



**ÇOKLU REZERVUAR SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ ve ENERJİ
GELİRİ OPTİMİZASYONU**

Cem KISIKLI

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2019

Cem KISIKLI tarafından hazırlanan “ÇOKLU REZERVUAR SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ VE ENERJİ GELİRİ OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÖZDEMİR

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Prof. Dr. Lale BALAS

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Prof. Dr. Ayşe Burcu ALTAN SAKARYA

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Prof. Dr. Elçin KENTEL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Doç. Dr. Asu İNAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 24/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Cem KISIKLI

24/05/2019

ÇOKLU REZERVUAR SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİ ve ENERJİ GELİRİ OPTİMİZASYONU

(Doktora Tezi)

Cem KISIKLI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

G20 ülkeler listesinde ve “*Gelişmekte olan Ülkeler*” sınıfında yer almakta olan Türkiye’nin, enerji üretimi ihtiyacı, her geçen gün gelişmekte olan sanayi, nüfus ve ihtiyaçlar neticesinde artmaktadır. Özel teşebbüse lisans verilmeye başlanması ile ülkemizde enerji yatırımları hızlanmış, hidroelektrik, güneş ve rüzgar enerjisi olarak da çeşitlenmeye başlamıştır. Enerji üretimi ihtiyacının her geçen gün artması, yeni üretim tesislerinin yapılması dışında hem bu tesislerin hem de mevcut sistemlerin en iyi şekilde işletilmesi gereksinimini doğurmaktadır. Bu amaçla tez çalışması kapsamında birden çok rezervuar sistemlerinin tek elden işletilmesi ile en yüksek enerji üretimi elde edilmesi (enerji en iyilemesi) dinamik programlama kullanılarak yapılmış, oluşturulan bilgisayar programı ile seri ve paralel bağlantılı çoklu baraj sistemleri çözülmüştür. Enerji üretimi en iyilemesi yanısıra özel teşebbüs kullanımı da dikkate alınarak aynı zamanda enerji geliri en iyilemesi de yapılmıştır. Enerji en iyilemesi yapılırken harcanacak su sarfıyatı da dikkate alınmış olup, en az su sarfıyatı ile en yüksek enerji üretimi yapılması da oluşturulan bilgisayar programı ile yapılabilmektedir. Fiktif ve gerçek baraj sistemleri üzerinde geçmiş veriler kıyaslanarak çeşitli çalışmalar yapılmış olup, elde edilen faydalar yorumlanmıştır.

Bilim Kodu : 91116

Anahtar Kelimeler : Baraj, hidroelektrik enerji, dinamik programlama, enerji geliri, su sarfıyatı, enerji en iyilemesi

Sayfa Adedi : 139

Danışman : Prof. Dr. Osman Nuri ÖZDEMİR

ENERGY PRODUCTION AND ENERGY YIELD OPTIMIZATION OF MULTIPLE RESERVOIR SYSTEMS

(Doctorate Thesis)

Cem KISIKLI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

Being among developing countries and a member of G20, Energy demand in Turkey increases day by day as a result of population growth and developing industry needs. With the start of licensing the private enterprise, energy investments have accelerated and have diversified as hydroelectric, solar and wind power. Increase in energy need has caused operators to operate the existing energy plants more efficiently and effectively. Moreover this increase leads new energy production plants to be built. In this thesis, energy optimization of more than one reservoir system from one hand has been generated by using dynamic programming. With this aim, multiple reservoir systems that are interrelated serial or parallel, have been solved by using this generated computer program. Along with energy optimization, energy yield optimization has also been done considering private enterprise. Water consumption minimization is also considered so that, maximization of energy production with minimum water consumption can also be done by the generated computer program. Various studies have been done by comparing past data on fictive and real reservoir systems, and acquired benefits have been interpreted.

Science Code : 91116

Key Words : Dam, hydroelectrical energy, dynamic programming, energy yield, water consumption, energy maximization

Page Number : 139

Supervisor : Prof. Dr. Osman Nuri ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, lisans dönemi ve sonrasında değerli bilgi ve deneyimlerini paylaşan, yönlendiren ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Osman Nuri ÖZDEMİR'e, çalışmalarım sırasında bilgi birikimi ve deneyimi ile destek veren komite üyelerine, yapılan çalışmalar esnasında veri ve bilgi temini anlamında yardımlarını esirgemeyen Nurullah SEZEN'e, çalışma arkadaşlarıma, iş hayatım boyunca desteğini esirgemeyen ortağım Mohammad Damaneh Kouh SORKHABÍ'ye, yoğun çalışmalarım boyunca bana manevi her türlü desteği veren annem ve babama, bu süreçte bana katlandığı, sabrettiği, yardımları ve manevi desteğinden ötürü eşim Didem'e, kızım Nil'e ve çalışmam sırasında küçük veya büyük yardımını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	5
3. GENEL PRENSİPLER ve KABULLER	11
4. SİSTEMİN MATEMAKTİKSEL MODELİ	15
5. SINIR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ	25
6. OLUŞTURULAN BİLGİSAYAR PROGRAMI	27
7. ENERJİ EN İYİLEMESİ YAPILAN SİSTEMLER	31
7.1. Üç Barajlı Çoklu Fiktif Baraj Sistemi - 1	32
7.2. Üç Barajlı Çoklu Fiktif Baraj Sistemi – 2	41
7.3. Altı Seri Barajlı Çoklu Baraj Sistemi - 1	49
7.4. Altı Seri Barajlı Çoklu Baraj Sistemi - 2	61
7.5. Altı Barajlı Seri ve Paralel Bağlantılı Çoklu Baraj Sistemi	65
7.6. Çoklu Baraj Sisteminde Uzun Dönemli Enerji Üretimi Çalışması	70
7.7. Gerçek Çoklu Baraj Sistemi Üzerinde Yapılan Aylık Çalışma	79

8. BİRİM ENERJİ BAŞINA EN AZ SU SARFIYATI İLE ENERJİ ÜRETİMİ YAPILAN ÇOKLU BARAJ SİSTEMLERİ	87
9. SONUÇ ve ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	105
EKLER.....	109
EK-1. Yapılan program çıktıları kontrol çalışmaları	110
EK-2. Bölüm 7.1, 7.2 ve 8.1’de verilen çözümdeki barajlara ait kot-alan-hacim grafikleri ve baraj karakteristik verileri	115
EK-3. Bölüm 7.3 ve 7.4’te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri	118
EK-4. Bölüm 7.5’te yapılan çözümlere ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik verileri.....	124
EK-5. Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif barajların kot-alan-hacim eğrileri	130
ÖZGEÇMİŞ	139

