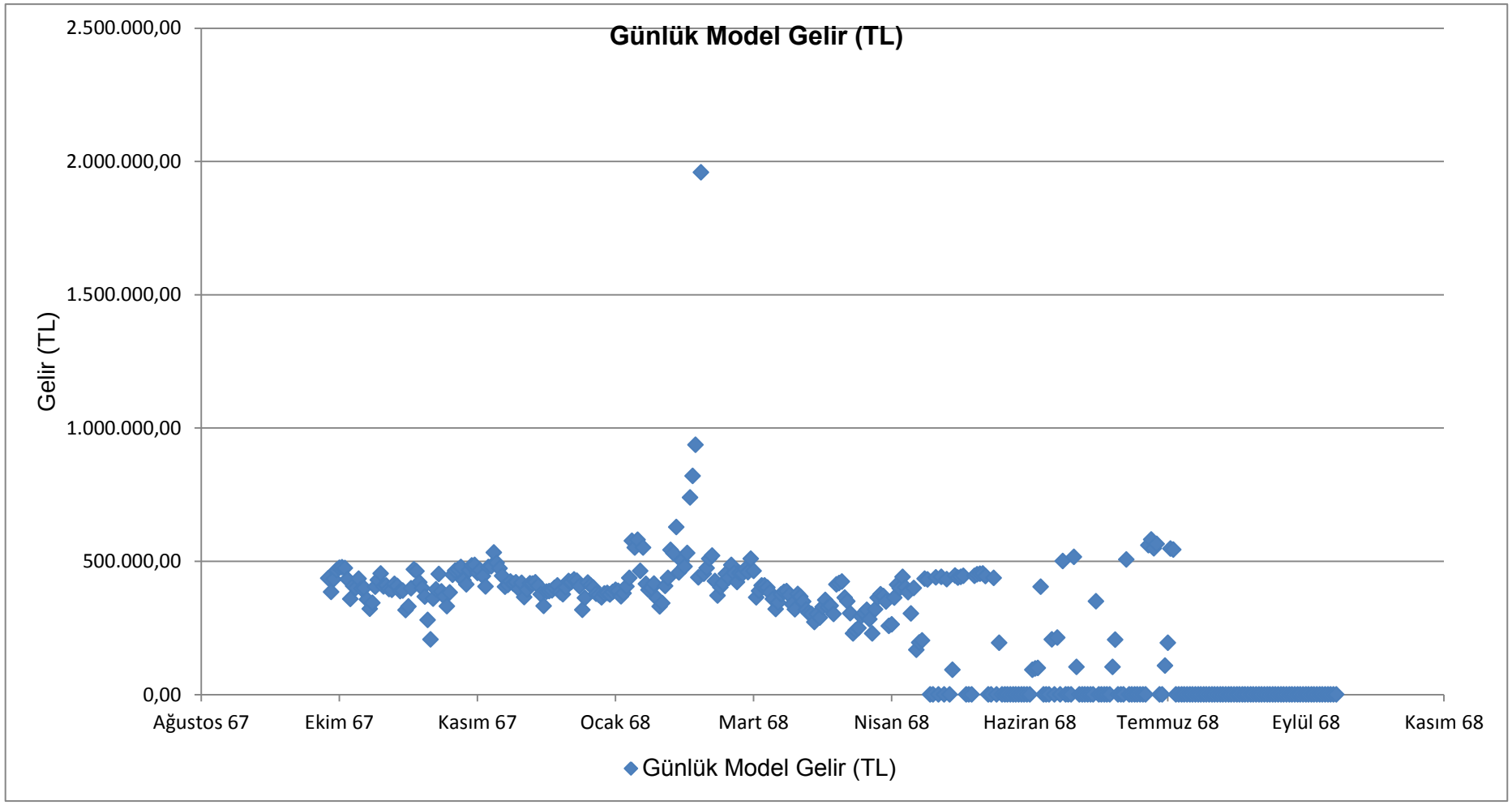
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
243	236	96,92	18	701.306	102.669.115	280.517



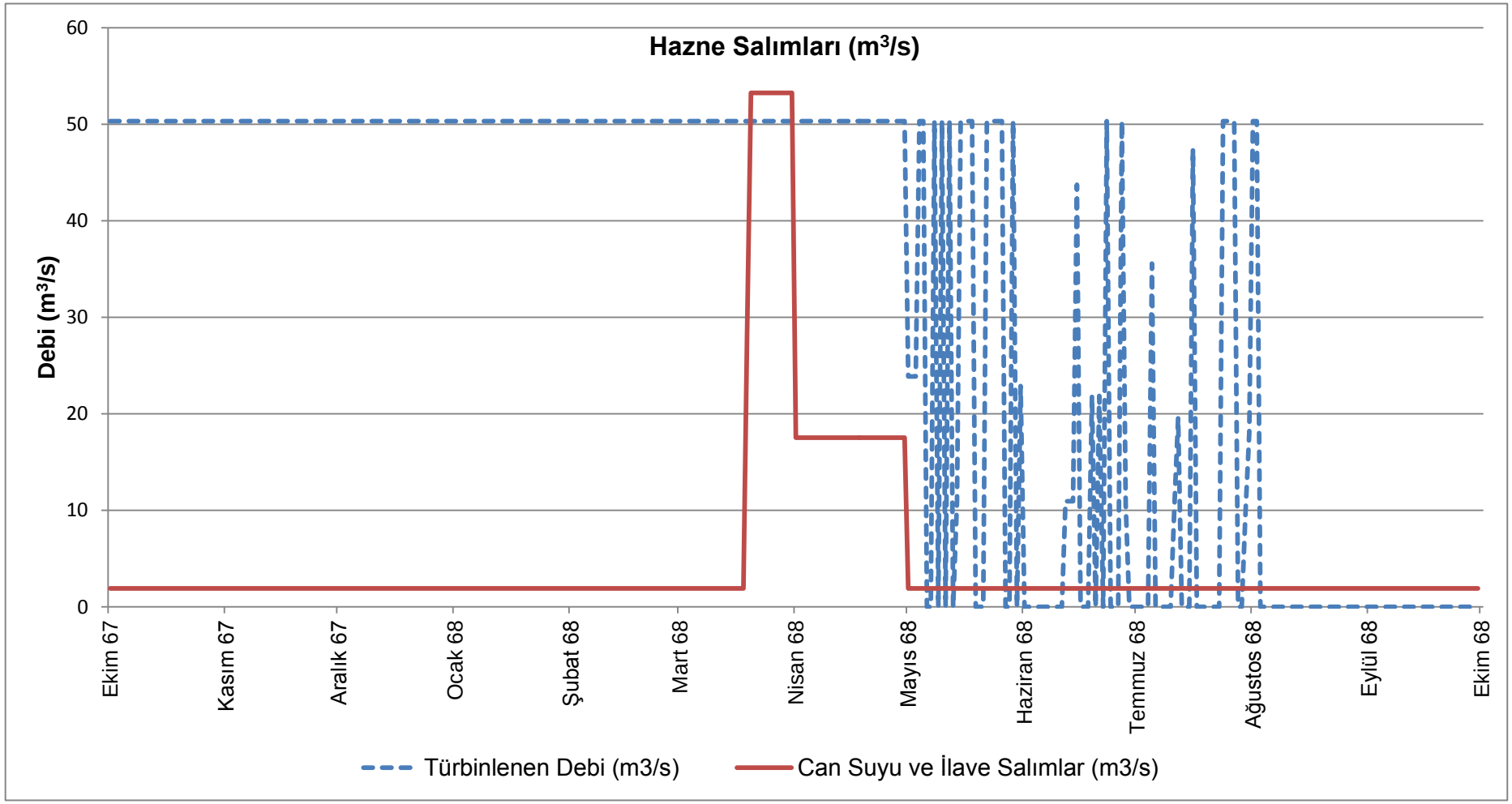
Şekil 7.84 : En iyi durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.85 : En iyi durumda, dolu başlama – dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.86 : En iyi durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.



Şekil 7.87 : En iyi durumda, dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük can suyu ve ilave zorunlu hazne salımları (m3/s).

7.8.2.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 736.297 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 113.390.671 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

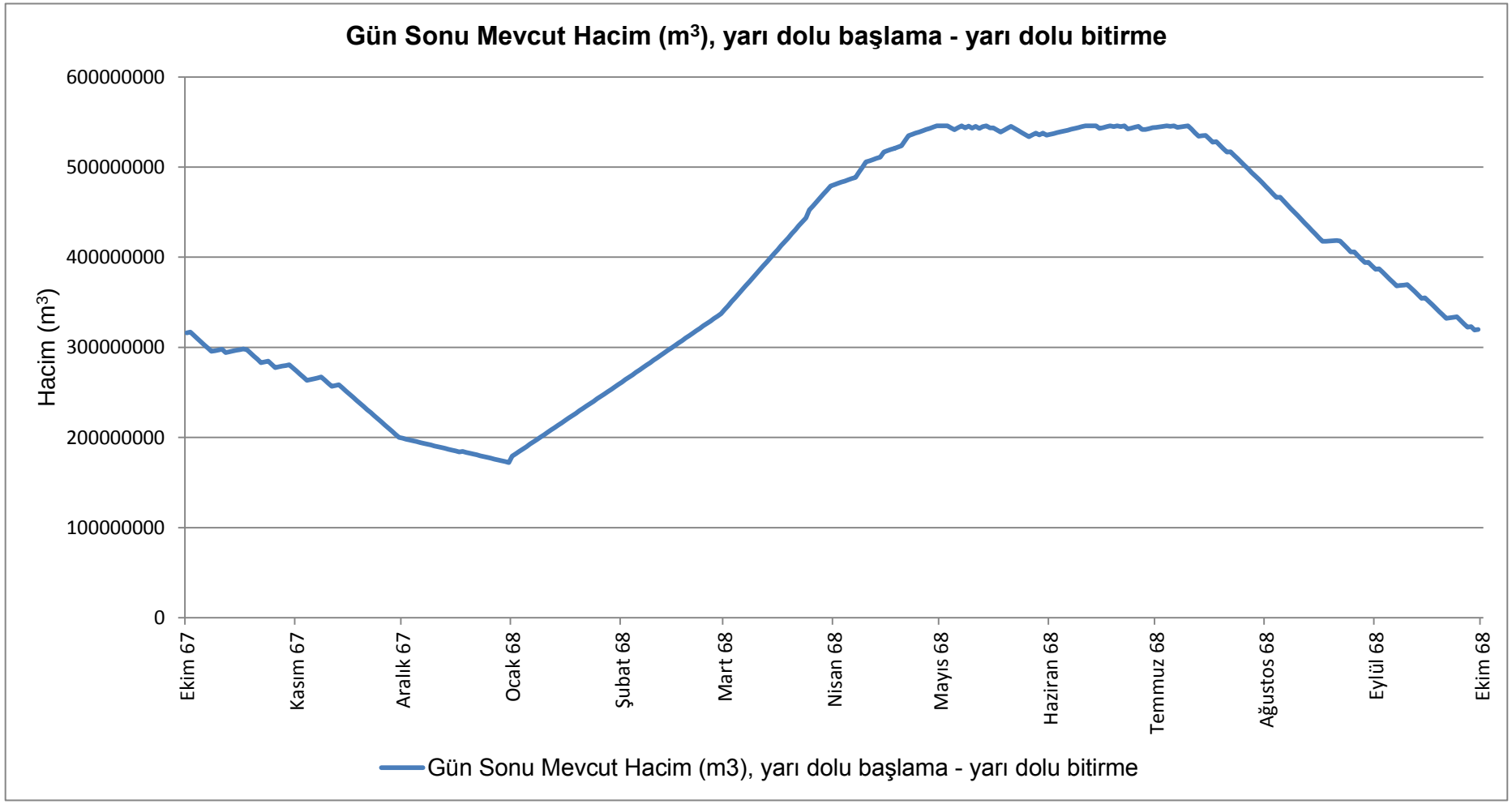
Çizelge 7.26'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

Şekil 7.88'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.89'da hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.90'da günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir. Her senaryoda olduğu gibi bu senaryoda da tüm başlangıç-bitiş koşulları için ayrı ayrı kalibrasyon çalışması yapılmıştır.

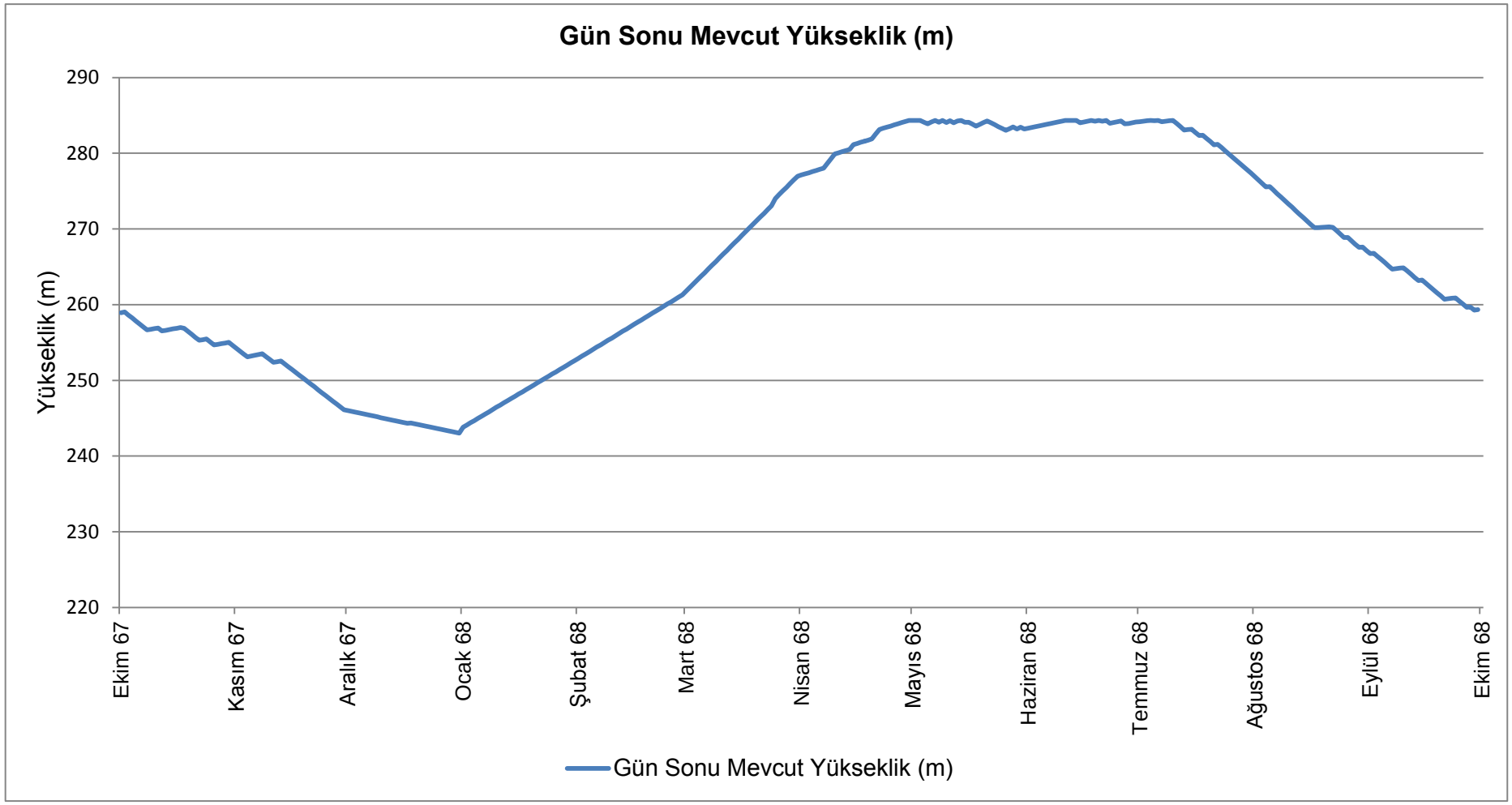
Buna göre baraj toplam 265 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 257 günü tam kapasite çalışmış ve %96,77'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 309.811 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 19 gündür. Yarı dolu başlama-bitiş koşulunda en yüksek getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.26 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en iyi durum senaryosu).

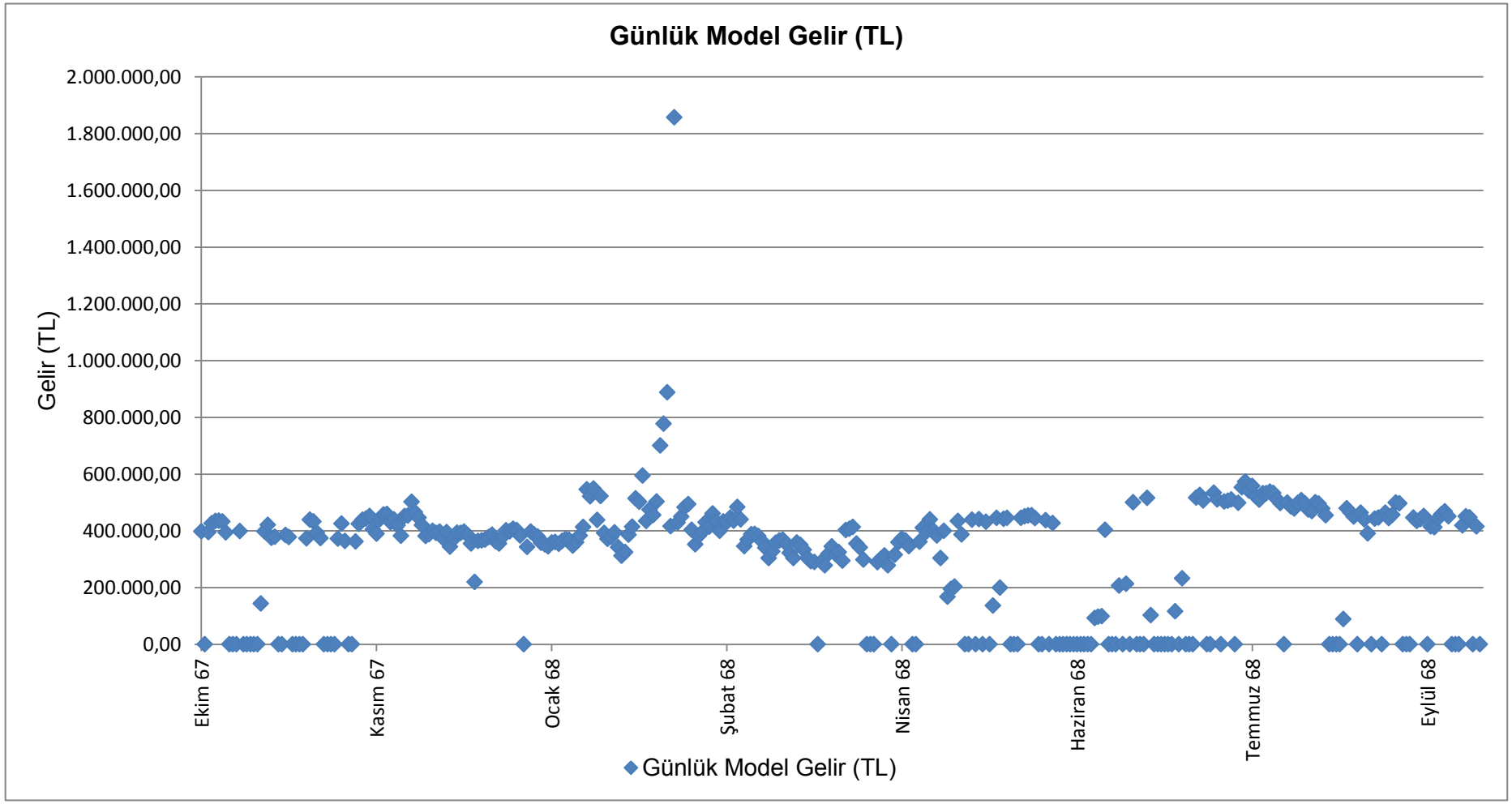
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
265	257	96,77	19	736.297	113.390.671	309.811