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Ekim 2017 sonu itibariyle ülkemiz enerji kaynakları kurulu güç karşılaştırması	2



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Ekim 2017 itibariyle ülkemizin elektrik enerji kurulu gücü dağılım grafiği	2
Şekil 4.1. Rezervuar sisteminde herhangi bir i- barajının t- zamanına ait işletme ile ilgili değişkenler	15
Şekil 4.2. Baraj aktif hacimlerinin eşit hacim aralıklarına bölünmesi	16
Şekil 4.3. Baraj seviyeleri bölümlemesi sonucu elde edilen alt ve üst koridor sınırı ..	18
Şekil 4.4. Belirlenen üst ve alt koridorun içerisinde optimum sonuç aranması	19
Şekil 4.5. Kaba çözümlemeye ait akış diyagramı	22
Şekil 4.6. Rafine çözümlemeye ait akış diyagramı	23
Şekil 7.1. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi	33
Şekil 7.2. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi göl seviyeleri değişimi	34
Şekil 7.3. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi enerji üretimleri	35
Şekil 7.4. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi toplam enerji üretimleri	35
Şekil 7.5. Fiktif Baraj 1 enerji geliri karşılaştırması	38
Şekil 7.6. Fiktif Baraj 2 enerji geliri karşılaştırması	39
Şekil 7.7. Fiktif Baraj 3 enerji geliri karşılaştırması	40
Şekil 7.8. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi -2	42
Şekil 7.9. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi göl seviyeleri değişimleri	43
Şekil 7.10. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi enerji üretimleri	44
Şekil 7.11. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi toplam enerji üretimleri	44
Şekil 7.12. Fiktif Baraj 1 enerji geliri karşılaştırması	45
Şekil 7.13. Fiktif Baraj 2 enerji geliri karşılaştırması	46
Şekil 7.14. Fiktif Baraj 3 enerji geliri karşılaştırması	47
Şekil 7.15. Bölüm 7.1 ve 7.2 enerji üretimleri karşılaştırması	48
Şekil 7.16. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sistemi (Üretim Şekli 1)	50

Şekil	Sayfa
Şekil 7.17. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 1'e göre göl seviyeleri değişimi ..	51
Şekil 7.18. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 1'e göre enerji üretimleri ..	52
Şekil 7.19. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 1'e göre toplam enerji üretimleri ..	53
Şekil 7.20. Fiktif baraj 1'in çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması ..	54
Şekil 7.21. Fiktif baraj 2'nin çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması ..	55
Şekil 7.22. Fiktif baraj 3'ün çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması ..	56
Şekil 7.23. Fiktif baraj 4'ün çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması ..	57
Şekil 7.24. Fiktif baraj 5'in çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması ..	58
Şekil 7.25. Fiktif baraj 6'nın çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması ..	59
Şekil 7.26. Çoklu baraj sisteminde elde edilen gelir karşılaştırması (Üretim Şekli 1)	60
Şekil 7.27. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sistemi (Üretim Şekli 2) ..	62
Şekil 7.28. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 2'e göre göl seviyeleri değişimi ..	63
Şekil 7.29. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 2'e göre enerji üretimleri ..	64
Şekil 7.30. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 2'e göre toplam enerji üretimleri.....	65
Şekil 7.31. Altı barajlı seri ve paralel bağlantılı fiktif çoklu baraj sistemi ..	66
Şekil 7.32. Altı barajlı fiktif karmaşık çoklu baraj sisteminde göl seviyeleri değişimi	68
Şekil 7.33. Altı barajlı fiktif karmaşık çoklu baraj sisteminde toplam enerji üretimi karşılaştırması ..	69
Şekil 7.34. Altı barajlı fiktif karmaşık çoklu baraj sisteminde toplam enerji üretimleri	70

Şekil	Sayfa
Şekil 7.35. Yıllık işletme çalışmasında kullanılan çoklu baraj sistemi.....	71
Şekil 7.36. 10 Yıllık işletme sonucu oluşan baraj seviye değişim grafikleri	72
Şekil 7.37. 10 yıllık işletme sonucu barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları.....	73
Şekil 7.38. 10 yıllık işletme sonucu çoklu rezervuar sisteminin toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları	74
Şekil 7.39. 10 yıllık işletme sonucu dolusavaklardan atılan toplam su miktarının karşılaştırması ..	75
Şekil 7.40. 50 Yıllık işletme sonucu oluşan baraj seviye değişim grafikleri	76
Şekil 7.41. 50 Yıllık işletme sonucu barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları.....	77
Şekil 7.42. 50 Yıllık işletme sonucu çoklu rezervuar sisteminin toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları	78
Şekil 7.43. 50 Yıllık işletme sonucu dolusavaklardan atılan toplam su miktarının karşılaştırması ..	78
Şekil 7.44. Barajlara gelen günlük ortalama ara havza akımları	80
Şekil 7.45. Gerçek çoklu baraj sistemi şematik görünümü.....	81
Şekil 7.46. Baraj seviye değişimleri karşılaştırması	82
Şekil 7.47. Barajların enerji üretimleri karşılaştırmaları	83
Şekil 7.48. Barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları	84
Şekil 7.49. Barajların günlük toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları	84
Şekil 8.1. İnce çözümlemeye ait akış diyagramı.....	88
Şekil 8.2. Çoklu gerçek baraj sisteminde zamana bağlı baraj göl seviye değişimleri .	92
Şekil 8.3. Barajların enerji üretimi karşılaştırmaları.....	93
Şekil 8.4. Barajların toplam enerji üretimi karşılaştırmaları.....	94
Şekil 8.5. Barajların günlük toplam enerji üretimi karşılaştırmaları	94
Şekil 8.6. Barajların aylık türbinlenen toplam su miktarı karşılaştırmaları	95

Şekil	Sayfa
Şekil 8.7. Barajların ortalama su değeri karşılaştırmaları	96
Şekil 8.8. Barajların toplam harcanan su miktarı karşılaştırmaları.....	97
Şekil 8.9. Barajların ortalama toplam su değeri karşılaştırmaları.....	98



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 6.1. Fortran 95 programlama dilinde yazılan bilgisayar program arayüzü.....	28



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
$A_{i,t}$	i. Barajı t zamanındaki baraj göl alanı (km^2)
$B_{i,t}$	i. barajın t zamanında göl alanında oluşan buharlaşma hacmi
$b_{i,t}$	i. Barajın t zamanına ait bilinen buharlaşma katsayısı (mm)
F_t	t zamanındaki enerji piyasa fiyatı
$H_{i,t}$	i. barajın t zamanında brüt düşü ve türbinlenen debiye göre oluşan net düşüsü
$I_{i,t}$	i. barajın t zamanında sulama ve/veya içme suyunu karşılamaya yönelik verilen su hacmi
K	Toplam hidrolik kayıp katsayısı
$KSK_{i,t}$	i. barajın t zamanında santral kuyruksuyu çıkış seviyesi
N	Üretimin yapıldığı toplam süre
n	Sistemdeki toplam baraj sayısı
$P_{i,t}$	i. barajın t zamanında elde edilen ortalama güç
P_i^{Maks}	Baraj kurulu gücü
$Q_{i,t}$	i. barajın t zamanında göl alanına gelen su hacmi
$S_{i,t}$	i. barajın t zamanında dolusavağından bırakılan su hacmi
S_i^{Maks}	Dolusavaktan bırakılabilecek en yüksek su hacmi
$T_{i,t}$	i. barajın t zamanında enerji üretimi için türbinlenen su hacmi
T_i^{Maks}	Barajdan enerji üretimi için türbinlenebilecek en yüksek su hacmi
$V_{i,t}$	t zamanında barajda depolanan su hacmi
V_i^{Hedef}	Baraj hedef seviye hacmi
V_i^{Maks}	Barajda depolanabilecek en yüksek su hacmi
V_i^{Min}	Barajda depolanabilecek en düşük su hacmi
Z	Üretimin yapıldığı birim süre
μ_{Trb}	Türbinlenen debi ve net düşüdeki türbin verimi
μ_{Gen}	Türbinlenen debi ve net düşüdeki generator verimi
μ_{Tr}	Türbinlenen debi ve net düşüdeki transformatör verimi
ΔV	Baraj göl hacmi bölümlendirme hacmi

Simgeler	Açıklamalar
ΔV_i^{ince}	Baraj ince bölümlendirme hacmi
ΔV_i^{Kaba}	Baraj kaba bölümlendirme hacmi
$X_{i,t}$	t zamanında i barajının göl seviyesi kotu

Kısaltmalar Açıklamalar

AGİ	Akım gözlem istasyonu
DSİ	Devlet Su İşleri
EDSS	Baraj aktif göl alanı en düşük su seviyesi
EYSS	Baraj aktif göl alanı en yüksek su seviyesi
EÜAŞ	Elektrik Üretim A.Ş.
HES	Hidroelektrik santral
PMUM	Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi

1. GİRİŞ

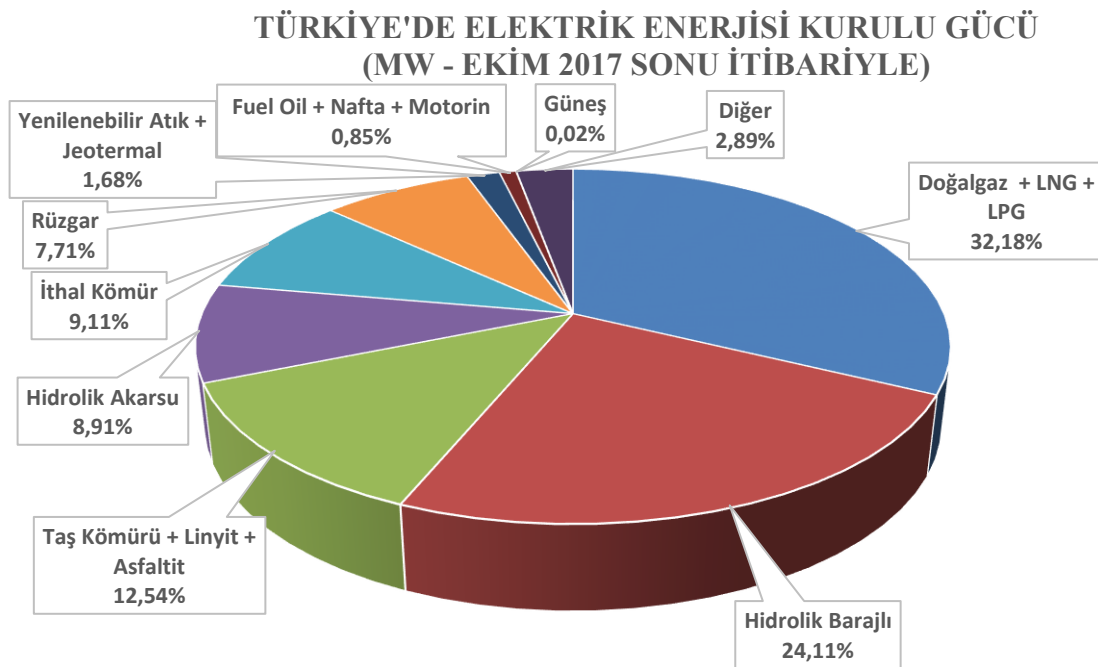
G20 ülkeler listesinde ve “*Gelişmekte olan Ülkeler*” sınıfında yer almakta olan Türkiye’nin, enerji üretimi ihtiyacı, her geçen gün gelişmekte olan sanayi, nüfus ve ihtiyaçlar neticesinde artmaktadır. Ülkemizde özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılmakta olan yatırımlar son 15 yılda büyük artış göstermiştir. Daha önce yalnızca devlet yatırımları söz konusu iken, 2003 yılından itibaren özel teşebbüse yatırımlar için lisans verilmeye başlanmıştır. Bölgesel enerji dağıtım şirketleri özelleştirilerek, enerji hizmetinin daha hızlı biçimde tüketiciye erişmesi ve yatırım yapılması amaçlanmıştır. Özel teşebbüsün yatırımları ile ülkemizde bugüne kadar büyüklü küçüklü 1500’e yakın hidroelektrik santrali inşası tamamlanmış ve hizmete açılmıştır. Hidroelektrik enerji üretimi gün geçtikçe artmakla birlikte son yıllarda rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi üretimi için özel teşebbüse lisans verilmeye başlanmıştır. Bu şekilde enerji üretimi ihtiyacı için üretim kaynakları çeşitlendirilmekte, aynı zamanda enerji üretimindeki dışa bağımlılık oranları azaltılmaya çalışılmaktadır.