Şekil 7.88 : En iyi durumda, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.89 : En iyi durumda, yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.90 : En iyi durumda, yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.2.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 715.121 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 112.384.548 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

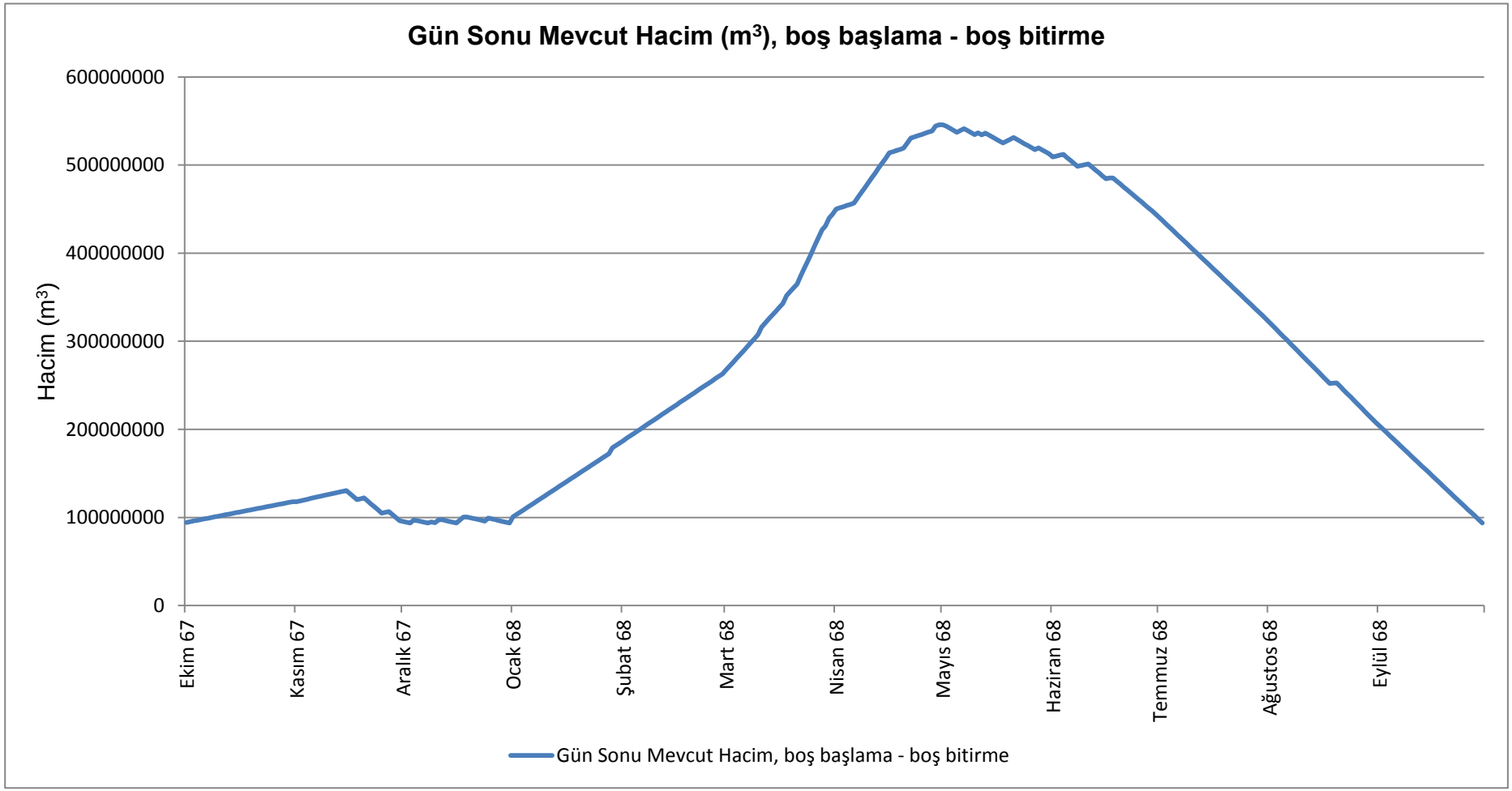
Buna göre baraj toplam 265 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 260 günü tam kapasite çalışmış ve %97,89'luk tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 307.062 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 9 gündür. Boş başlama-bitiş koşulunda yarı dolu başlama-bitiş ve koşullarına göre daha düşük getiri sağlanmıştır.

Çizelge 7.27'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Her senaryoda olduğu gibi bu senaryoda da boş başlangıç-bitiş koşulu için kalibrasyon çalışması yapılmıştır.

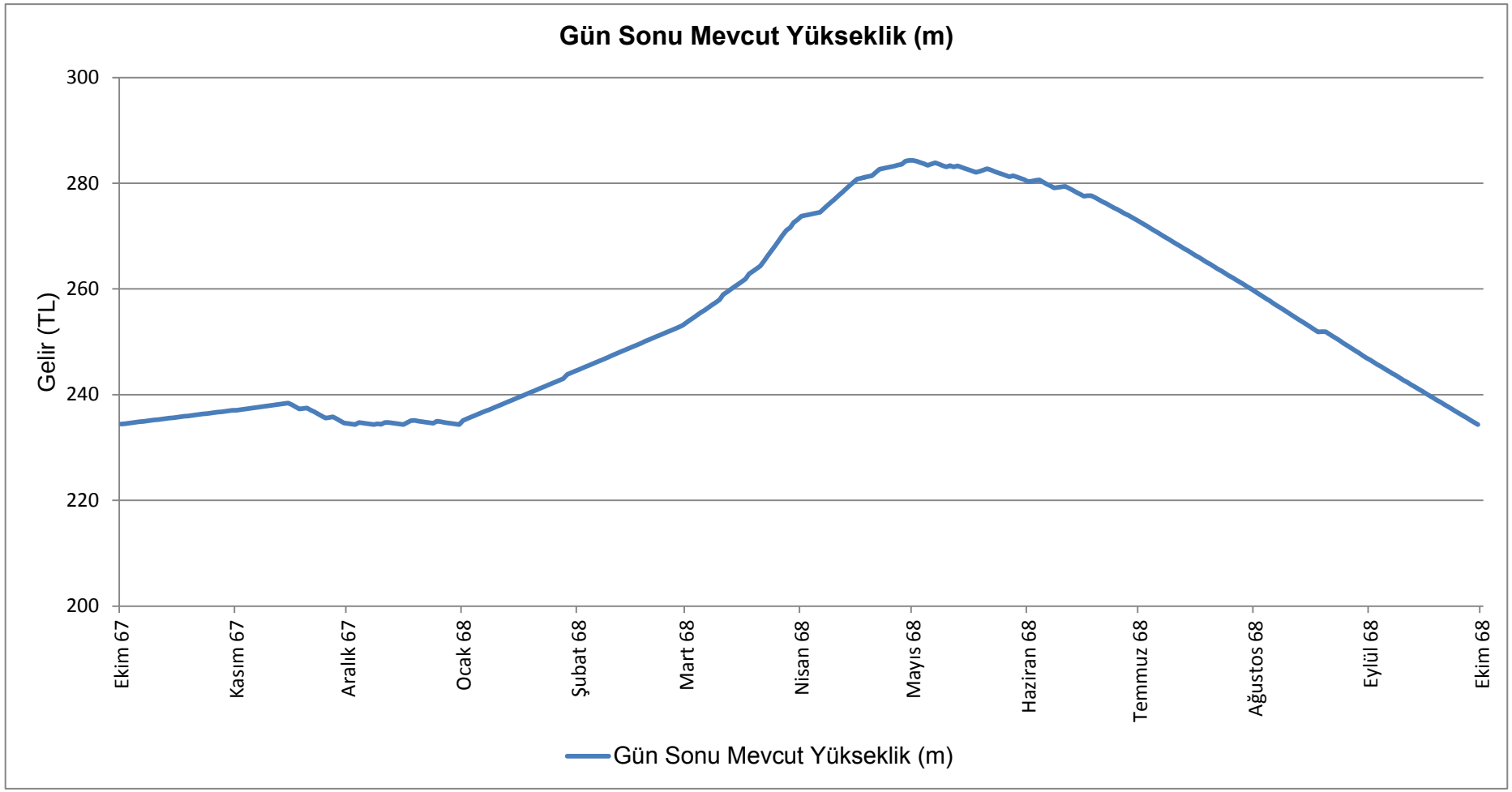
Şekil 7.91'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.92'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.93'te günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.27 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları (en iyi durum senaryosu).

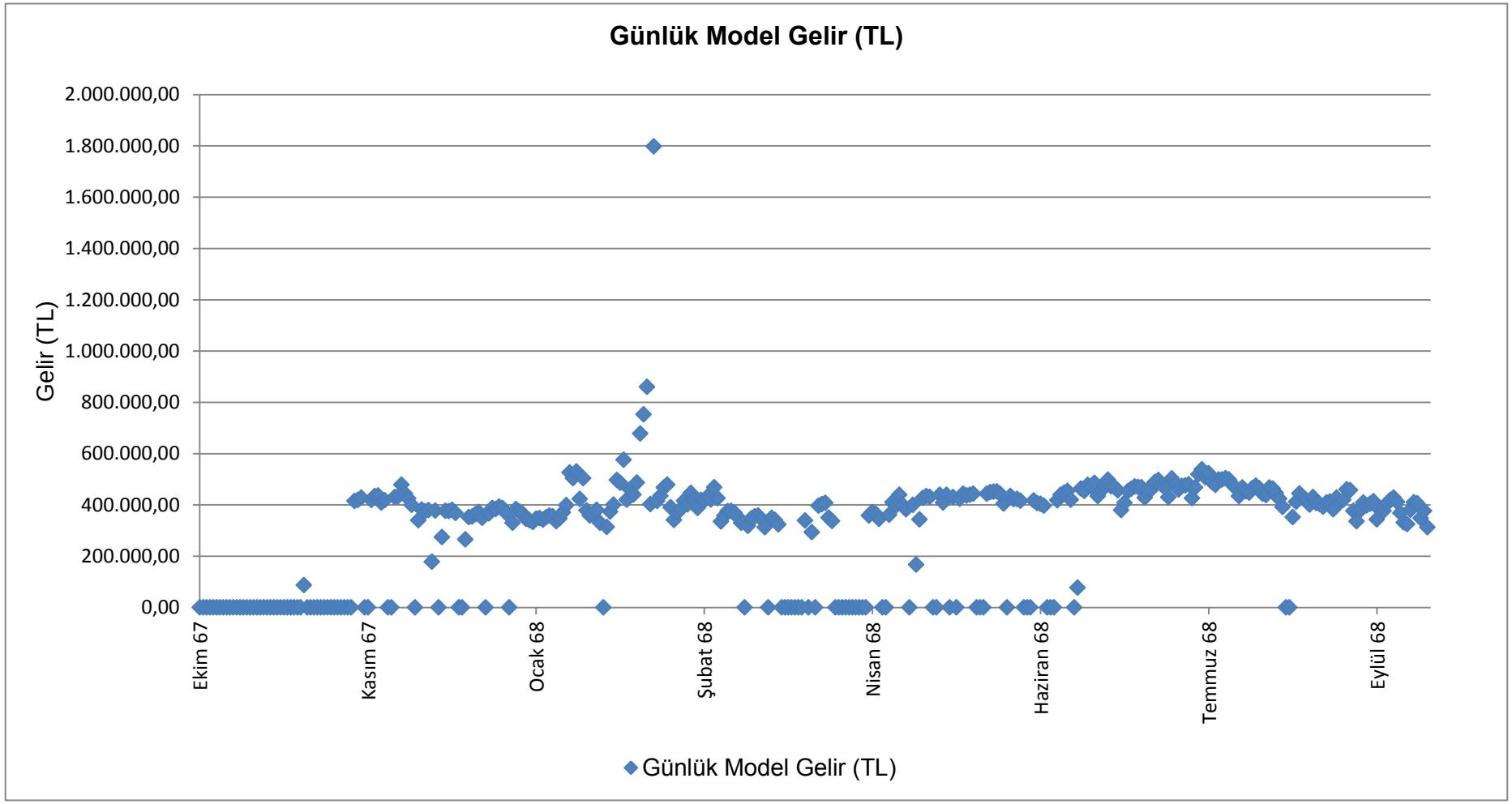
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
265	260	97,89	9	715.121	112.384.548	307.062



Şekil 7.91 : En iyi durumda, boş başlama boş bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.92 : En iyi durumda, boş başlama – boş bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.93 : En iyi durumda, boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.3 En düşük akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyat ortalaması kombinasyonu

Bu kombinasyonda baraj aksında bulunan akım girdilerinin ölçüldüğü ilgili istasyon verilerinin minimum su akış ortalamasına sahip (2000-2001) su yılı ile yüksek enerji fiyat ortalamasına sahip (2011-2012) su yılı enerji fiyatlarının oluşturduğu senaryo için model çalıştırılmıştır.

7.8.3.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

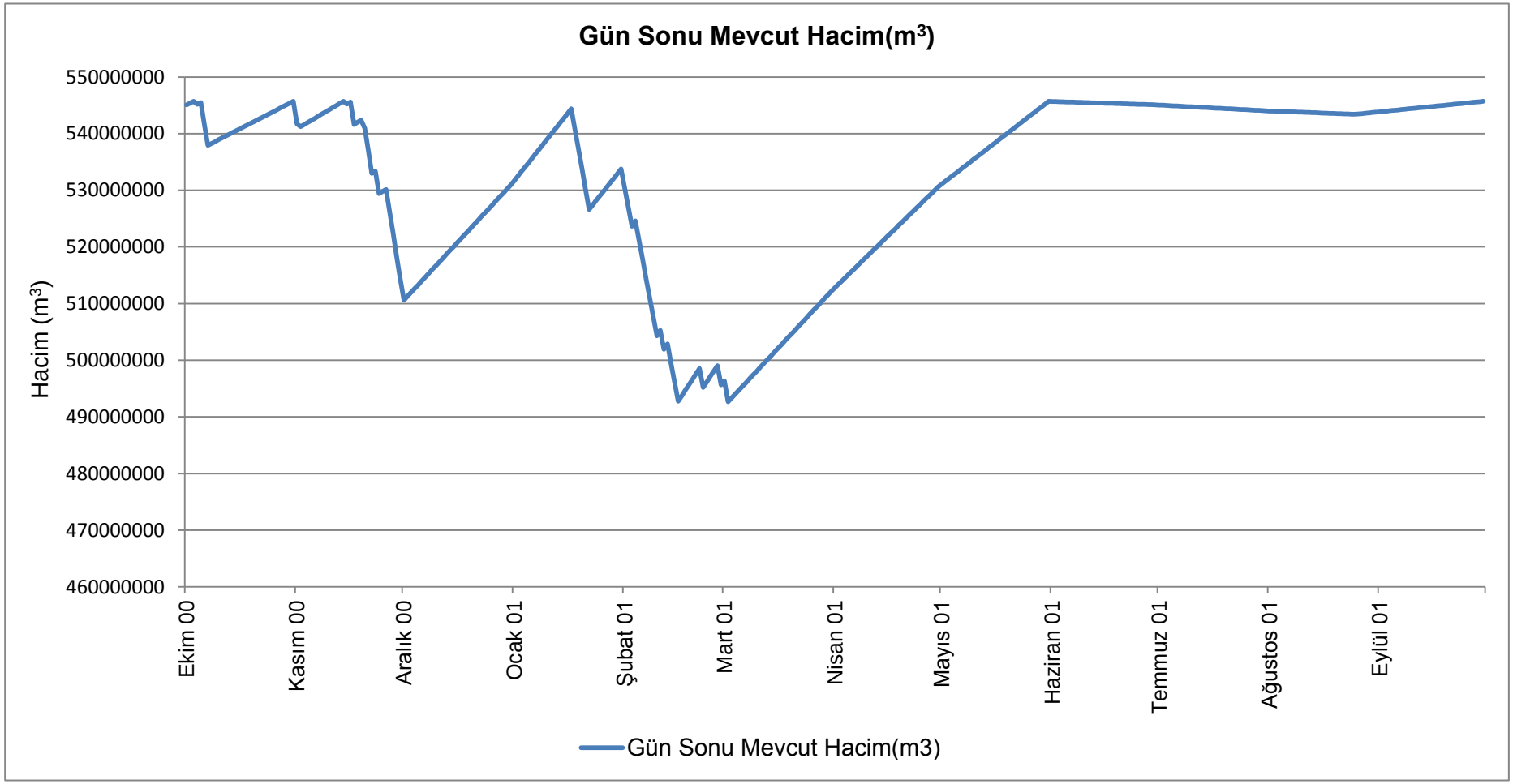
Modelde başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 101.285 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 20.645.758 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Buna göre baraj toplam 34 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 32 günü tam kapasite çalışmış ve %93,76'lık tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 56.564 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 6 gündür. Dolu başlama-bitiş koşullarında en yüksek getiri sağlanmıştır.