Enerji üretimi ihtiyacının her geçen gün artması, yeni üretim tesislerinin yapılması dışında hem bu tesislerin hem de mevcut sistemlerin en iyi şekilde işletilmesi gereksinimini doğurmaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacının çok büyük bir bölümü yurtdışından temin edilmekte olan kaynaklara dayalıdır. Ekim 2017 sonu itibariyle ülkemizdeki enerji kaynaklarına ait kurulu gücü gösterir değerler Çizelge 1.1’de, grafik olarak ise Şekil 1.1’de verilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda verilen üretim lisansları ile birlikte çok çeşitli tesisler yapılmıştır. Büyük barajların işletmeleri Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından yapılmakta olup, özel sektör santralleri ilgili firmalarca veya firmaların anlaştıkları danışmanlık firmalarınca yapılmaktadır. Bu çalışmada hidroelektrik tesislerimizin tek elden işletmesinin yapılması düşünülerek enerji üretimi ve verimliliğin arttırılması amaçlanmıştır. Enerji alanında yerli kaynakların toplam üretim içerisindeki oranının arttırılmaya çalışıldığı bu günlerde, bu konunun çok önem arz ettiği düşünülmektedir. Bu amaçla tez çalışması kapsamında birden çok rezervuar sistemlerinin tek elden işletilmesi ile en yüksek enerji üretimi elde edilmesi (enerji en iyilemesi) dinamik programlama kullanılarak yapılmış, oluşturulan bilgisayar programı ile seri ve paralel bağlantılı çoklu baraj sistemleri çözülmüştür.

Çizelge 1.1. Ekim 2017 sonu itibariyle ülkemiz enerji kaynakları kurulu güç karşılaştırması

Kaynak Türü	Kurulu Güç (MW)	Kurulu Güç Payı (%)
Doğalgaz + LNG + LPG	26.395,20	32,18%
Hidrolik Barajlı	19.776,0	24,11%
Taş Kömürü+ Linyit+ Asfaltit	10.286,70	12,54%
Hidrolik Akarsu	7.304,50	8,91%
İthal Kömür	7.473,90	9,11%
Rüzgar	6.326,80	7,71%
Yenilenebilir+ Atık+ Jeotermal	1.378,40	1,68%
Fuel-Oil+ Nafta+ Motorin	696,20	0,85%
Güneş	12,90	0,02%
Diğer	2.367,60	2,89%
Toplam	82.018,20	100,00%



Şekil 1.1. Ekim 2017 itibariyle ülkemizin elektrik enerji kurulu gücü dağılım grafiği

EÜAŞ bünyesinde yer almakta olan hidroelektrik üretim tesislerinin yakın zamanda özelleştirilmeye başlaması ile EÜAŞ tarafından işletilmekte olan toplam kurulu güç büyüklüğü azalmaya başlamıştır. Söz konusu tesisleri işletmekte olan özel sektör firmaları,

yapılan yatırımların geri dönüşü vb. kriterler neticesinde tesisleri özellikle enerji fiyatlarının daha yüksek olduğu saatlerde üretim yapacak biçimde işletmeye çalışmaktadırlar. Ülkemizde su kaynaklarının idaresi ile görevli Devlet Su İşleri (DSİ) yapılmakta olan hidroelektrik tesisleri ile ilgili 2015/5 sayılı ve Planlama Kriterleri konulu genelgesinin 3. maddesinde “.. firm-sekonder enerji ayırımı olmaksızın, gün öncesi piyasa fiyatlarının uzun yıllar ortalama değerlerinin esas alınması uygun görülmüştür. Bu kapsamda enerji faydası için TEİAŞ bünyesinde kurulmuş olan PMUM (EPİAŞ) tarafından 2009 yılından itibaren saatlik ve günlük olarak yayınlanan elektrik satış bedelleri esas alınması” kararını almıştır. İleriki yıllarda hidroelektrik üretim tesislerinin işletmesinde yalnızca fazla enerji üretmenin yeterli olmayacağı, aynı zamanda bu üretimin zamansal olarak da ekonomik getirisinin olması beklenmektedir. Bu amaçla bu çalışmada yalnızca enerji en iyilemesi yapılmamış, aynı zamanda saatlik olarak değişen Piyasa Mali Uzlaştırma Merkezi (PMUM) elektrik piyasası fiyatları kullanılarak gelir en iyilemesi de çalışılmıştır. Bu şekilde hidroelektrik santrallerin işletmesinde geleceğe dönük perspektif çizmek amaçlanmıştır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ülkemizde gün geçtikçe nüfus artışına bağlı enerji talebindeki artış, hidroelektrik üretiminde çoklu rezervuar sistemlerinin işletmesinde kullanılan optimizasyon tekniklerini gittikçe daha önemli kılmaktadır. En iyileme teknikleri kullanımının, su yönetimine büyük katkısı olduğu ve verimliliği arttırdığı bilinmekte olup, bu konudaki çalışmalar 1970'lere kadar uzanmaktadır. Zaman içerisinde çeşitli en iyileme yöntemlerinin oluşturulması ve gelişen bilgisayar teknolojisi ile literatürde bu konuda üzerinde çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

En iyileme tekniklerinden biri olan dinamik programlama tekniğini kullanarak Altınbilek ve arkadaşları, oluşturdukları modelde çok amaçlı tekil baraj sistemleri üçer aylık mevsimsel işletme dönemleri için uzun dönemli işletme sürelerince en iyi işletme politikası belirlemeye çalışmışlardır (Altınbilek, 1978). Enerji üretimi amaçlı çoklu baraj sistemleri için Becker ve Yeh, lineer ve dinamik programlama tekniklerini birlikte kullanarak gerçek zamanlı işletme en iyilemesi amacıyla model geliştirmişlerdir (Becker, 1974). Model, çoklu rezervuar sistemindeki her bir baraj için anlık en yüksek güç belirlendikten sonra lineer programlama kullanılarak çözüm uzayı belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Oluşturulan çözüm uzayından dinamik programlama ile optimum işletme belirlenmektedir. Yapılan çalışmada gerçek zamanlı debilerin bilindiği varsayımı ile aylık işletme çalışması yapılmıştır. Çalışmanın temeli gelecek akım olasılıkları ve barajdan bırakılacak su doğrultusunda sulama, enerji üretimi dikkate alınarak oluşturulan görelî fayda fonksiyonunun belirlenmesi ile 50 yıllık işletme süresi boyunca mevsimsel olarak en iyi işletme politikasının dinamik programlama ile tespit edilmesi prensibine dayanmaktadır. Marino ve arkadaşları iki paralel barajdan oluşan çok amaçlı çoklu baraj sisteminin rezervuar işletmesine ilişkin lineer ve dinamik programlama yöntemlerinden oluşan bir model önermiştir (Marino, 1983). Yapılan çalışmada Becker ve Yeh tarafından önerilmiş olan bu sisteme ek olarak enerji en iyilemesi ile birlikte sulama ve taşkın görevleri de gözetilmiştir.

Arttırımlı noktasal dinamik programlama kullanılarak tekil baraj sistemi üzerinde göl hacminin eşit hacimlere bölünerek en yüksek firm enerji tespit edilmiştir (Pekçağlıyan, 1998). Elde edilen en yüksek firm debi doğrultusunda sekonder enerjinin en yüksek olduğu aylık işletme dinamik programlama kullanılarak belirlenmektedir. Söz konusu çalışmada baraj sisteminin oluşturulan matematiksel alt yapısı benzerlik göstermekte olup, yapılan çalışma enerji geliri dikkate alınmadan tekil baraj sistemleri için uygulanmıştır.

Stokastik dinamik programlama tekniği ile çoklu rezervuar hidroelektrik enerji üretimi en iyilemesi için Braga ve arkadaşları, önerdikleri modelde geçmiş akım verileri kullanarak aylık potansiyel enerji üretimini belirlemektedirler (Braga, 1991). Gerçek zamanlı aylık işletme en iyilemesi için oluşturulan çok boyutlu arama modülü ile baraj sistemin en yüksek faydası elde etmek için aylık olarak rezervuarlardan bırakılacak su miktarı araştırılmaktadır. Söz konusu arama modülü gerçekleşmiş aylık depolanmış su seviyelerine bağlı olarak elde edilen karlılıkları ve olasılık geçiş matrisini kullanmaktadır. Olasılık geçiş matrisi, gerçekleşmiş akım verileri kullanılarak bilinen rezervuara gelen aylık giren akım verisi kullanılarak sonraki gerçek zamanlı aylık işletmede gelebilecek akımın tespitinde kullanılmıştır. Söz konusu model, Brezilya'da Alt Tiete Havzası'nda çalışılmış olup, uzun dönemli gerçekleşmiş akım bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Chandramouli ve arkadaşları üç barajlı çoklu rezervuar sistemi için dinamik programlama tabanlı yapay sinir ağı tekniğine dayalı model geliştirmişlerdir (Chandramouli, 2002). Söz konusu modelde daha çok sulama amaçlı barajlar için mansapta yer alan ve paralel bağlantılı olan barajlar için membadan bırakılan suyun paylaşımı incelenmiştir.

Dinamik programlama kullanılarak çoklu baraj sistemlerinde güvenilir (firm) enerji üretiminin en iyilemesine yönelik tez çalışması yapılmıştır (Uran, 1980). Ardışık yaklaşımlı dinamik programlama ve ardışık yaklaşım çözüm teknikleri ile yapılan ve aylık akımların kullanılması ile yıllık firm enerji üretiminin en iyilemesini amaçlayan çalışmada ardışık yaklaşımlı dinamik programlama ile daha verimli sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Dinamik programlama tekniği kullanılarak çoklu baraj sistemleri en iyilemesi amacıyla yapılan bir diğer tez çalışmasında enerji üretimi bulunan ardışık baraj sistemleri için kapasite tayini amacıyla yapılan tez çalışmasında birincil olarak baraj göl seviyesinde işletme süresi boyunca en düşük işletme seviyesini elde edecek biçimde en yüksek güvenilir (firm) güç elde edilmektedir (Güner, 2011). Elde edilen en yüksek güvenilir güç kullanılarak ikinci aşamada ise işletme süresi boyunca en yüksek göl seviyesini yakalayacak biçimde aylık ortalama akımlar kullanılarak en yüksek güç değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Bu şekilde santralin akım rejimi dikkate alınarak güç optimizasyonu dinamik programlama ile yapılmıştır.

Rezervuar işletme problemlerine ilişkin dinamik programlama tekniğinin uygulanmasını iyileştirmek maksatlı çalışmalar da yapılmıştır. Yakowitz, rezervuar işletmesine dönük

diferansiyel dinamik programlama, ayık diferansiyel dinamik programlama, durum artımlı dinamik programlama teknikleri ile çalışmalar yapmıştır (Yakowitz, 1982). Dinamik programlama yöntemi ile çoklu baraj sistemlerinde yapılan çalışmalarda ilk kaba göl seviyelerinin elde edilmesi süreci probleme bağlı olarak “boyutluluk laneti” olarak bilinen ve çok uzun süreler ve iterasyonlar gerektirebilen bir süreç olabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla Kumar ve arkadaşları, dinamik programlamaya ek olarak kaba çözümün ilk olarak iteratif olarak belirlenmesi esasına dayanan bir model geliştirmişlerdir (Kumar, 2013). Söz konusu modeli dört barajdan oluşan çoklu fiktif baraj sisteminde denemişlerdir.

Ardışık yaklaşımlı dinamik programlama kullanılarak çok amaçlı ve çok barajlı baraj sistemlerinde en iyi işletme analizi yapılmıştır (Opan, 2011). Yapılan çalışma gerçek zamanlı olarak düşünülmüş ve aylık dönem için geçmiş akım verileri dikkate alınarak tahmini gelecek akım miktarı tespit edilmektedir. Gelecek akımlardan kurak döneme ait akımlar ilk olarak kullanılarak çoklu baraj sisteminde aylık olarak güvenilir güç en iyilemesi yapılmaktadır. Güvenilir güç en iyilemesi sınır koşulu ve en az üretim şartı olarak dikkate alınarak toplam akımlar doğrultusunda elde edilebilecek toplam enerji üretimleri araştırılmıştır.

Dinamik programlama ve HEC – 5 simulasyon programı kullanılarak Mousavi ve arkadaşları tarafından yapılan modelde enerji üretimi en iyilemesi yanısıra su kalitesi ve ihtiyaç miktarı sınır koşulları dikkate alınmıştır (Mousavi, 2004). İran’da beşi seri biri paralel bağlı toplamda altı rezervuardan oluşan Karoon-Dez hidrolik sistemi üzerinde yapılan çalışmalarda aylık akımlar kullanılmıştır. Dinamik programlama ile HEC-5 programının sonuçlarından daha iyi sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen çözüm uzayının büyüklüğünden kaynaklı çözüm süresinin uzaması sorunu tespit edilmiştir. Tez kapsamında yapılan modelde bu makaleye ek olarak çözüm uzayında sonuç olamayacak bazı çözümlerin rafine edilmesi ile çözüm süresinin azaltılmasına çalışılmıştır.