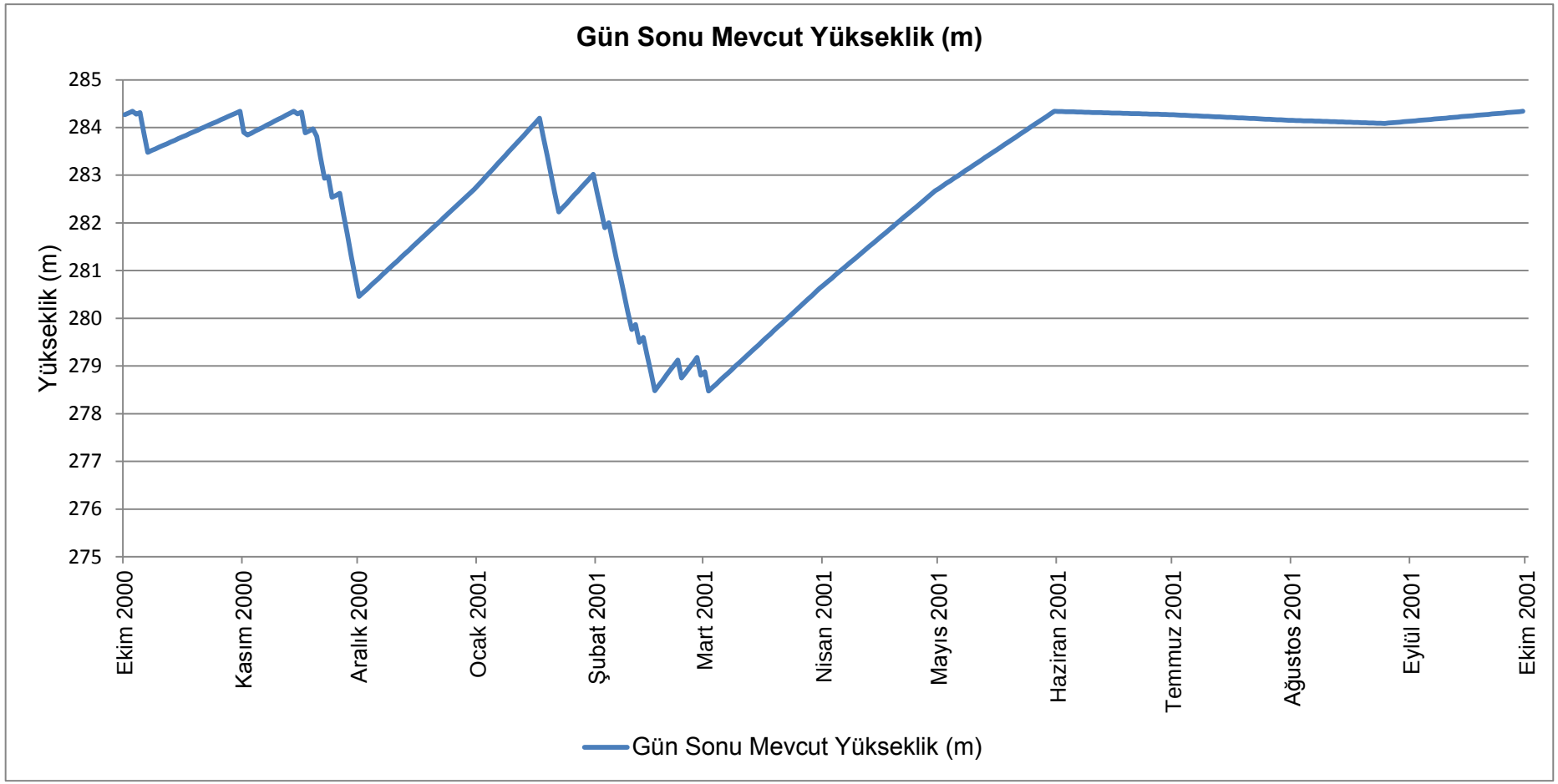
Çizelge 7.28'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.Şekil 7.94'te hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.95'te hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.96'da günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.28 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları

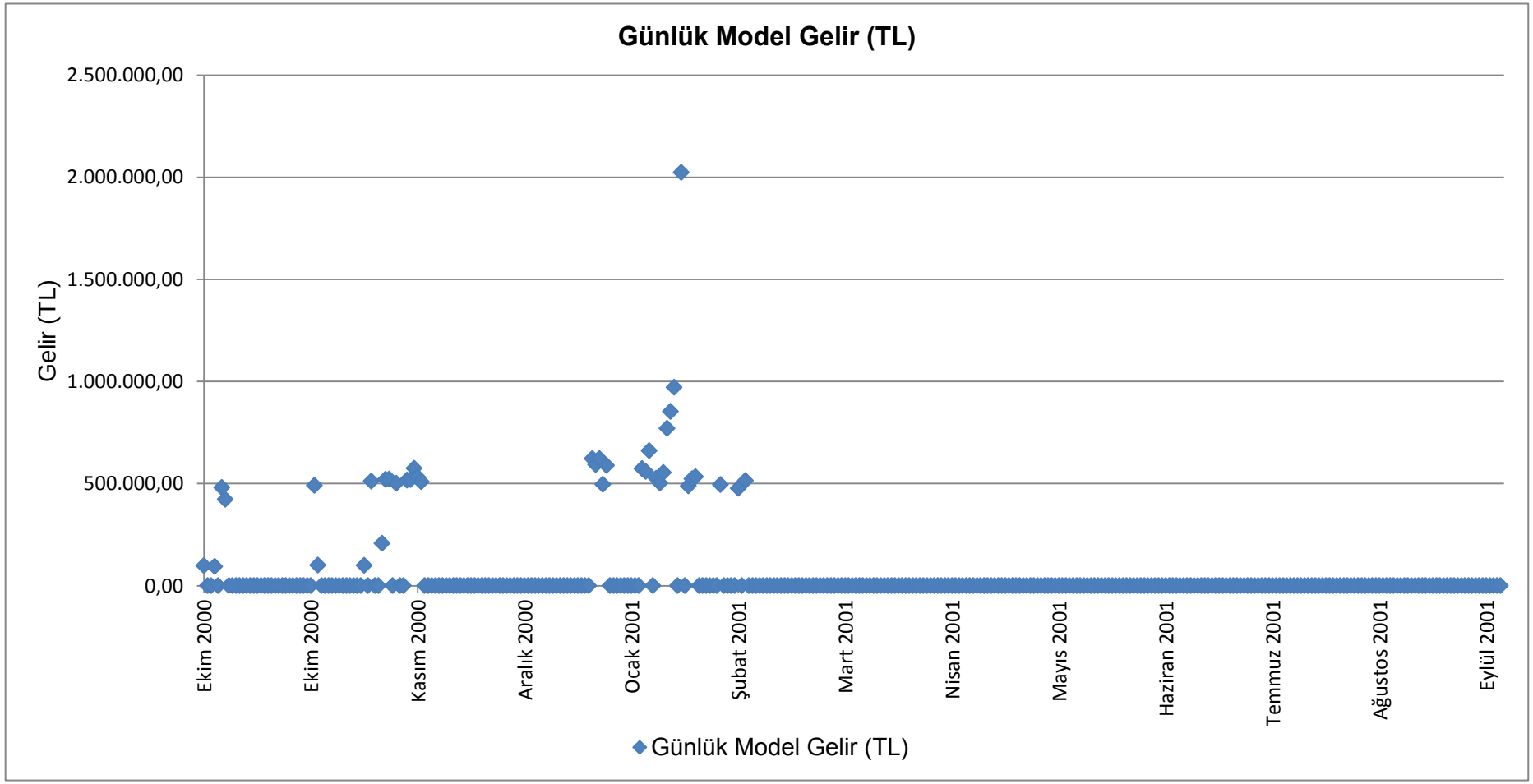
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
34	32	93,76	6	101.285	20.645.758	56.564



Şekil 7.94 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.95 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama – dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.96 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.3.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 94.754 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 19.889.476 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 7.29'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

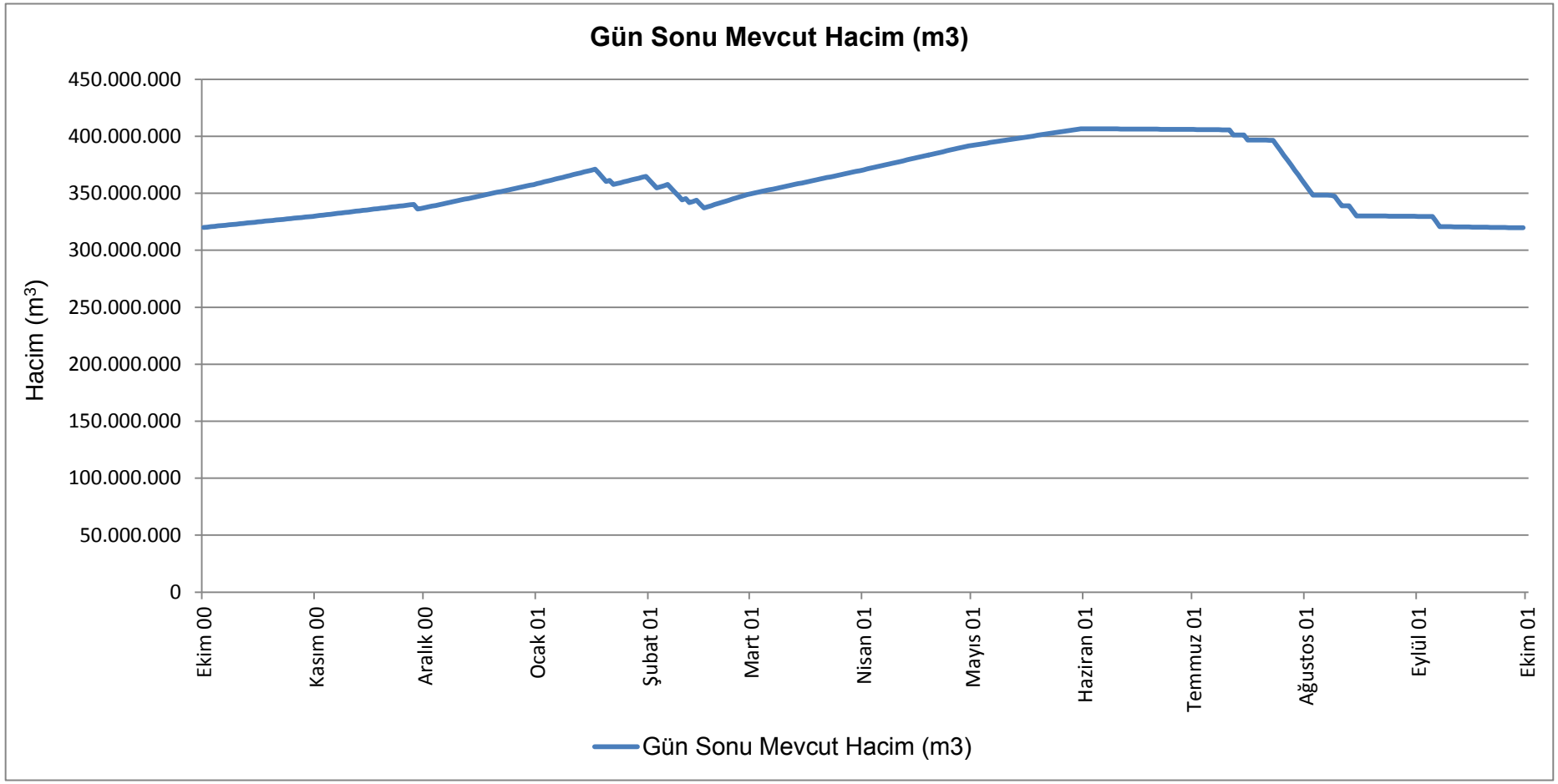
Buna göre baraj toplam 34 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 33 günü tam kapasite çalışmış ve %96,71'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 54.492 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 2 gündür.

Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da yarı dolu başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Yarı dolu başlama-bitiş koşulunda dolu başlama-bitiş koşuluna göre daha düşük getiri sağlanmıştır.

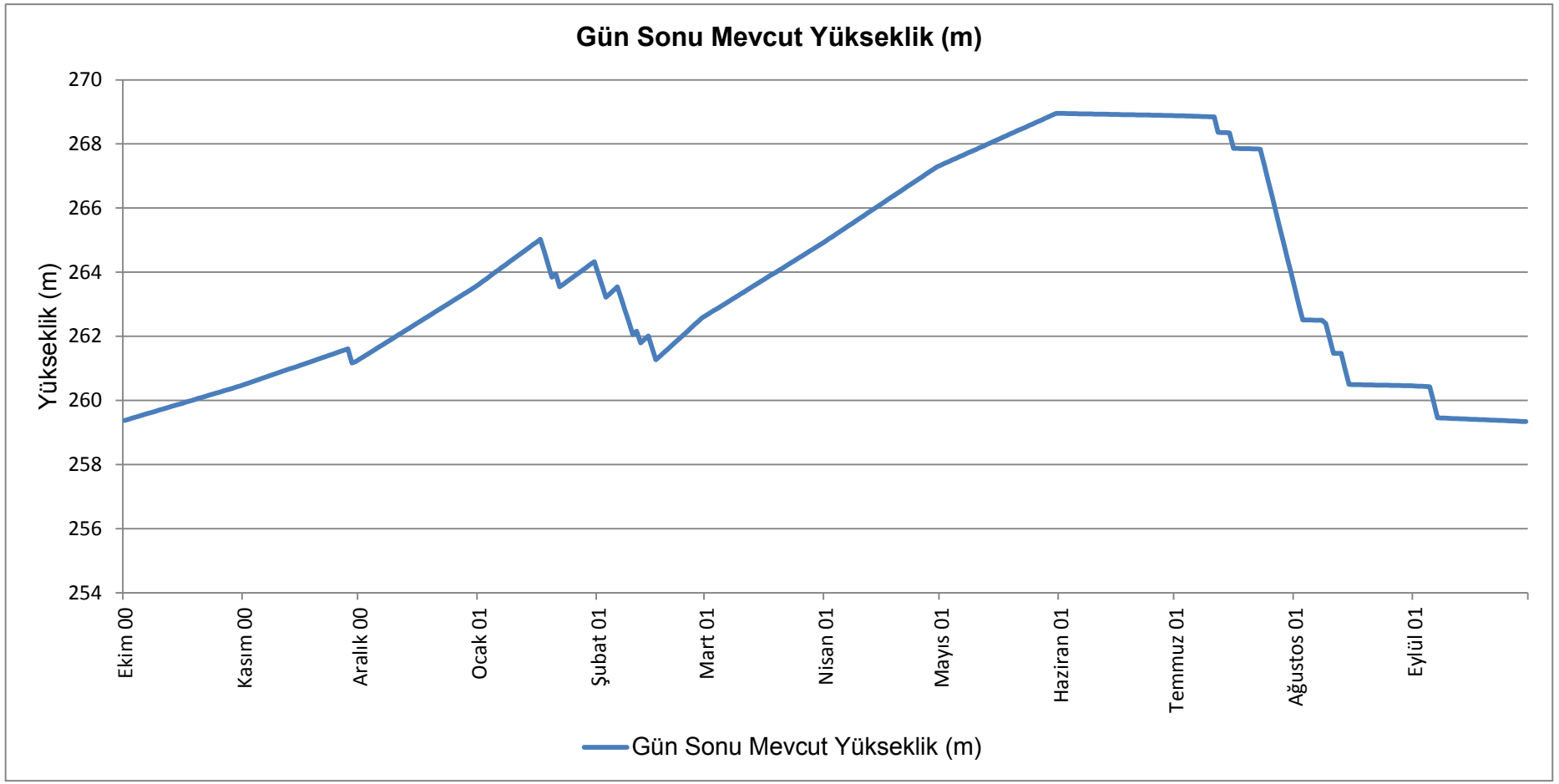
Şekil 7.97'te hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.98'da hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.99'de günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.29 : Yarı dolu başlama-yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları

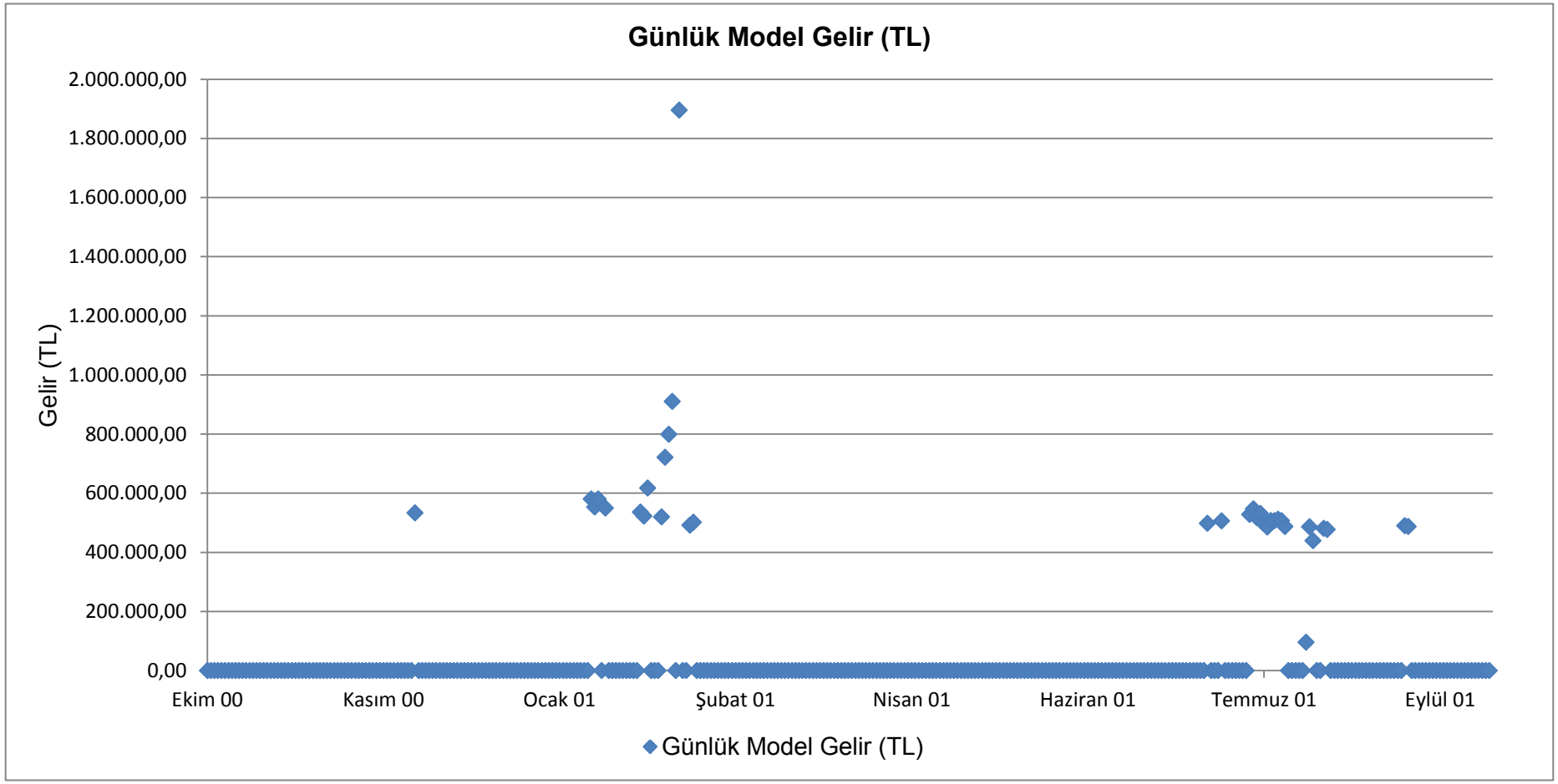
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
34	33	96,71	2	94.754	19.889.476	54.492



Şekil 7.97 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.98 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.99 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılım sonuçları.