Karamouz ve arkadaşları, çok değişkenli hidrolojik zaman serisi analizi ve deterministik dinamik programlama kullanılarak iki barajlı çoklu rezervuar sisteminde aylık ve yıllık olarak işletme en iyilemesi çalışmaları yapmışlardır (Karamouz, 1992). Oluşturdukları modeli çeşitli büyüklüklere sahip (küçük, orta, büyük ve çok büyük) rezervuar sistemleri için kullanmış ve aylık işletme bazında iyileşmeler elde etmişlerdir.

Genetik algoritma tekniği de çoklu baraj sistemlerinin işletme problemi için kullanılmış yöntemlerden biridir. Oliveira ve arkadaşlarının ortaya koyduğu modelde yıllık bazda rezervuarlardan bırakılan su miktarları ve birbirinden bağımsız rezervuar seviyeleri bilgisini içeren gerçek değerli vektörler kullanılmıştır (Oliveira, 1997). Yapılan model içerisinde genetik algoritmanın kullanılmasından ötürü kullanılan populasyon büyüklüğü, mutasyon oranı gibi parametrelerin problemin büyüklüğüne bağılı olarak tecrübe doğrultusunda seçilmesi gerekmektedir.

Gerçek zamanlı baraj işletmesi için genetik algoritma ve lineer programlama kullanılarak iki ayrı işletme modeli oluşturulmuştur (Azamathulla, 2008). Yapılan modelleme yalnızca sulama amacı bulunan barajlar için geliştirilmiştir. Oluşturulan model, tarımsal ihtiyaçlar dikkate alınarak ihtiyaç duyulan su miktarı doğrultusunda göl seviyelerinin gelecek akımlar doğrultusunda tespitini içermektedir.

Genetik algoritma tekniğinde çözüm esnasındaki iterasyon sayısını azaltmak, genel optimum çözümün bulunmasını sağlamak ve lokal optimum çözüme takılmayı engellemek amacıyla mevcut çalışmalar üzerinde iyileştirme çalışmaları da yapılmıştır. Cheng ve arkadaşlarının ortaya koyduğu çalışmada genetik algoritma populasyonundaki kaliteyi arttırmak amacıyla kaos optimizasyonunun eklenmesidir (Cheng, 2008). Tekil bir hidroelektrik baraj üzerinde 38 yıllık giriş akımları kullanılarak yapılan çalışma neticesinde Genetik Algoritma ve Dinamik Programlama çözümlerinden daha hızlı sonuç alınabilen bir model geliştirmişlerdir.

Ardışık lineer programlama tekniği ile çoklu baraj sistemlerinin işletme en iyilemesine ilişkin Martin'in önerdiği model çoklu rezervuar sisteminin enerji en iyilemesi yanısıra işletme maliyetleri azaltılmasına dönüktür (Martin, 1983). Son derece karmaşık çoklu baraj sistemi üzerinde yaptığı çalışmalarda aylık olarak yapılan işletme en iyilemesi çalışmalarında %8 güvenilir (firm) enerjide artış elde edildiği tespit edilmiştir.

Hidroelektrik üretimi yapan rezervuarlarla ilgili Mclaughlin ve arkadaşları, gerçek zamanlı aylık işletme prensiplerine dayalı lineer-kvadratık stokastik kontrol kavramlarının kullanımına izin verecek biçimde bir model ortaya koymuşlardır (Mclaughlin, 1990). Lineer-kvadratık stokastik çözüm sürekli olarak iyileşen ilk yarı çözümü tespit eden bir iteratif döngüdür. Oluşturulan model Venezuela'da Caroni Havzası'nda yer alan bir büyük

bir küçük rezervuara sahip iki barajlı çoklu baraj sistemi üzerinde denenmiştir.

Ardışık lineer programlama kullanılarak Reznicek ve arkadaşları tarafından ortaya konan modelde ise enerji en iyilemesi amaçlanmıştır (Reznicek, 1992). Tekil baraj sistemi üzerinde toplam 12 ay için aylık bazda yapılan çalışmada amaç fonksiyonunda enerji üretimi, enerji geliri ve işletme maliyetlerinin dikkate alınması amacıyla katsayılarla çarpılmaktadır.

Lineer programlama tekniği ile çoklu baraj sistemleri için aylık planlama ve işletme en iyilemesi amacıyla Crawley ve arkadaşlarının geliştirdiği modelde amaç fonksiyonu, rezervuarlar arasında yer almakta olan ve farklı amaçları bulunan pompa istasyonlarının işletme maliyetlerinin azaltılmasına dönüktür (Crawley, 1993). Avustralya'daki Metropolitan Adelaide Su Sistemi'nde nehir üzerinde göl alanları dışında membadaki rezervuara su aktaran pompa istasyonları, sulama amacıyla nehirden suyu başka havzaya aktaran pompa istasyonları bulunmaktadır. Toplamda yedi baraj ve üç pompa istasyonundan oluşmakta olan çoklu baraj sisteminde literatürde yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak pompa istasyonlarının işletme maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Lineer programlama tekniği ile çok amaçlı tekil baraj üzerinde enerji en iyileme modeli çalışılmıştır (Yoo, 2009). Yapılan modelde Güney Kore'de yer alan Yongdam barajı örnek alınmış, yapılan çalışmada yıllık toplam potansiyel enerjinin %86'sı oranında enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan modelde rezervuardan bırakılacak su miktarı değişken kabul edilmiş olup, aylık verilerle çalışma yapılmıştır.

Çoklu baraj sistemlerinin tasarım en iyilemesine dönük çalışmalar da yapılmıştır. Mousavi ve arkadaşları, ardışık lineer programlama tekniğine bağlı geliştirdikleri modelde sistemdeki su kayıpları ve işletme giderlerini düşürmeyi amaçlayan model geliştirmişlerdir (Mousavi, 2000). Yapılan model özellikle büyük ölçekli çoklu baraj sistemlerinin tasarımı üzerinedir. Daha önceden dinamik programlama ile yapılmış fiktif çoklu baraj sistemi üzerinden yapılan çalışmalarda dinamik programlamaya istinaden tasarım anlamında daha verimli sonuçlar alındığı ortaya konulmuştur.

Barros ve arkadaşları, geçmiş aylık ortalama akım verilerinin kullanılması ile Brezilya'da Panara ve Panarema isimli büyük ölçekli hidroelektrik tesis sistemi (Toplam kapasite : 69.375 MW) üzerinde lineer ve lineer olmayan optimizasyon modelleri üzerinde

çalışmışlardır (Barros, 2001). Hınçal ve arkadaşları ise Fortran dilinde oluşturulan bilgisayar programı ile öncelikle fiktif şebekede sonrasında ise CRSP (Colorado River Storage Project) üzerinde aylık ve geçmişe yönelik akım verileri kullanılarak depolama ve deşarj değerlerinin en iyilemesine yönelik çalışmalar yapmışlardır (Hınçal, 2010). Heydari ve arkadaşları tarafından ise çoklu rezervuar sistemleri üzerinde lineer programlamanın uygulanması ile geçmiş veriler kullanılarak işletme optimizasyonu yapılmıştır (Heydari, 2015). Çalışmada incelenen 6 barajlı işletme çalışmasında %21,7 oranında savaklanan su miktarında azalış, %11,6 oranında daha fazla su türbinlenmesi ile %15,9 oranında rezervuar depolamasında artış elde edildiği belirtilmiştir.

Gerçek zamanlı baraj en iyilemesine dönük olarak Bulanık Mantık ile Moeini ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada tekil bir barajda hedef seviyeler doğrultusunda mansaba bırakılacak akımların tespiti için kural eğrileri oluşturulmuştur (Moeini, 2011). Çalışmada bulanık kuralların belirlenmesi amacıyla stokastik dinamik programlama ile yapılmış önceki çalışmalardan yararlanılmış ve tekil baraj sistemi üzerinde çalışılmıştır.

Yapılan araştırmalardan da görülebileceği üzere; dinamik, lineer, genetik algoritma, bulanık mantık veya nonlinear programlama kullanılarak yüzlerce araştırmacı tarafından rezervuar operasyonlarında optimizasyon geliştirilmiştir. Farklı optimizasyon teknikleri içerisinde dinamik programlama en popülerleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi dinamik programlamanın hidroelektrik santraller için optimum işletme planlamasının yapılmasında ve karmaşık işletme stratejilerinin geliştirilmesinde güvenilir, etkili ve verimli çözümler sunmasıdır.

3. GENEL PRENSİPLER ve KABULLER

Birbirleriyle memba mansap ilişkisi bulunan çok sayıda barajdan oluşmakta olan baraj sistemleri, çoklu rezervuar baraj sistemi olarak tanımlanmaktadır. Aynı havza içerisinde yer alan barajlar, memba mansap ilişkisi ile birbirlerini etkilemektedirler. Membada yer alan bir barajın mansaba çeşitli yollarla bırakacağı su miktarı, mansapta yer alan barajın işletme politikasını doğrudan etkilemektedir. Baraj göl alanı depolamasından ötürü, nehir tipi hidroelektrik santralin aksine baraj göl alanından mansaba bırakılan su miktarı, giren akımdan farklı bir büyüklükte olmaktadır. Barajlardaki enerji üretimleri, türbinlenen su debisi ve barajın o anki düşüşüne bağlıdır. Baraj sistemlerinde membadaki barajın işletme politikasının mansaptaki barajların işletme politikasına doğrudan etkisi olması, enerji üretimi için türbinlenecek su miktarı ve baraj göl seviyelerini değiştirmekle birlikte özellikle taşkın gibi afet dönemlerinde önemli sonuçları olabilecek etkilere sahiptir.

Baraj işletmeciliğinde genel prensip olarak baraj gövdesini riske atabilecek büyüklükte bir taşkın söz konusu olmadıkça dolusavak çalıştırılmak istenmez. Dolusavaktan bırakılan su, herhangi bir enerji üretimi, sulama vs. gibi bir amaca hizmet etmeyip, yalnızca barajın kendisini korumak maksadıyla mansaba bırakılmakta olan sudur. Su değerli olduğu için ülkemizde çoğu barajın dolusavağı zorunluluk arz etmedikçe, işletme süresi boyunca test amacı dışında hiç çalıştırılmamaktadır. Ayrıca her barajın rezervuar büyüklüğü birbirinden farklı olduğundan, dolusavakların çalıştırılmasına karar verilmesi için mansaptaki tesislere de dikkat edilmesi gerekmektedir. Eğer baraj rezervuarının mansabında yer almakta olan taşkın su hacmi değerinden küçük toplam göl hacmi büyüklüğüne sahip depolamalı tesisler bulunuyor ise baraj dolusavağından tam kapasite ile bırakılacak taşkın hacmini mansaptaki tesisler göl alanlarında tutamayacaklardır. Tesisleri koruyabilmek için mecburen mansaptaki barajlardan aynı şekilde büyük miktarlarda su bırakılması gerekmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek adına gelmesi muhtemel bir taşkın öncesinde rezervuar göl seviyeleri olabildiğince düşürülerek gelecek su hacminin rezervuar alanı içerisinde tutulmasına ve dolusavaktan atılacak su hacmi büyüklüğünün azaltılmasına çalışılmaktadır.

Hidroelektrik santrallerde enerji üretimi miktarı, türbinlerden geçirilecek su miktarı (türbinlenecek debi) ve su düşüşüne bağlıdır. Santraldeki toplam türbinlenecek debi, santraldeki her bir türbinden geçen debi miktarının toplamıdır. Her türbin sabit debi miktarı ile çalışmamakta olup, türbinin tipine ve tasarımına bağlı olarak türbin tasarım debisinin

farklı oranlarda üstünde ve altında debileri geçirerek enerji üretimi yapabilmektedir. Santraldeki birden fazla türbinin çalışma esnasında birbirine bağlı olmadan çalışabilmesinden ötürü santralde toplam tasarım debisinden küçük çok çeşitli debilerin türbinlenebilmesi mümkündür. Türbinlenen toplam debi miktarı enerji üretimi miktarını doğru orantılı olarak etkilemektedir.

Enerji üretimindeki bir diğer etken olan su düşüşü, türbinlenmeden önce suyun alınmakta olduğu seviye ile türbinlendikten sonra bırakıldığı seviye arasındaki kot farkıdır. Bu fark, brüt düşü olarak isimlendirilmektedir. Suyun alınıp türbinlere kadar götürülmesi esnasında suyun temas ettiği yüzeylerle oluşan sürtünmeden ötürü su enerjisinde hidrolik kayıplar meydana gelmektedir. Brüt düşüden oluşan tüm hidrolik kayıplarının düşülmesi ile net düşü elde edilmektedir. Enerji üretimi de net düşü ile doğrudan orantılıdır.

Kurulmuş olan bir hidroelektrik santralde, türbinlere giden su yolu, akım miktarına bağlı olarak değişmediğinden net düşü esas olarak barajın rezervuar göl seviyesine bağlıdır. Enerji üretiminin en iyilemesi için göl seviyesinin olabildiğince yüksek olması istenmektedir. Ancak, özellikle bahar aylarında meydana gelen kar erimesi ve yağış gibi kriterlerden ötürü oluşabilecek taşkınlardan korunabilmek amacıyla rezervuar seviyeleri olabildiğince düşürülmeye çalışılmaktadır. Bu iki farklı durum birbiriyle çelişmekte olduğundan optimum bir çözümün bulunması önem arz etmektedir.