7.8.3.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 85.844 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 18.002.164 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 7.30'da gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

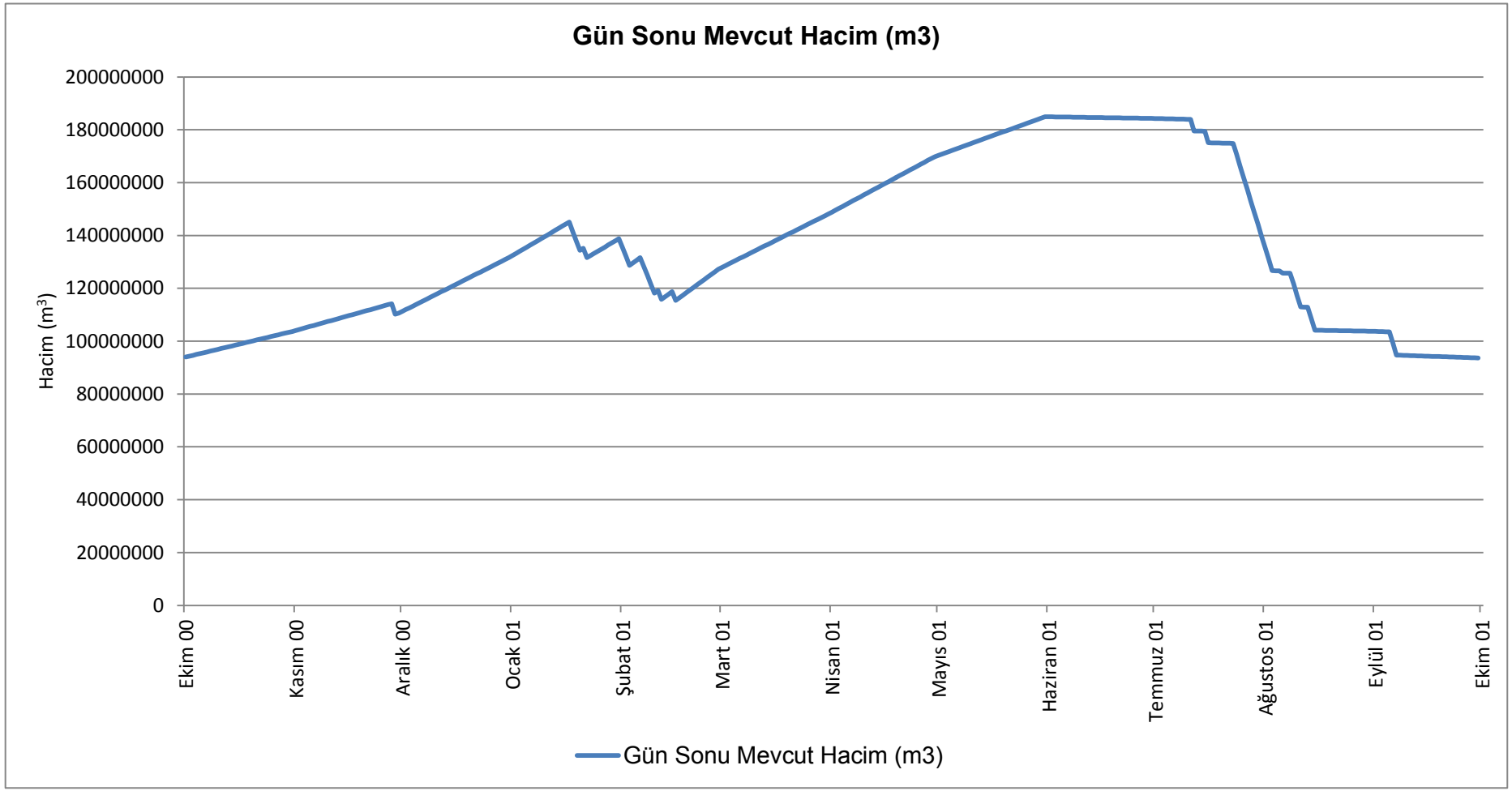
Buna göre baraj toplam 34 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 33 günü tam kapasite çalışmış ve %96,71'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 49.321 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 2 gündür.

Tüm senaryolarda olduğu gibi bu senaryoda da boş hazne ile başlama-bitirme koşulu için kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Bu senaryo için diğer başlama bitiş koşullarına göre en düşük getiri sağlanmıştır.

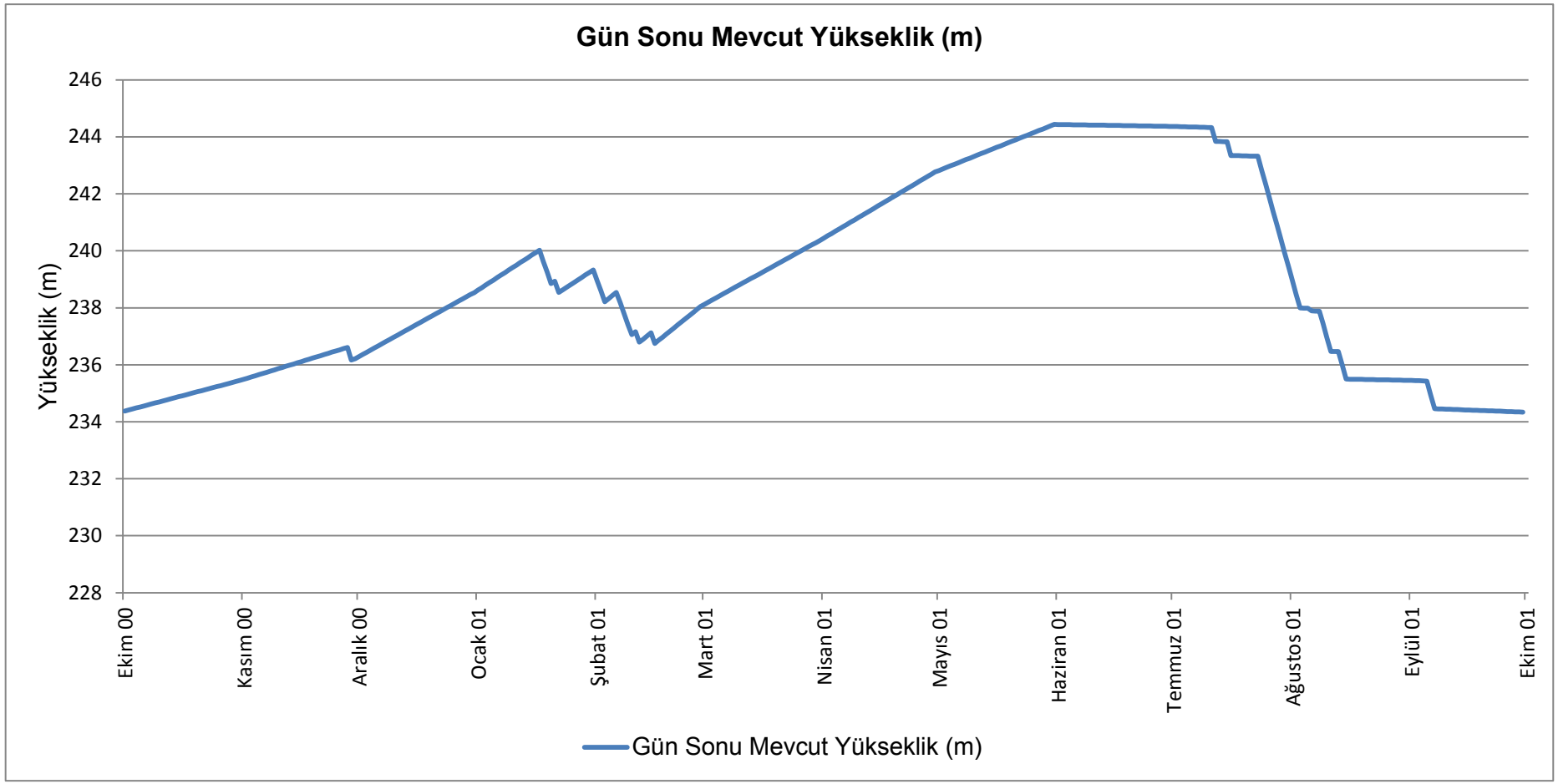
Şekil 7.100'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.101'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.102'de günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.30 : Boş başlama - boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları.

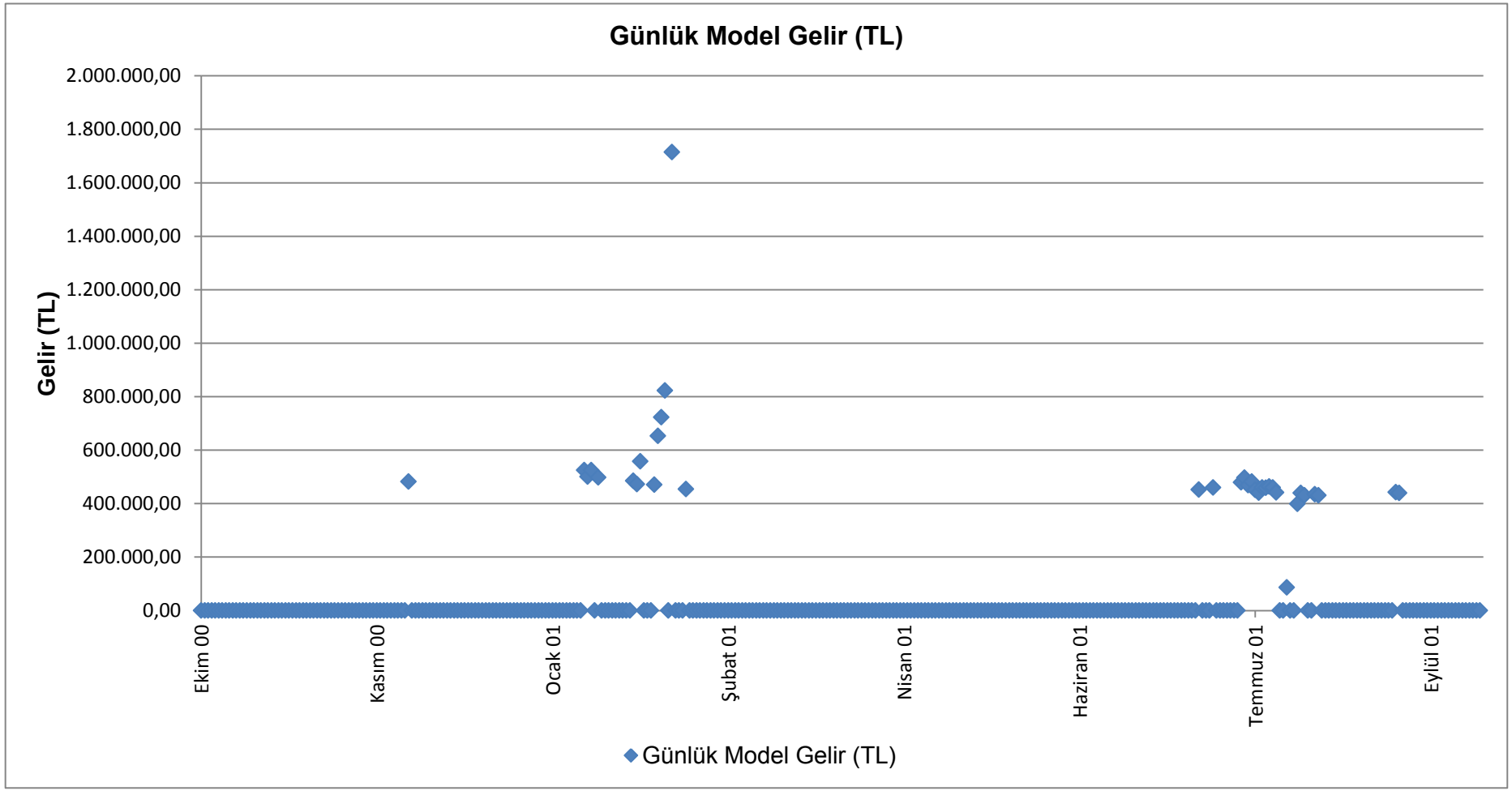
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
34	33	96,71	2	85.844	18.002.164	49.321



Şekil 7.100 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama boş bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.101 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama – boş bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.102 : Minimum su akış yılı ve yüksek enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı.

7.8.4 En yüksek akım ortalaması ile en düşük enerji fiyat ortalaması kombinasyonu

Bu kombinasyonda baraj giriş akımlarının maksimum ortalamasına sahip (1967-1968) su yılı ile düşük enerji fiyat ortalamasına sahip (2010-2011) su yılı enerji fiyatlarının oluşturduğu senaryo için model çalıştırılmıştır.

7.8.4.1 Dolu hazne ile başlama ve bitirme

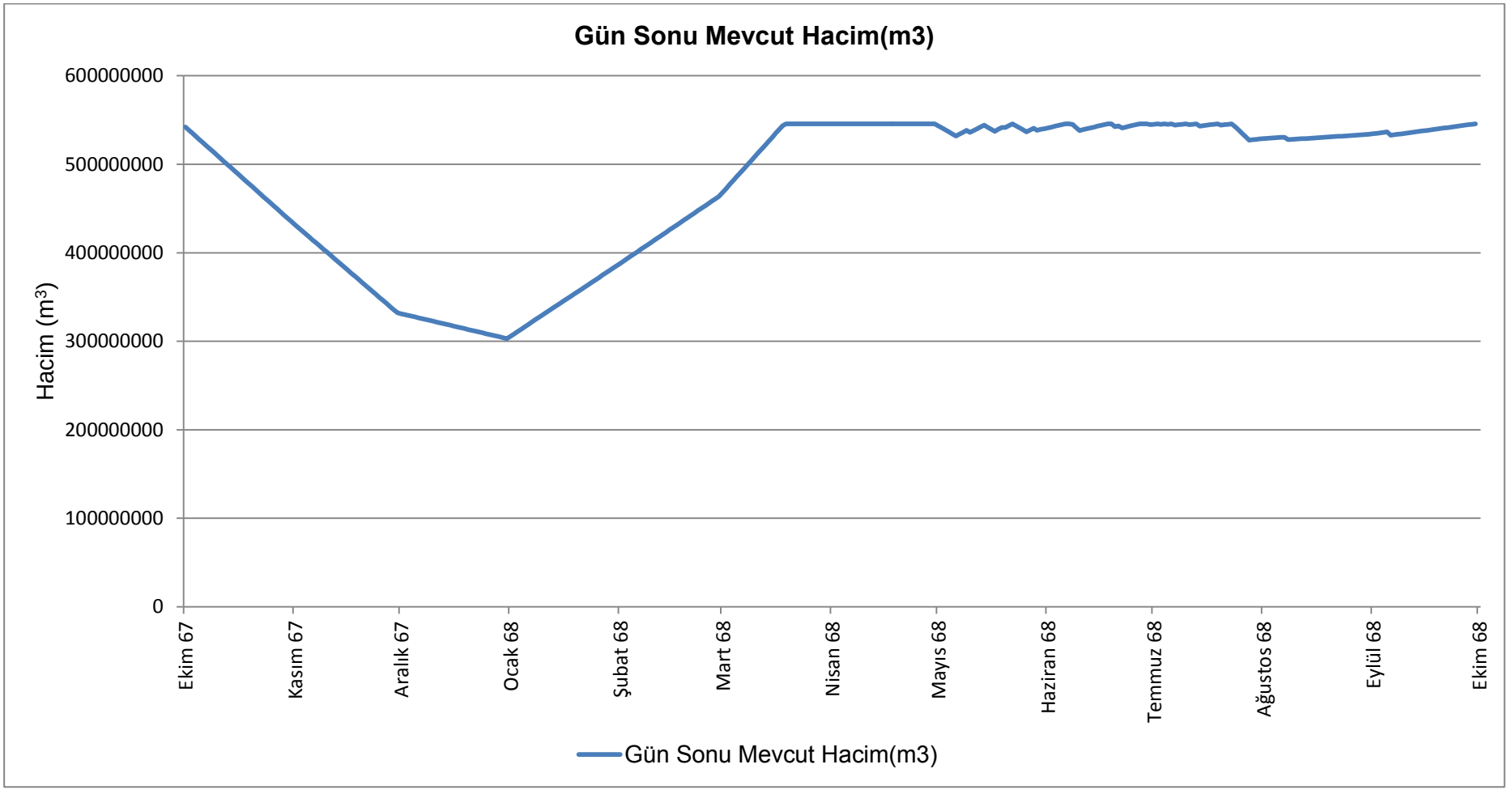
Modelde, başlama ve bitiş hazne durumları dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 701.305 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 79.000.525 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 7.31'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir. Buna göre baraj toplam 243 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 236 günü tam kapasite çalışmış ve %96,92'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 215.848 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 18 gündür. Bu senaryo için dolu başlama-bitiş koşulu ile en düşük getiri sağlanmıştır.

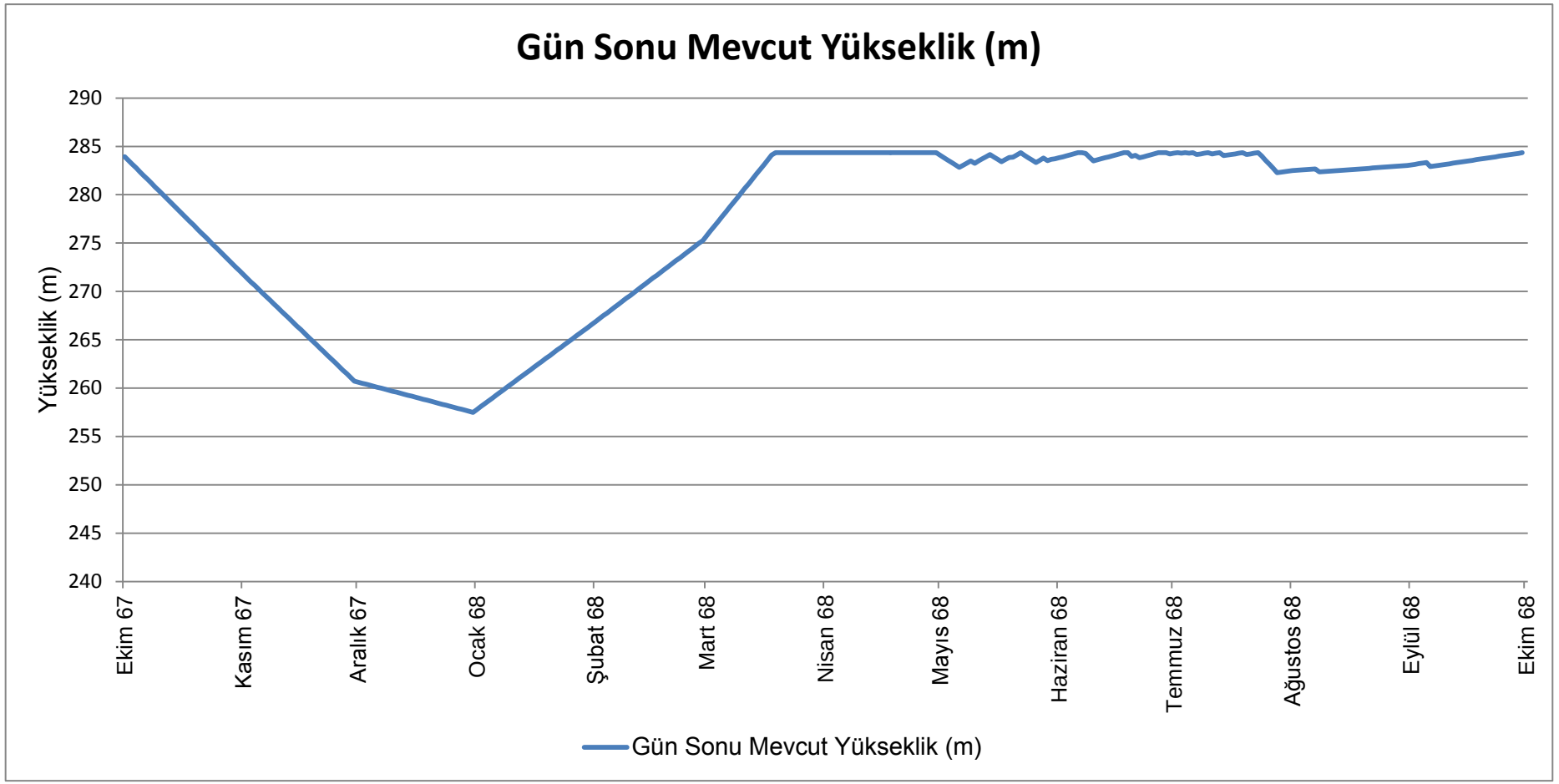
Şekil 7.103'te hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.104'te hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.105'te günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir. Şekil 7.106'da hazneden yapılan günlük can suyu ve ilave zorunlu hazne salımları gösterilmektedir.

Çizelge 7.31 : Dolu başlama - dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları.

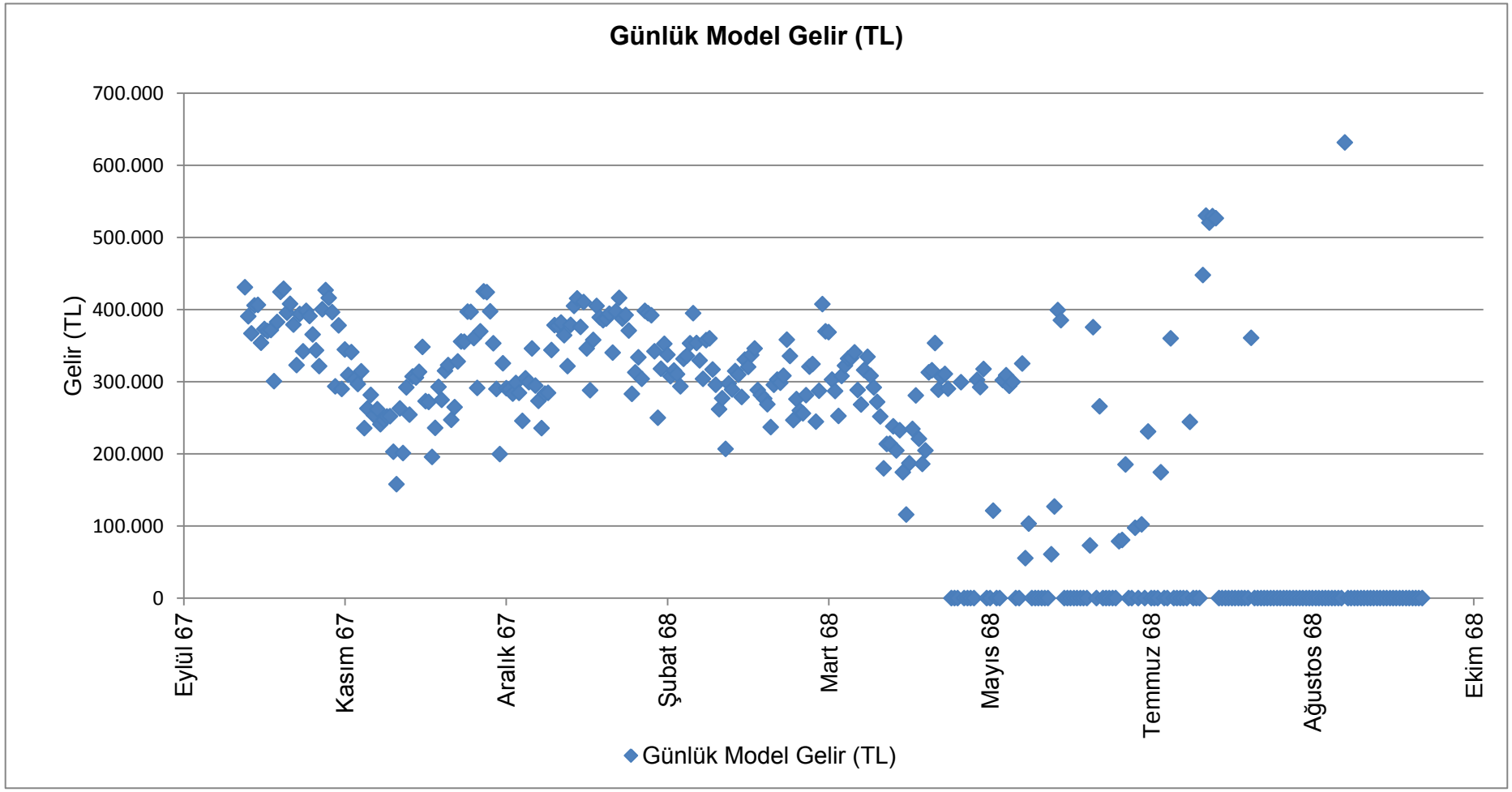
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
243	236	96,92	18	701.305	79.000.525	215.848



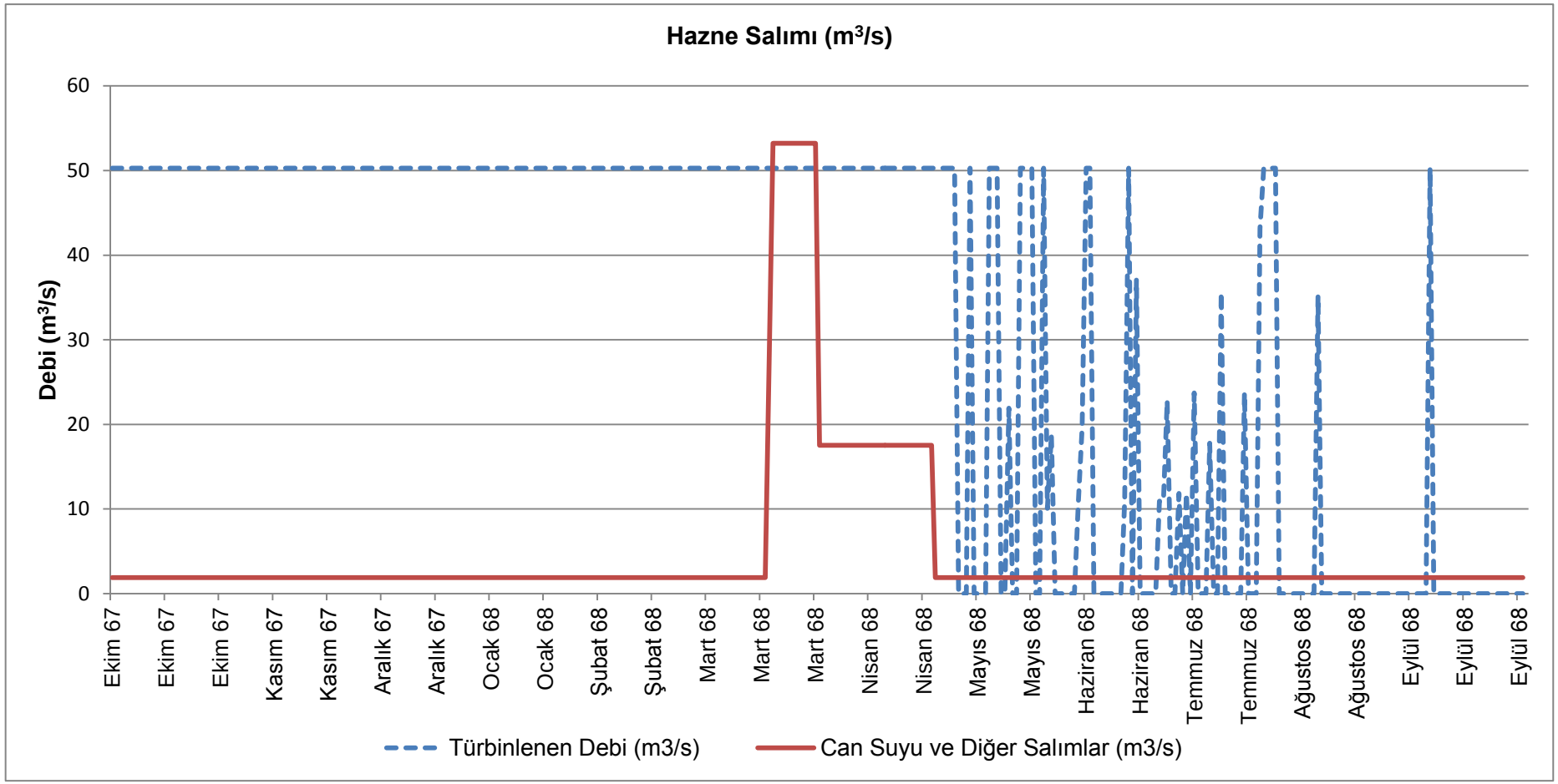
Şekil 7.103 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.104 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.105 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı.



Şekil 7.106 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile dolu başlama dolu bitirme senaryosu için günlük can suyu ve ilave zorunlu hazne salımları (m3/s).

7.8.4.2 Yarı dolu hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları yarı dolu hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 735.721 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 92.164.926 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

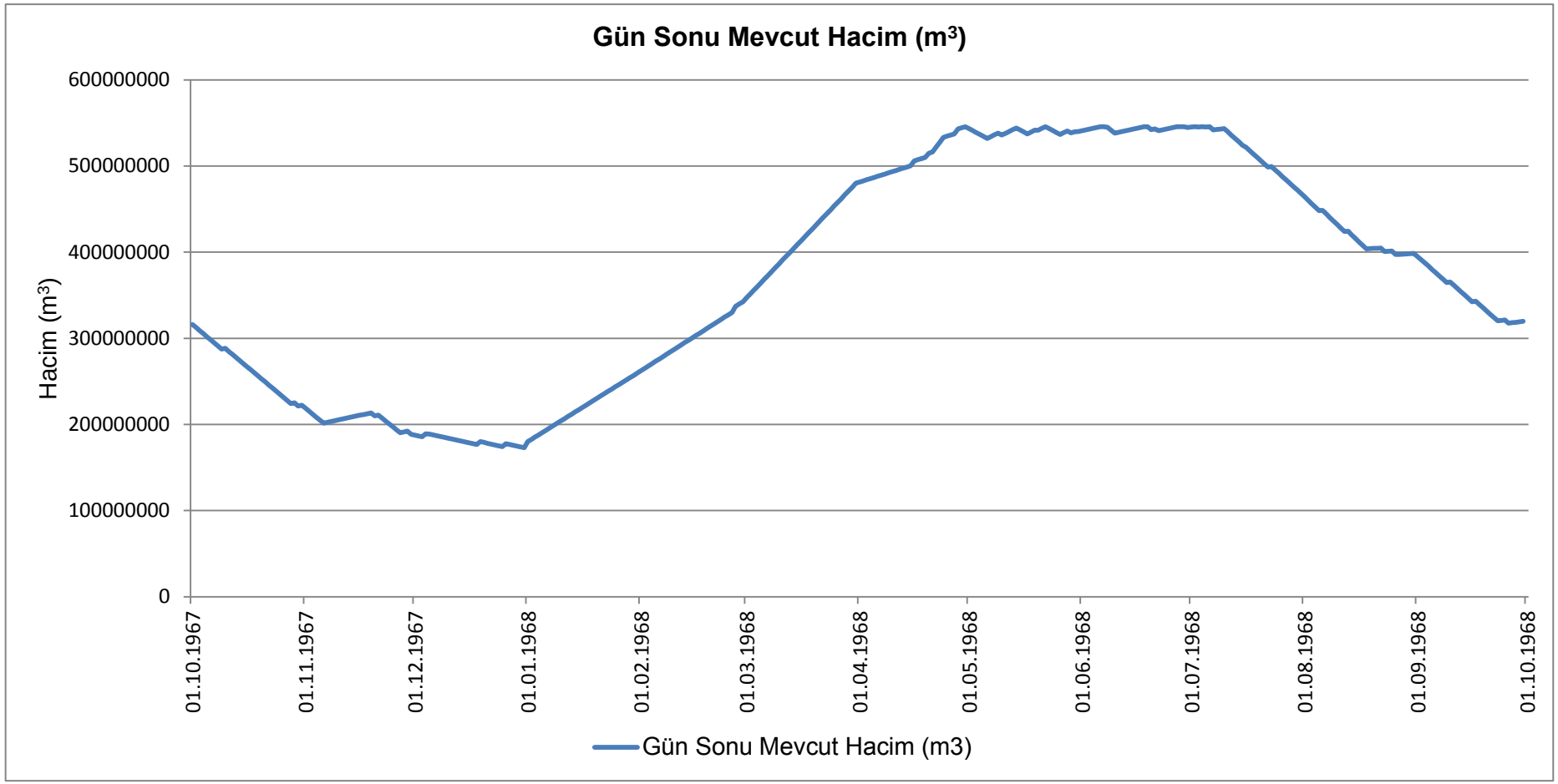
Çizelge 7.32'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

Buna göre baraj toplam 265 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 259 günü tam kapasite çalışmış ve %97,52'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 251.817 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 16 gündür. Bu senaryo için yarı dolu başlama-bitiş koşulunda en yüksek getiri elde edilmiştir.

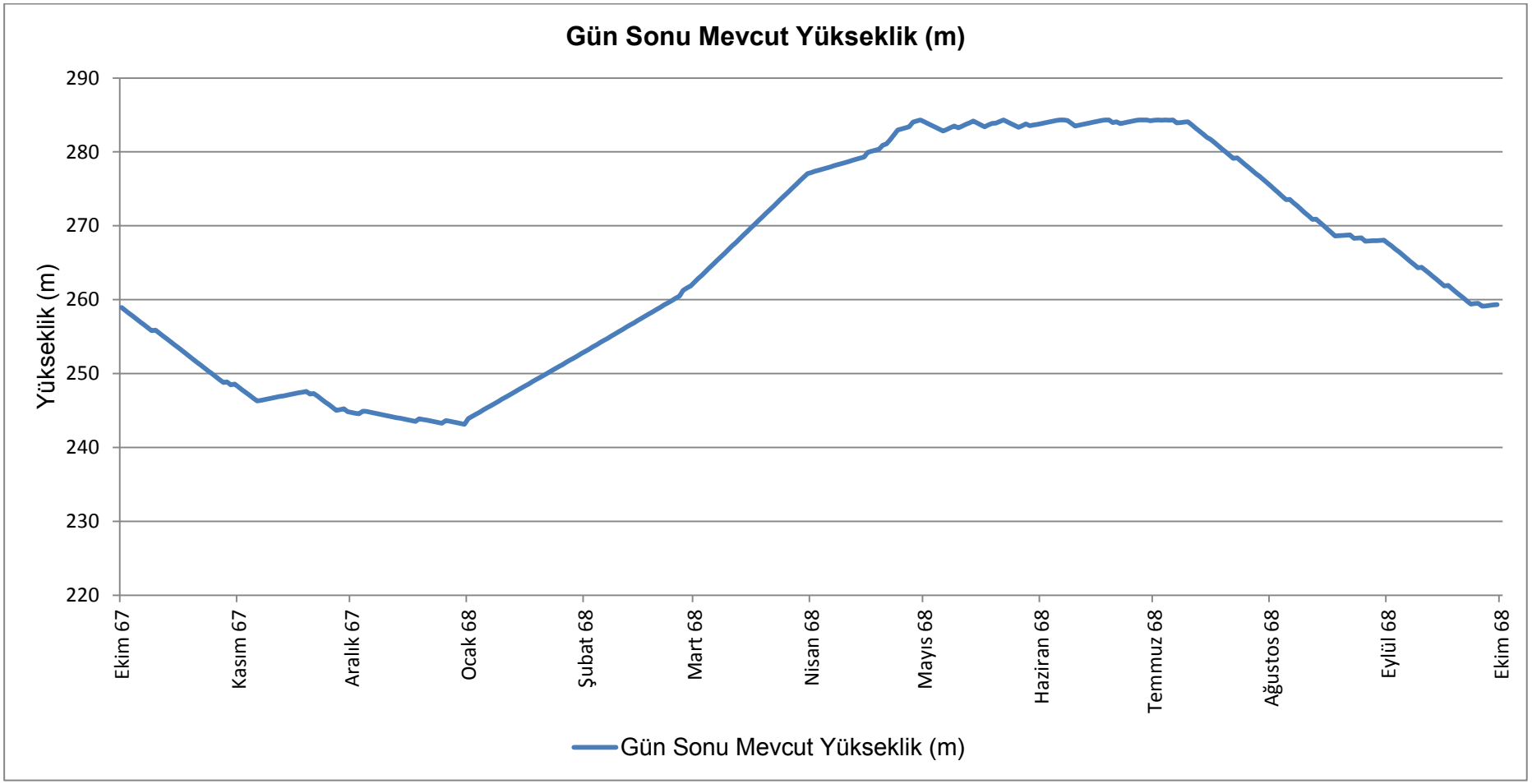
Şekil 7.107'de hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.108'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.109'da günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.32 : Yarı dolu başlama – yarı dolu bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları.

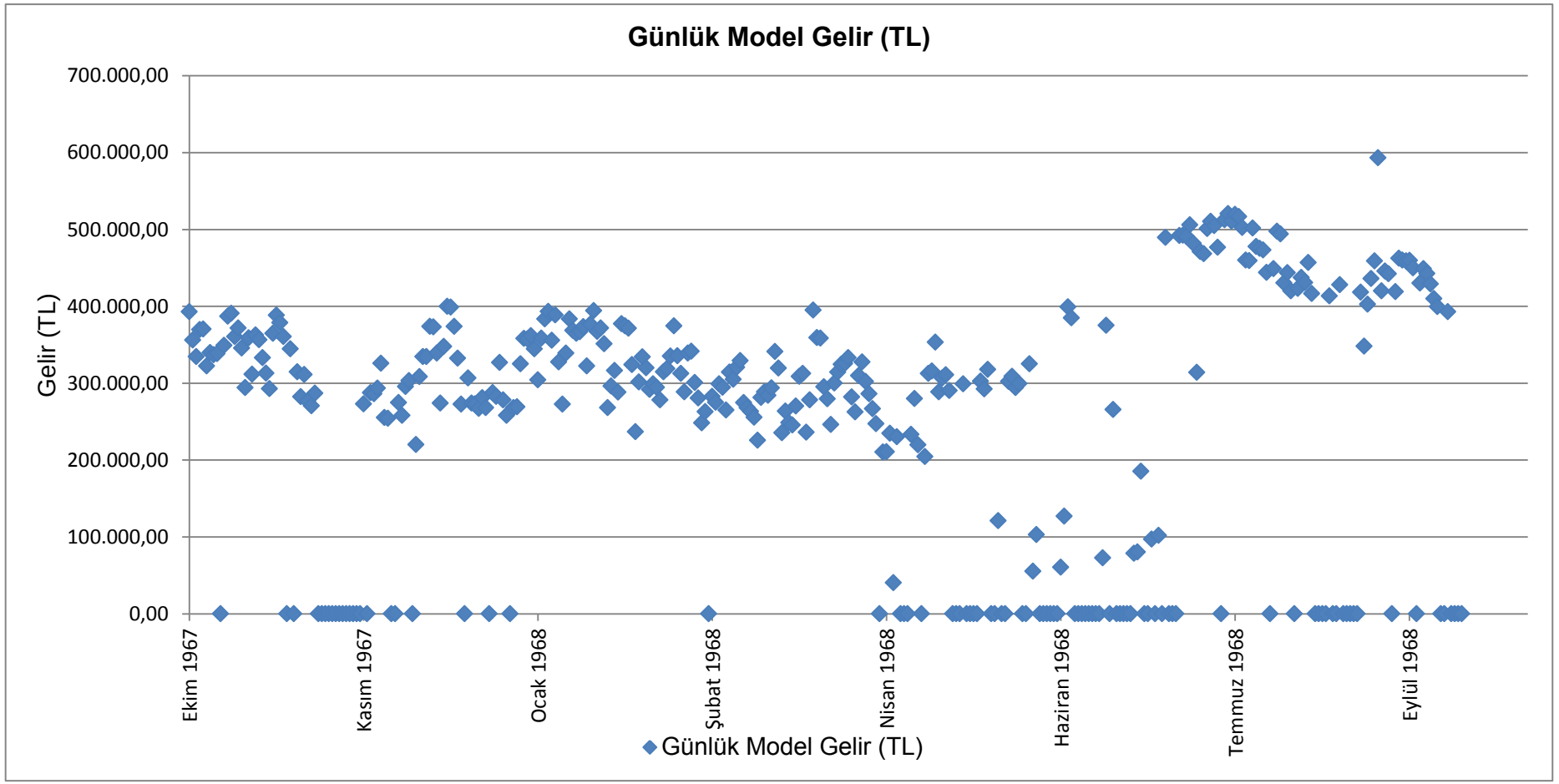
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
265	259	97,52	16	735.721	92.164.926	251.817



Şekil 7.107 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.108 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.109 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı.

7.8.4.3 Boş hazne ile başlama ve bitirme

Modelde başlama ve bitiş hazne durumları boş hacimde olacak şekilde kısıt belirtilmiştir. Modelin çalıştırılması sonucu 725.272 MWh enerji üretimi gerçekleşmiş ve enerji fiyatlarına bağlı olarak toplam 90.835.960 TL ekonomik getiri sağlanmıştır. Aşağıdaki çizelgede modelin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir.

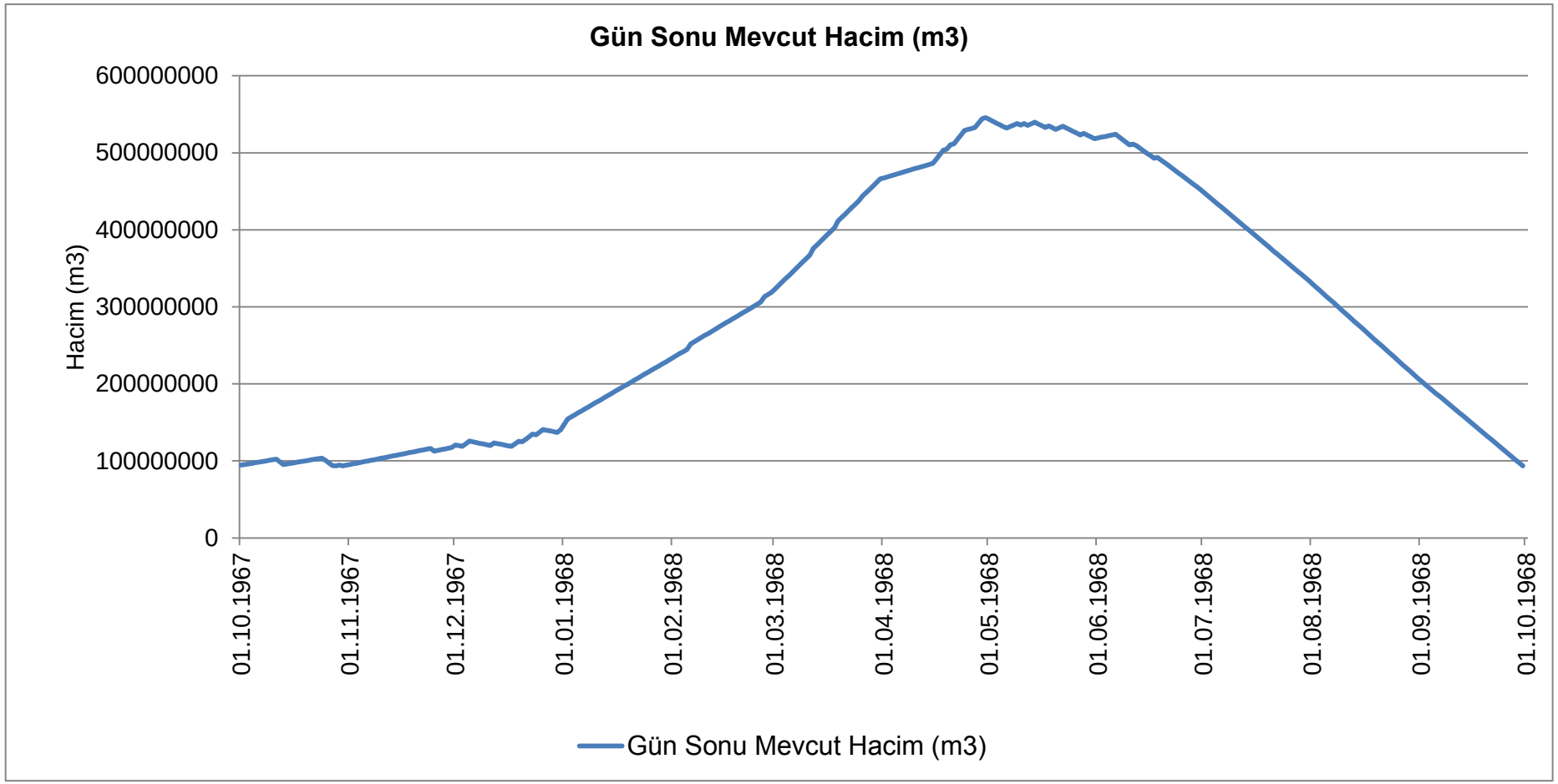
Çizelge 7.33'de gelen su miktarıyla santralin tam kapasite çalışabileceği gün sayısına karşılık optimizasyon sonucu bulunan tam kapasite ve ara değerlerde çalışma sonuçları karşılaştırılmış, toplam enerji üretimi ve ekonomik getiri sonuçları verilmiştir.

Buna göre baraj toplam 265 gün tam kapasite çalışabilecek durumdayken bunun 261 günü tam kapasite çalışmış ve %98,27'lik tam kapasite kullanım oranını yakalamıştır. Ortalama günlük getirisi ise 248.186 TL/gün olmuştur. Ara değerlerde çalışılan gün sayısı 7 gündür. Bu senaryo için boş başlama-bitiş koşulunda en düşük getiri sağlanmıştır.

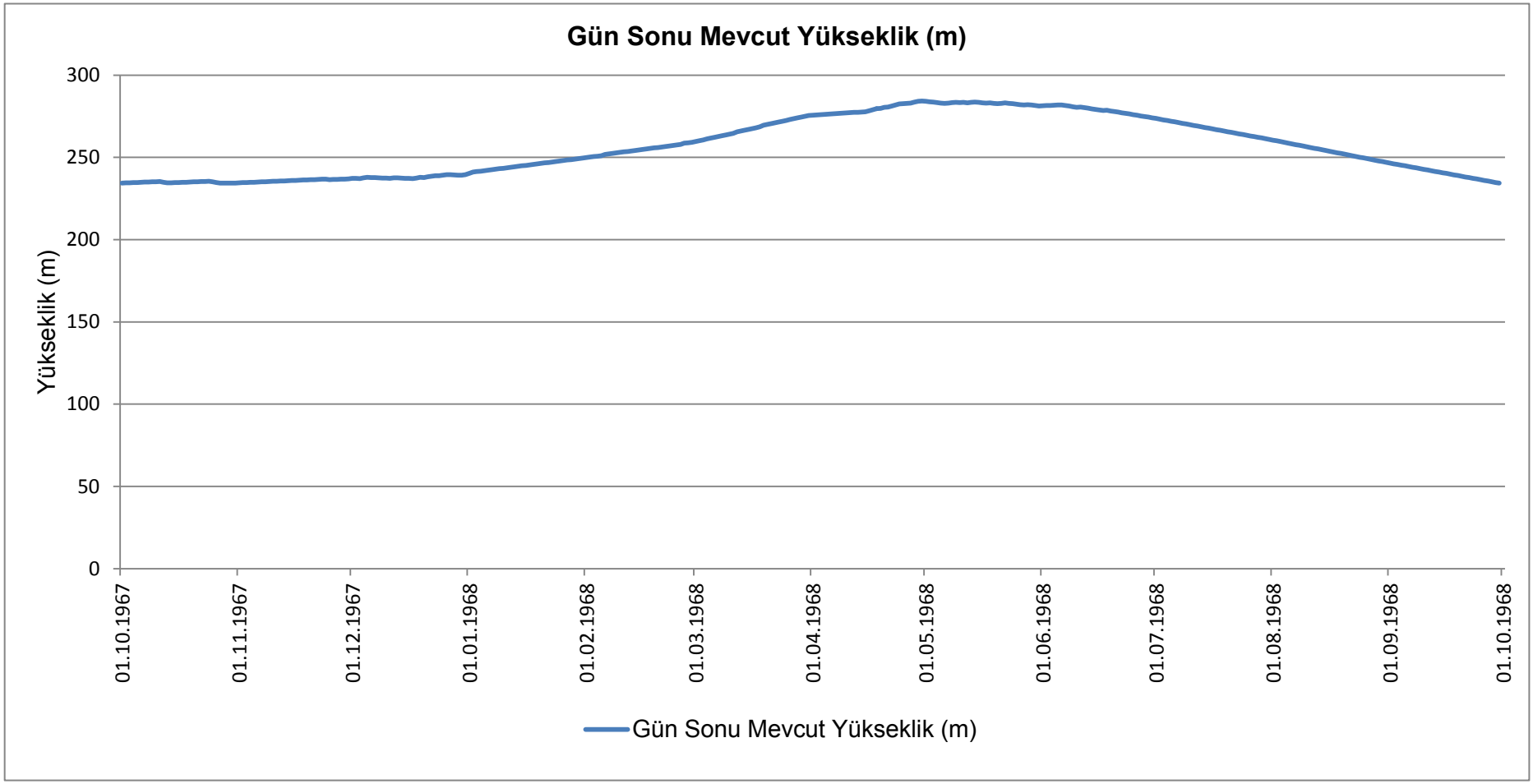
Şekil 7.110'da hazne işletme hacmi aylık ortalamaları, Şekil 7.111'de hazne işletme yüksekliği aylık ortalamaları ve Şekil 7.112'de günlük ekonomik getiri dağılım sonuçları verilmiştir.

Çizelge 7.33 : Boş başlama – boş bitirme şartı için optimizasyon modeli sonuçları.

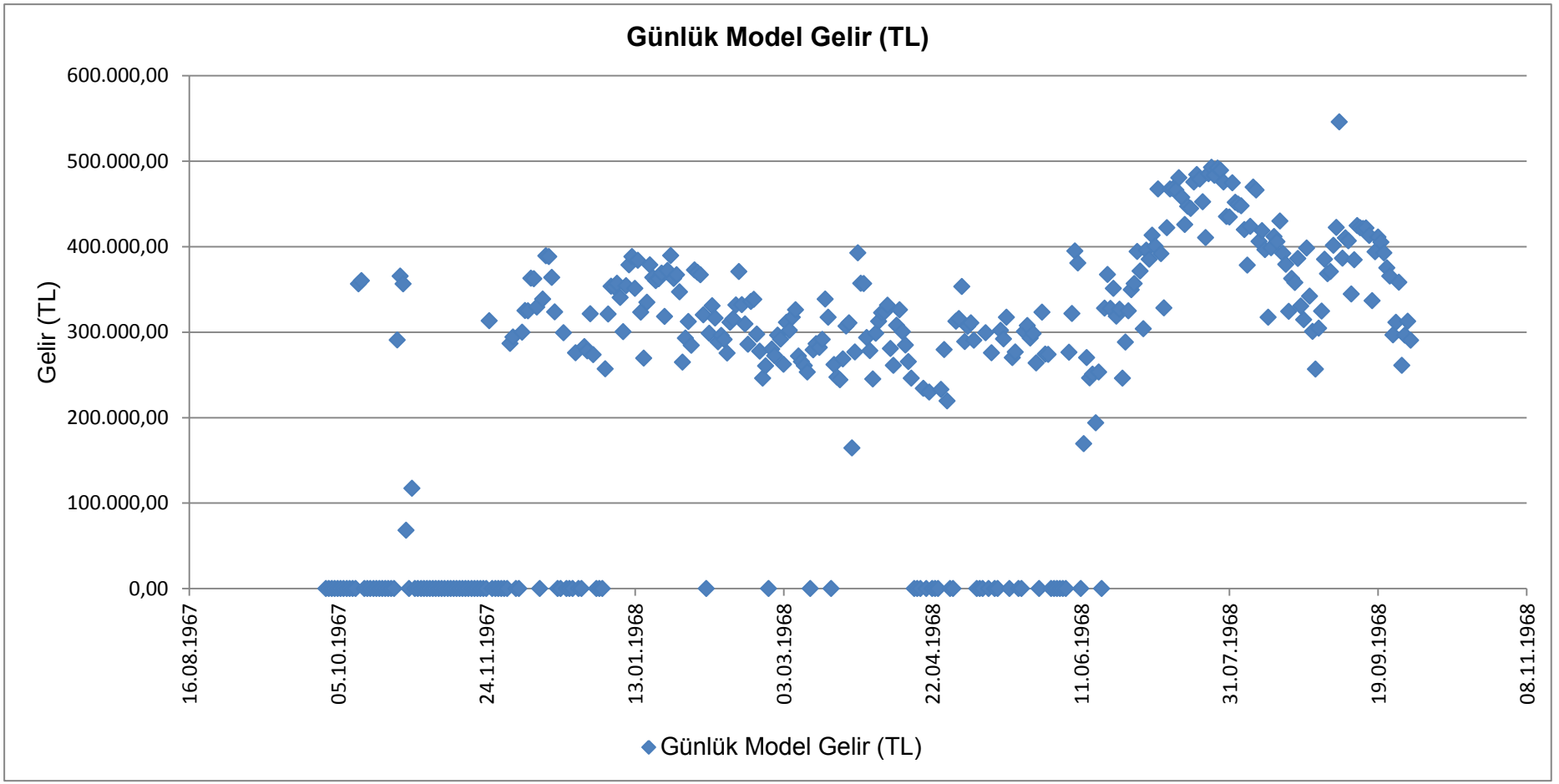
Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%)	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
265	261	98,27	7	725.272	90.835.960	248.186



Şekil 7.110 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme hacmi.



Şekil 7.111 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile yarı dolu başlama yarı dolu bitirme senaryosu için hazne işletme yüksekliği.



Şekil 7.112 : Maksimum su akış yılı ve düşük enerji fiyat ortalamaları ile boş başlama boş bitirme senaryosu için günlük getiri dağılımı.

7.9 Karşılaştırmalı Senaryo Sonuçları

Çizelge 7.34 : Optimizasyon modeli sonuçları (uzun model varyasyonları).

Senaryodaki Toplam Gün Sayısı (A)	Senaryo Uzunluğu	Başlama-Bitiş Durumu D : Dolu Y : Yarı Dolu B : Boş	Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı (B)	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı (C)	Optimizasyon Sonucu Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/B)×100	Senaryo Boyunca Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/A)×100	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
14.244	39 (1964-2003)	D-D	4.913	4.798	97,65	33,68	248	13.716.459	2.157.962.43	151.500
14.244	39 (1964-2003)	Y-Y	4.913	4.795	97,59	33,66	259	13.694.756	2.163.584.53	151.894
14.244	39 (1964-2003)	B-B	4.913	4.796	97,61	33,67	256	13.672.622	2.162.147.91	151.794
7.305	20 (1964-1984)	D-D	3.366	3.282	97,50	44,93	186	9.377.411	1.419.499.888	194.319
7.305	20 (1964-1984)	Y-Y	3.366	3.283	97,53	44,94	177	9.366.040	1.426.589.456	195.289
7.305	20 (1964-1984)	B-B	3.366	3.290	97,74	45,04	177	9.361.049	1.428.428.218	195.541
6.939	19 (1984-2003)	D-D	1.547	1.503	97,13	21,66	89	4.405.933	735.813.243	106.040
6.939	19 (1984-2003)	Y-Y	1.547	1.507	97,39	21,72	78	4.378.590	738.254.186	106.392
6.939	19 (1984-2003)	B-B	1.547	1.507	97,39	21,72	73	4.349.614	733.883.893	105.762

Çizelge 7.34 devamı : Optimizasyon modeli sonuçları (uzun model varyasyonları).

Senaryodaki Toplam Gün Sayısı (A)	Senaryo Uzunluğu	Başlama-Bitiş Durumu D : Dolu Y : Yarı Dolu B : Boş	Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı (B)	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı (C)	Optimizasyon Sonucu Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/B)×100	Senaryo Boyunca Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/A)×100	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
3.287	9 (1964-1973)	D-D	1.554	1.508	96,99	45,88	93	4.344.102	647.959.602	197.128
3.287	9 (1964-1973)	Y-Y	1.554	1.500	96,47	45,63	93	4.326.992	654.233.398	199.037
3.287	9 (1964-1973)	B-B	1.554	1.501	96,54	45,66	105	4.307.605	654.643.712	199.161
4.018	11 (1973-1984)	D-D	1.811	1.772	97,82	44,10	87	5.042.135	768.503.456	191.265
4.018	11 (1973-1984)	Y-Y	1.811	1.773	97,88	44,13	84	5.037.046	772.755.474	192.323
4.018	11 (1973-1984)	B-B	1811	1773	97,88	44,13	84	5.025.471	767.978.466	191.134
3.652	10 (1984-1994)	D-D	773	750	96,99	20,54	40	2.208.091	365.702.002	100.137
3.652	10 (1984-1994)	Y-Y	752	747	97,24	20,45	37	2.183.902	369.162.221	101.084
3.652	10 (1984-1994)	B-B	773	747	96,60	20,45	44	2.165.844	367.345.590	100.588

Çizelge 7.34 devamı : Optimizasyon modeli sonuçları (uzun model varyasyonları).

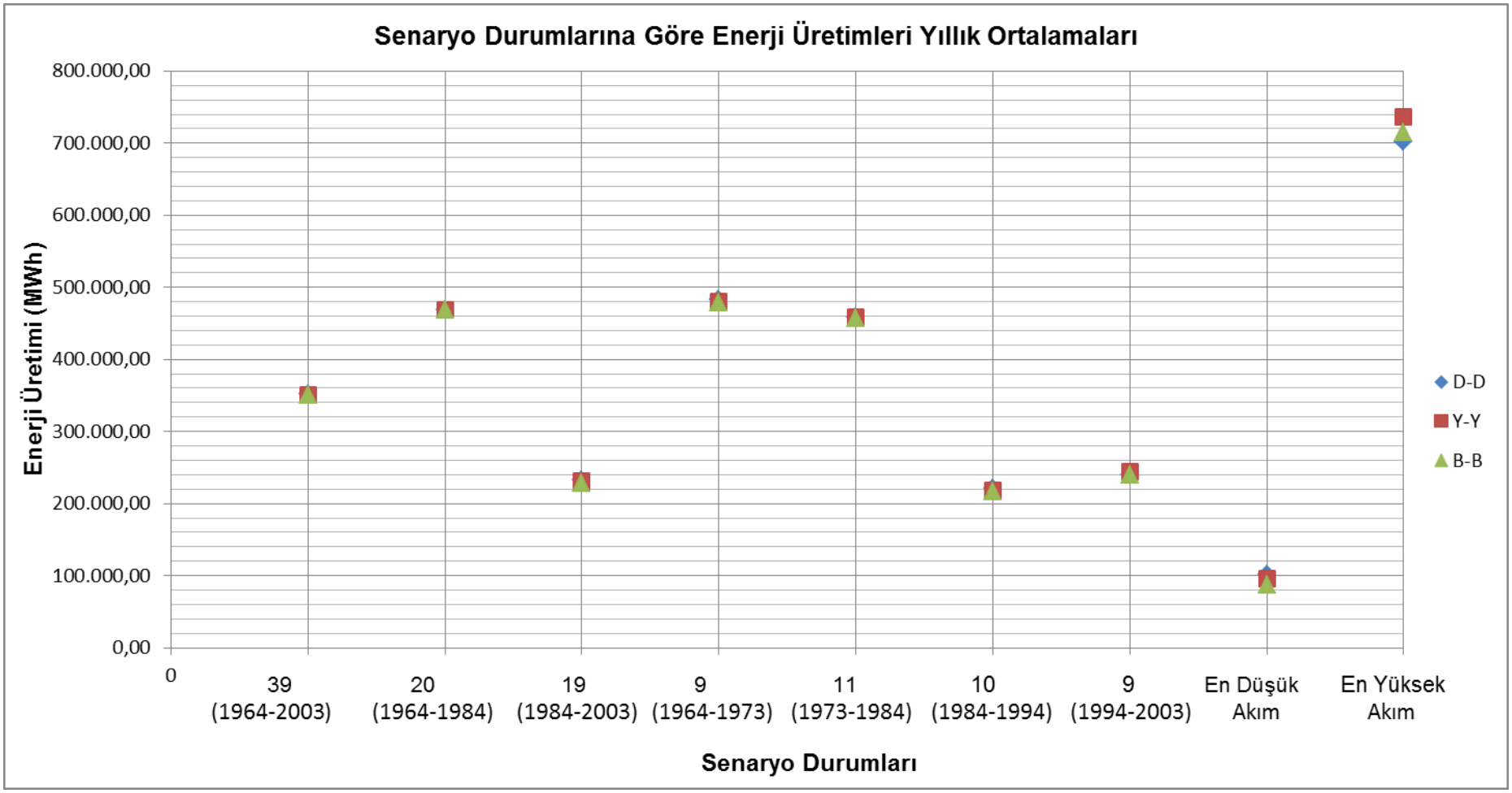
Senaryodaki Toplam Gün Sayısı (A)	Senaryo Uzunluğu	Başlama-Bitiş Durumu D : Dolu Y : Yarı Dolu B : Boş	Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı (B)	Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı (C)	Optimizasyon Sonucu Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/B)×100	Senaryo Boyunca Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/A)×100	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
3.287	9 (1994-2003)	D-D	774	747	96,50	22,73	51	2.203.136	365.949.143	111.332
3.287	9 (1994-2003)	Y-Y	774	746	96,37	22,70	55	2.196.044	369.364.748	112.371
3.287	9 (1994-2003)	B-B	774	756	97,66	23,00	29	2.161.303	361.786.133	110.066

Çizelge 7.35 : Optimizasyon modeli sonuçları (senelik varyasyonlar).

Senaryo Durumu	Başlama-Bitiş Durumu D : Dolu Y : Yarı Dolu B : Boş	Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı (A)	Optimizasyon Sonucu Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı (B)	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (B/A)×100	Senaryo Boyunca Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/toplam gün)×100	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
En Kötü Durum (En Düşük Baraj Giriş Akımı-En Düşük Fiyat)-365 Gün	D-D	34	33	96,69	9,04	2	101.043	14.435.691	39.550
	Y-Y	34	33	96,71	9,04	2	96.206	16.230.487	44.467
	B-B	34	33	96,71	9,04	2	87.214	14.713.732	40.312
En İyi Durum (En Yüksek Baraj Giriş Akımı-En Yüksek Fiyat)-366 Gün	D-D	243	236	96,92	64,48	18	701.306	102.669.115	280.517
	Y-Y	265	257	96,77	70,22	19	736.297	113.390.671	309.811
	B-B	265	260	97,89	71,04	9	715.121	112.384.548	307.062
En Düşük Baraj Giriş Akımı-En Yüksek Fiyat-365 Gün	D-D	34	32	93,76	8,77	6	101.285	20.645.758	56.564
	Y-Y	34	33	96,71	9,04	2	94.754	19.889.476	54.492
	B-B	34	33	96,71	9,04	2	85.844	18.002.164	49.321

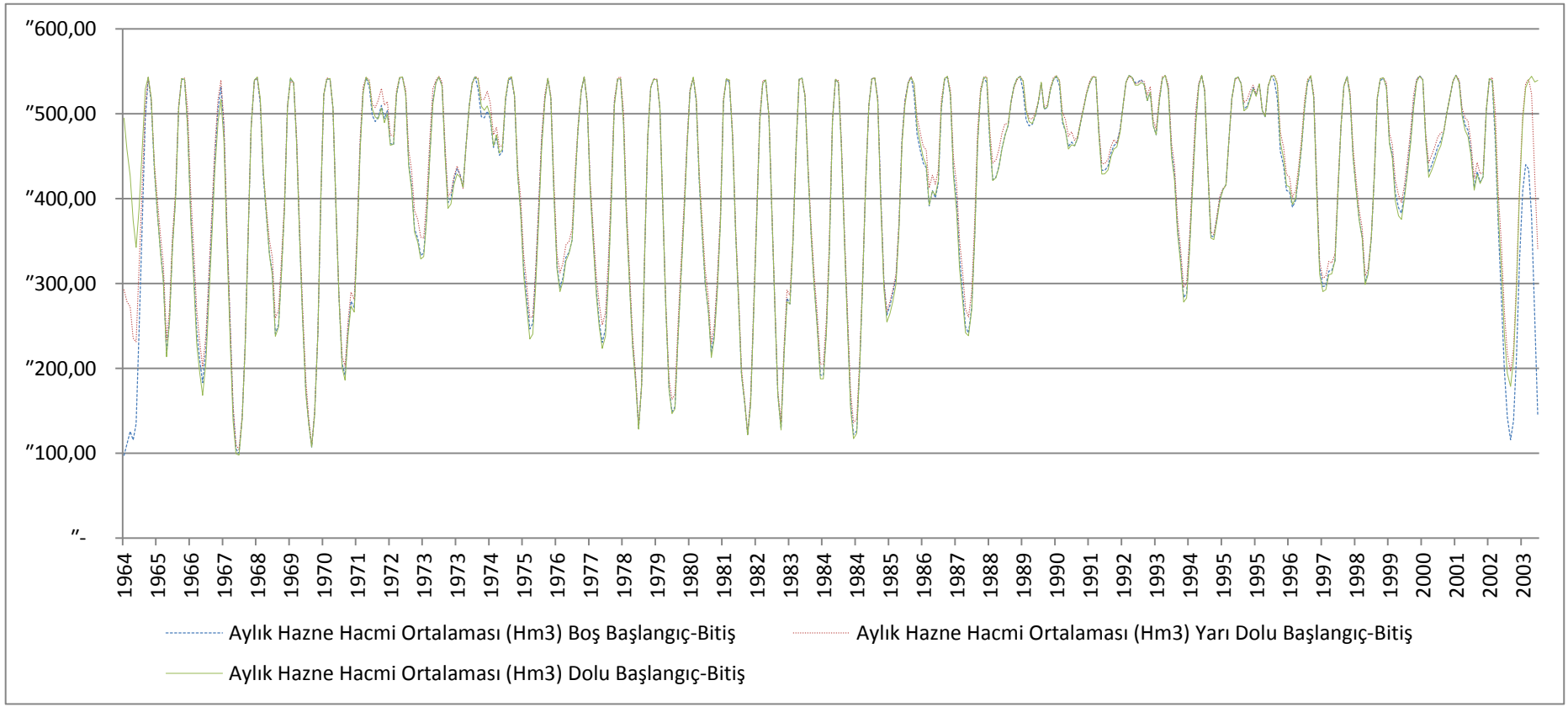
Çizelge 7.35 devamı : Optimizasyon modeli sonuçları (senelik varyasyonlar).

Senaryo Durumu	Başlama-Bitiş Durumu D : Dolu Y : Yarı Dolu B : Boş	Tam Kapasitede Çalışabileceği Gün Sayısı (A)	Optimizasyon Sonucu Tam Kapasitede Çalıştığı Gün Sayısı (B)	Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (B/A)×100	Senaryo Boyunca Tam Kapasite Çalışma Yüzdesi (%) (C/toplam gün)×100	Ara Değerlerde Çalışılan Gün Sayısı	Enerji Üretimi (MWh)	Ekonomik Getiri (TL)	Ortalama Günlük Getiri (TL)
En Yüksek Baraj Giriş Akımı-En Düşük Fiyat-366 Gün	D-D	243	236	96,92	64,48	18	701.305	79.000.525	215.848
	Y-Y	265	259	97,52	70,77	16	735.721	92.164.926	251.817
	B-B	265	261	98,27	71,31	7	725.272	90.835.960	248.186

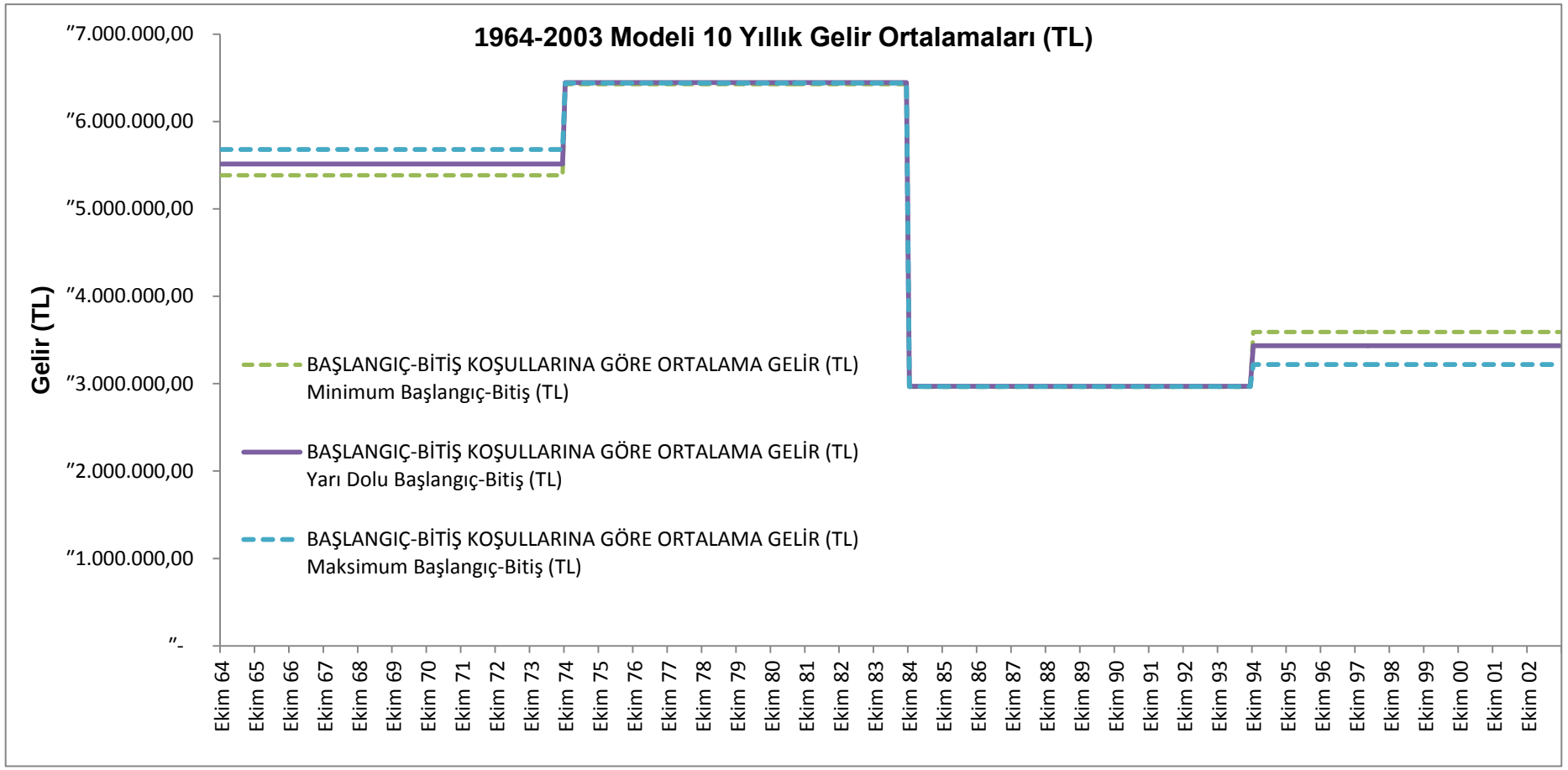


Şekil 113 : Senaryolarda elde edilen ortalama yıllık enerji üretimi.

7.9.1 1964-2003 Yılları optimizasyon modeli için karşılaştırma

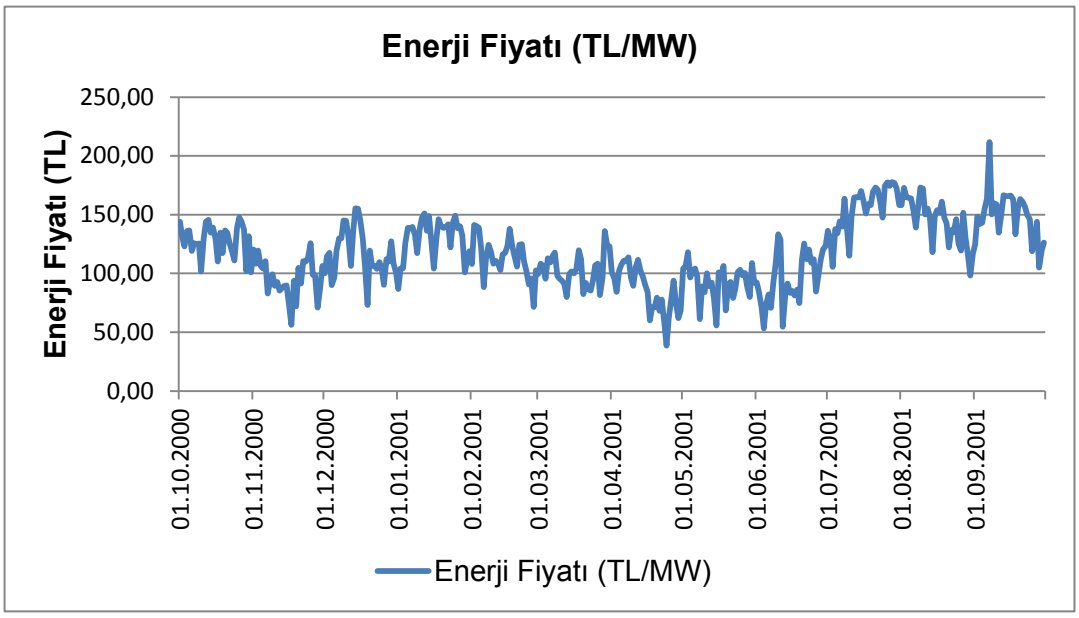


Şekil 7.114 : 1964-2003 yılları için başlangıç-bitiş varyasyonlarında optimizasyon çalışması sonucu en iyi ekonomik getiriyi sağlayan işletme politikaları.

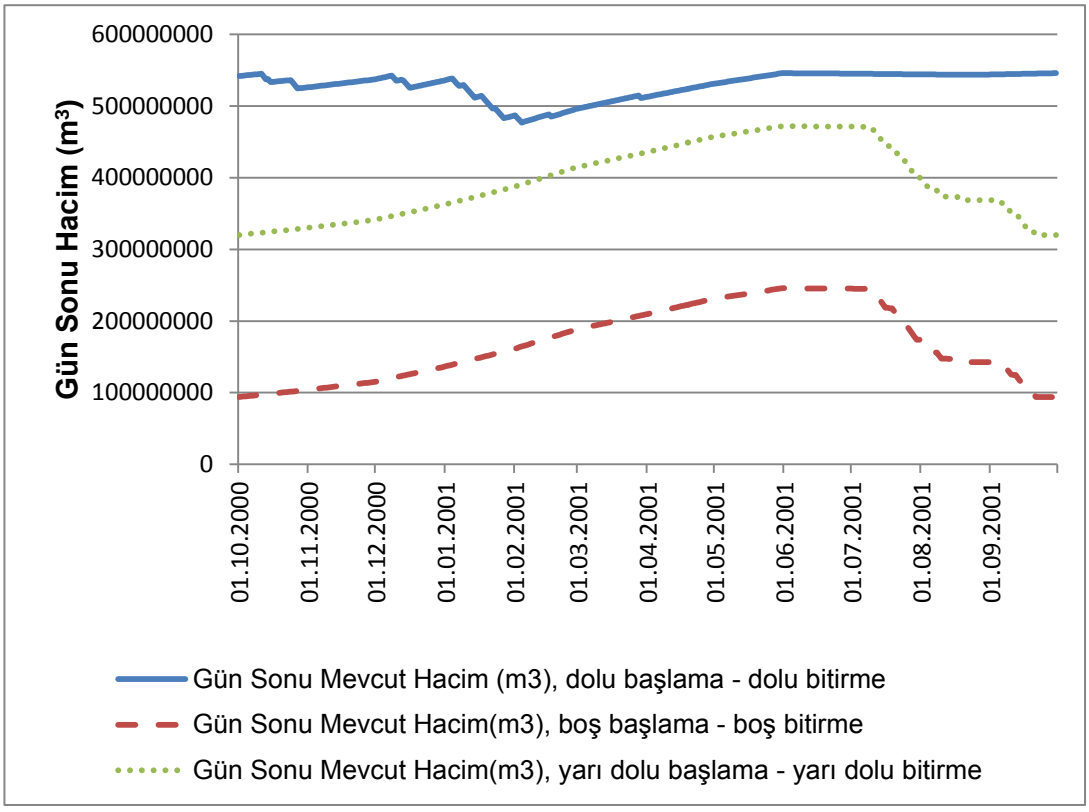


Şekil 7.115 : 1964-2003 yılları için başlangıç-bitiş varyasyonlarında optimizasyon çalışması sonucu elde edilen 10 yılık ortalama ekonomik getiri miktarları.

7.9.2 En düşük akım ortalaması ile en düşük enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en kötü durum senaryosu) karşılaştırması

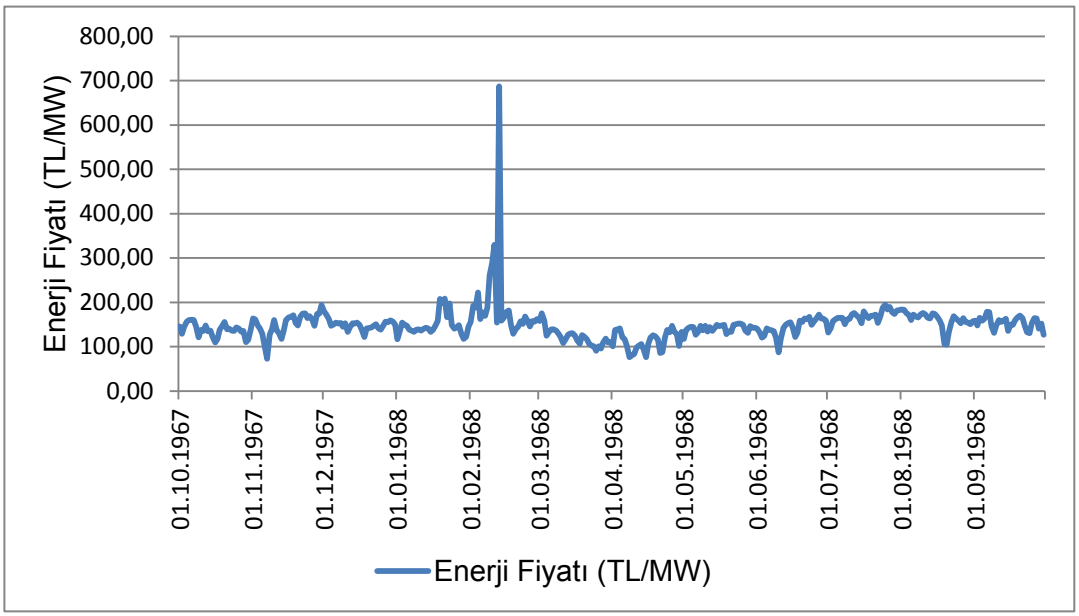


Şekil 7.116 : En kötü senaryoda enerji fiyatı (karşılaştırma için tekrar verilmiştir).

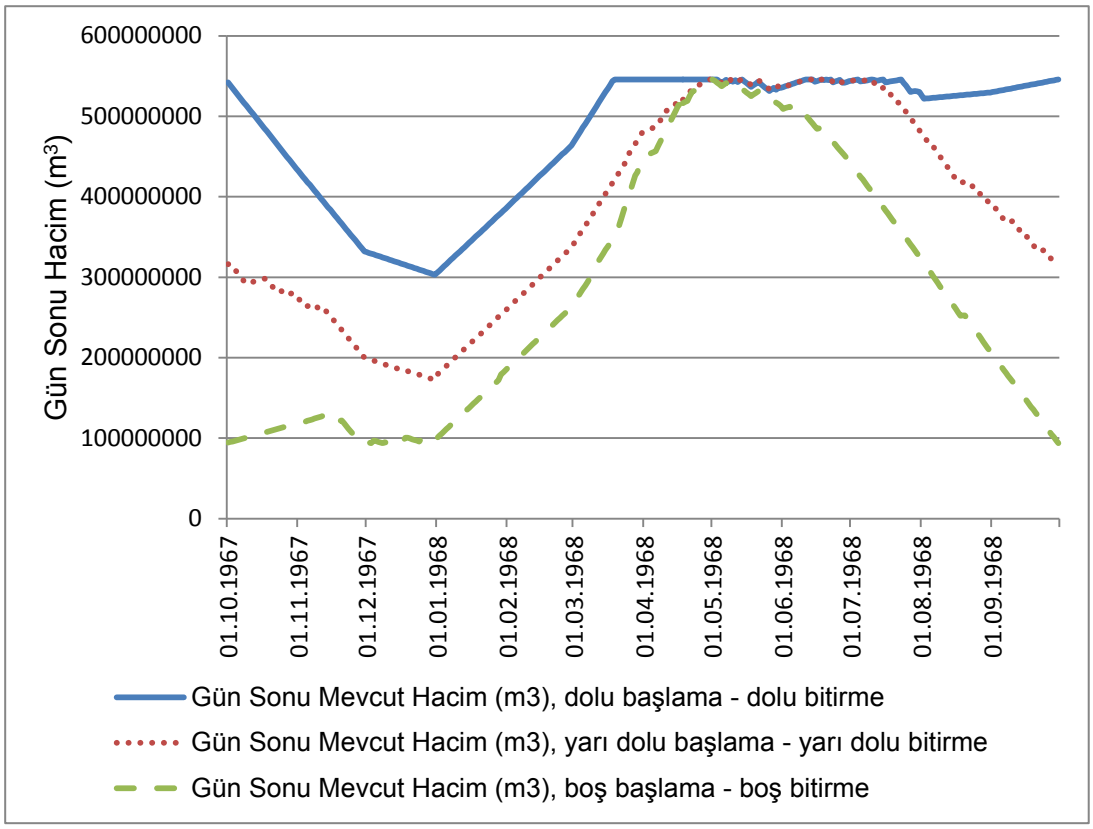


Şekil 7.117 : En düşük akım ortalaması ile en düşük enerji fiyatı ortalaması senaryosunda hacim başlangıç – bitiş şartlarının etkisi.

7.9.3 En fazla akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyat ortalaması kombinasyonu (en iyi durum senaryosu) karşılaştırması



Şekil 7.118 : En iyi senaryoda enerji fiyatı (karşılaştırma için tekrar verilmiştir).



Şekil 7.119 : En fazla akım ortalaması ile en yüksek enerji fiyatı ortalaması senaryosunda hacim başlangıç – bitiş şartlarının etkisi.

8 SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada hidroelektrik santral işletmelerinde serbest piyasa koşullarının da etkisiyle ekonomik kaygılarla işletilmesi konusu ele alınmış, belirlenen işletme modeliyle Muğla İli Dalaman İlçesinde bulunan Sami Soydam Barajı fiziksel özellikleri ele alınarak elektrik üretim maksadıyla çeşitli senaryolar altında günlük olarak işletilmiştir. En uzun model için 39 su yılı boyunca 1964 ekim – 2002 ekim tarihleri arası düzeltilmiş baraj aksı istasyon akım girdileri ile 2010 ekim- 2012 ekim yılları SGÖF (sistem gün öncesi fiyatları) ardışık dizilerek işletme senaryosu oluşturulmuştur.

Sami Soydam Hidroelektrik santrali 124 MW kurulu güce sahip olup iki adet 25,15 m3/s kapasiteli 62 MW gücünde düşey eksenli Francis tipi ünite ile donatılmıştır. Santralin baraj gövdesine olan uzaklığı 4,5 km'dir. Üretim debisinin bu iletim hattı boyunca ekosisteme katkısı olmayacağından baraja özgü bu durum için 1,901 m3/s değerinde sabit can suyu salımı yapılmıştır. Örnek çalışmalardan yola çıkarak uygun bir optimizasyon modeli kullanılmış, çeşitli senaryolarda hidroelektrik santralin elde ettiği ekonomik getiri sonuçları incelenmiştir. Senaryolarda 39 (1964-2003) senelik model, 20 (1964-1984) sene ve 19 (1984-2003) senelik iki parçalı model ve sırasıyla 9 (1964-1973), 11 (1973-1984), 10 (1984-1994), 9 (1994-2003) senelik 4 parçalı modeller oluşturulmuştur. Başlangıç ve bitiş koşulları için dolu-dolu, yarı dolu-yarı dolu, boş-boş senaryo varyasyonları denenmiş buna bağlı hazne hacimlerinin model süresince seyiri, ve ekonomik getirileri incelenmiştir. Senaryolar arasına bir sene süreli işletmeler eklenmiştir. Bu süreler için baraj haznesine gelen minimum su girdi ortalamasına sahip (2000-2001) su yılı, maksimum su girdi ortalamasına sahip (1967-1968) su yılı ile, düşük enerji fiyat ortalamasına sahip (2010-2011) su yılı enerji fiyatları ve yüksek enerji fiyat ortalamasına sahip (2011-2012) su yılları enerji fiyatlarının oluşturduğu senaryo kombinasyonları denenmiştir.

Optimizasyon probleminin çözümünde kullanıcı arayüzlü Lindo Systems Şirketi tarafından kullanıma sunulan Lingo optimizasyon programı kullanılmıştır. Şirketin

öğrencilere sağladığı sınırsız sürüm temin edilmiş, kurulumu ve kullanılması aşamasında şirket tarafınan teknik destek alınmıştır.

Model için önce doğrusal programlama ile yola çıkıldıysa da çözüm için türbinlerdeki verim kaygısı gözetilerek türbinlerin kapasite kullanımının %40'ın altına düşmesine izin verilmemesine bağlı olarak problemin tam sayı karışık doğrusal programlama yöntemiyle çözümü mümkün olmuştur.

Santralin mevcut su girdisiyle tam kapasite çalışabileceği gün sayısı gözönüne alındığında optimizasyon çalışmaları sonucunda %90'nın üzerinde tam kapasite çalışma oranı görülmüştür. Senelik modellerin dışında bahsedilen uzun modellerde bu oran %97 seviyelerine kadar çıkmıştır. Optimizasyon sonucunda tam kapasite çalışma durumunun yüksek oranlarda çıkması hesaplardaki türbin veriminden kaynaklanacak önemli sapmaları ortadan kaldırmıştır. Aynı zamanda bu sonuçlardan pratikte santrallerde uygulanan çalıştır veya çalıştırma (1-0) politikasının yanlış olmadığı yorumu yapılabilmektedir.

Optimizasyon modeli sonuçlarında hazneye uygulanan başlangıç-bitiş koşullarının toplam enerji üretimini ve işletme getirisini etkilediği görülmüştür. Hazne başlangıç-bitiş koşulları etkisinin yanında hazneye gelen su hacminin sadece miktarı değil aynı zamanda haznenin gelen bu su miktarını depolayabilecek durumda olmasının önemi farkedilmiştir. Çizelge 7.35 incelendiğinde senelik kombinasyonlar için en iyi senaryoda haznenin dolu olarak başlamasının bir kısıt olarak getiriyi etkilediği, hazne kapasitesinin gelen fazla suyu depolayamadığı dolayısıyla gelen su hacminden yararlanamadığı görülmüştür (bkz. Şekil 7.87). Buna karşın boş hazne şartıyla başlamak da yarı dolu başlama şartına göre daha az getiri elde edilmiştir. Gelen su miktarı ile hazne, maksimum işletme hacmine ne kadar yaklaştırıyor ise o derecede iyi üretim değerleri ve ekonomik getiri sonuçları alınmaktadır.

Çizelge 7.34 ve Çizelge 7.35'te verilen sonuçlar incelendiğinde başlangıç-bitiş kısıtlarının, uzun modellerdeki ekonomik getiri sonuçlarını kısa süreli modellere göre daha az etkilediği dolayısıyla modelleme sırasında kısa dönemler için uygulanacak kısıtların daha çok önem kazandığı görülmüştür. Genel olarak yarı-dolu başlangıç bitiş kısıtı daha iyi sonuçlar vermiştir.

Şekil 7.114 ve Şekil 7.115'te görüldüğü üzere uzun dönem gözönüne alındığında başlangıç ve bitiş hacim kısıtlarının model başlangıç ve bitiş noktalarında ekonomik getiriyi etkilediği fakat modelin, kısıt etkilerini belli sürelerde tolere ederek aynı işletme hacmini yakaladığı görülmüştür. Farklı senaryolarda yakalanan aynı işletme hacim seviyelerinde bu bölümde gelen su miktarı aynı olduğuna göre Şekil 115'te de görülebileceği gibi aynı ekonomik getiri miktarları elde edilmiştir. Hazneye gelen su miktarının azlığı veya çokluğu başlangıç bitiş kısıtlarının görüldüğü etkisinin görüldüğü zaman diliminin uzaması veya kısalması anlamına gelir buna en iyi senaryo ve en kötü senaryo örnek gösterilebilir. En iyi senaryoda işletme hacimleri birbirine yaklaşırken en kötü durumda gelen su hacminin azlığına bağlı olarak farklı başlangıç koşulları uygulanan işletme hacimleri farklı seyretmeye devam etmektedir. Bu sebeplerden model sonuçlarında, uzun zaman dilimleri için başlangıç ve bitiş noktalarından uzakta kalan (tolere edilmiş) kısım her şekilde optimal işletme hacmini tarif etmektedir.

Şekil 7.113'te görüldüğü gibi son 20 senelik dilimde hazneye gelen akım miktarlarında önemli bir düşüş izlenmekte bunun sonucunda üretilen enerji miktarında önemli azalmalar meydana gelmektedir. Şekil 5.4-5.15'te de görüleceği gibi son 20 senelik dilimde hazneye gelen su hacmindeki düşüşler, enerji üretimini ve ekonomik getiriyi olumsuz şekilde etkilemiştir. Akarsu rejimlerindeki belirsizlikler ile su akım miktarlarındaki azalma hidroelektrik üreticileri ve tabii ki ülkemiz için ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır.

Çalışılan optimizasyon modellerinin baraj işletmecilerine belirlenen zaman aralığı için doğru tahminlerle, uygun bir işletme politikası öngörülmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Adamec, (2011) Sub-Daily Multi-Objective Models for Optimizing Hydropower in the Deerfield River (yüksek lisans tezi)

Balas, (1965). An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables.

Barros ve ark., (2003). Optimization of large-scale hydropower system operations. Journal of Water Resources.

Bayazıt, (1994). Hidroelektrik projelerinde Fayda-Maliyet Analizi. Su Kaynakları Sistemleri

Crawley ve Dandy, (1993). Optimal Operation Of Multiple-Reservoir System. Journal of Water Resources Planning and Management.

Dakin, (1965). A Tree Search Algorithm for Mixed Integer Programming Problems.

DSİ, (2013). www.dsi.gov.tr.

EİE, (2013). http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx.

Elgerd, (1982). Electronic Energy System Theory: an Introduction. New York,: McGraw-Hill.

Enerji Bakanlığı. (2013). Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli. http://www.enerji.gov.tr.

Gomory, (1958). Outline of an Algorithm for Integer Solution to Linear Programs.

ICOLD, (1996) Uluslararası büyük barajlar komisyonu ICOLD, 1996 raporu

Johnson ve ark, (2000). Johnson, E.L., Nemhauser, G.L. ve Savelsbergh, M.W.P. (2000), Progress in Linear.

Labadie, (2004) "Optimal Operation of Multi-Reservoir Systems: State of the Art Review," Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE.

Land ve Doig, (1960). An automatic method for solving discrete programming.

Loucks ve ark., (1981). Water resource systems.

Loucks, D.P. and van Beek, E. (2005) Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications.

Moore, (2000). Linear Power Discretization and Nonlinear Formulations for Optimizing Hydropower in a Pumped-Storage System. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University.

Mousavi, ve Ramamurthy, (2000). Optimal design of multi-reservoir systems for water supply.

Needham ve ark. (2000) Linear Programming for flood controlin the Iowa and Des Moines Rivers. Journal of Water Resources Planning and Management.

Rani ve Moreira, (2010) Simulation–Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir Systems Operation.

Ravindran ve ark, (1987). Operations Research: principles and practice. 2nd Edition, John Wiley and Sons.

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı – Yüksek Planlama Kurulu Sekretaryası (2009). Elektrik enerjisi piyasası ve arz güvenliği stratejisi belgesi.

Temel Su Mühendislik, (2005). Sami Soydam-Sandalcık Barajı ve Hidroelektrik Santrali Fizibilite Raporu.

Türkay, (2013). Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları. Kasım 2013 tarihinde home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf. adresinden alındı.

U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center Denver, Colorado, Advanced Algorithms for Hydropower Optimization-Technical Report, Mart 2012 teknik raporu

Vedula ve ark, (2005). Conjunctive use modeling for multicrop irrigation.

Winston, W. L. (2004). Operations Research., Thomson.

Wurbs R.A. (1991) Optimization of Multiple-Purpose Reservoir System Operations: A Review of Modeling and Analysis Approaches. US Army Corps of Engineers: Hydrologic Engineering Center. Research Document No. 34.

Yeh, (1985) Reservoir Management and Operations Models A State-of-the-Art Review.

Url-1 < *www.tdk.gov.tr* >, alındığı tarih: Haziran.2013.

Url-2 < *http://www2.dsi.gov.tr/sozlukler/hidrosozluk* >, alındığı tarih: Haziran.2013.

Url-3 < *http://www2.dsi.gov.tr* >, alındığı tarih: Haziran.2013.

Url-4 < *http://www.enerji.gov.tr* >, alındığı tarih: Haziran.2013.

Url-5 < *http://www.eie.gov.tr, 2013*>, alındığı tarih: Temmuz.2013.

Url-6 < home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf >, alındığı tarih: Temmuz.2013.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	Batuhan YAZIRLI
Doğum Yeri ve Tarihi:	Merzifon, 1984
Adres:	Tarabya Bayırı Cad. Tarabya Mahallesi Sanatçılar Sitesi 25A Blok D:18 Tarabya-Sarıyer/İstanbul
E-Posta:	batuhanyazirli@hotmail.com
Lisans:	İnşaat Mühendisliği (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Kaba yapı konusunda teknik ofis mühendisliği ve saha mühendisliğinde deneyimler;

Mak-in Mühendislik (2008-2012)

- 212 Avm, Kaba Yapı Şantiyesi (1,5 yıl) - Saha Mühendisliği
- Zorlu Center Kaba Yapı Şantiyesi (1,5 yıl) – Saha Mühendisliği
- Gebze 850 MW Kombine Çevrim Santrali (1 yıl) – Teknik Ofis Mühendisi

Aktürk Yapı A.Ş (2012- …)

- Zorlu Center (1 yıl) – Hakediş ve Maliyet Mühendisi