Genel prensipler ışığında tez kapsamında çoklu baraj sistemlerinin birlikte ele alınarak enerji üretimi ve gelir en iyilemesi çalışılmıştır. Bu amaç için öncelikle en iyileme probleminin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında yapılan bazı genel kabuller aşağıda verilmiştir:

- Bu tez çalışmasında çoklu rezervuar sistemleri incelenen problemin niteliğine göre yıllık, aylık, günlük ve saatlik olmak üzere çeşitli zaman aralıkları doğrultusunda incelenmiştir. Yıllık üretim en iyilemesinin incelendiği problemlerde aylık işletmeler, aylık üretim en iyilemesinin incelendiği problemlerde günlük işletmeler, üretimin yanında gelir en iyilemesinin de hedeflendiği problemlerde ise saatlik işletmeler çalışılmıştır.
- Çalışılmış çoklu baraj sistemlerinde memba ve mansap ilişkisindeki baraj rezervuarları arasındaki mesafenin çok az olduğu ve bırakılan akımların mansaptaki göl hacmine hemen ulaştığı kabul edilmiştir.
- Yapılan çeşitli işletme çalışmalarında yıllık enerji üretimi çalışmaları haricindeki

fiktif barajlar ile yapılan işletme çalışmalarında göl alanında buharlaşma olmadığı varsayılmıştır. Yıllık işletme çalışmalarında ise buharlaşma, söz konusu baraja ait aylık bilinen buharlaşma miktarı ile baraj seviyesine bağlı göl alanı büyüklüğünün çarpımı ile hesaplanmaktadır.

- İşletme çalışmalarında baraj göl hacmi ve kotları belirlenirken baraj göl alanında kot değerlerine ait bilinen kot-alan-hacim değerleri arasında kalan ara kotlardaki alan ve hacim değerlerinin lineer şekilde değiştiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır.
- Santralde yer alan türbinlerin net düşü ve türbinlenen debiye bağlı olarak verimleri değişiklik göstermektedir. Türbin verimi aslen tasarlanan türbinin karakteristik özelliğine bağlı olup türbin üreticisi tarafından verilmektedir. Generator verimi ise türbinden üretilen güce bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmaları daha kolay irdeleyebilmek, oluşturulan program sonuçlarının kontrolü amacıyla yapılan işletme çalışmaları boyunca santral türbin verimleri ve generator verimlerinin sabit olduğu ve değişmediği varsayılmıştır. Oluşturulan bilgisayar programında istenildiği takdirde türbin ve generator verimleri değişken olarak verilebilmektedir.
- Santral çıkışındaki kuyruksuyu seviyesi, türbinlenen akımın büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarda program sonuçlarının kontrolü amacıyla yapılan işletme çalışmaları boyunca kuyruksuyu kotlarının sabit olduğu ve değişmediği varsayılmıştır. Hazırlanan programda istenildiği takdirde kuyruksuyu kotları, türbinlenen akıma bağlı biçimde değişken olarak girilebilmektedir.

Yapılan kabuller doğrultusunda çoklu baraj sistemi için öncelikle tek bir baraj üzerinden yola çıkılarak sistemin matematiksel modeli oluşturulmuş ve çoklu baraj sistemlerine uygulanmıştır.

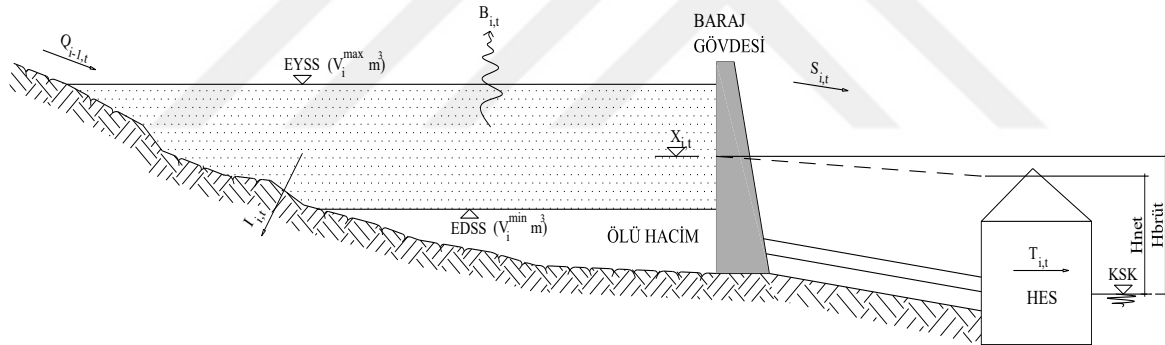


4. SİSTEMİN MATEMATİKSEL MODELİ

Şekil 4.1’de çok barajlı bir sistemde herhangi bir i barajının t -zamanına ait işletme ile ilgili değişkenler gösterilmiştir. Burada, $i=1,2,3,\dots,n$: baraj sayısını ve $t=1,2,3,\dots,N$: zamanı göstermektedir. $X_{i,t}$: baraj aktif göl hacmi içerisinde herhangi bir göl seviyesini göstermektedir. Bu sisteme ait herhangi bir i - barajı için t - zamandaki su dengesi ilişkisi;

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} + Q_{i-1,t} - T_{i,t} - S_{i,t} - I_{i,t} - B_{i,t} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, $V_{i,t}$: i barajının t zamanında depoladığı su hacmini, $Q_{i-1,t}$: baraj gölüne gelen su hacmini, $T_{i,t}$: baraj türbinlerinden enerji üretimi için bırakılan toplam su hacmini, $S_{i,t}$: baraj dolusavağından varsa savaklanan su hacmini, $I_{i,t}$: sulama ve/veya içme suyu ihtiyacına verilen su hacmini, $B_{i,t}$ ise t zamanda baraj gölünde oluşan buharlaşma miktarını ifade etmektedir.



Şekil 4.1. Rezervuar sisteminde herhangi bir i - barajının t - zamanına ait işletme ile ilgili değişkenler

Herhangi bir t birim zamanında baraj göl hacminde oluşacak su hacmi değişimi ($\Delta V_{i,t}$) baraj su dengesi aşağıdaki biçimde yazılabilir;

$$\Delta V_{i,t} = V_{i,t+1} - V_{i,t} = Q_{i-1,t} - T_{i,t} - S_{i,t} - I_{i,t} - B_{i,t} \quad (4.2)$$

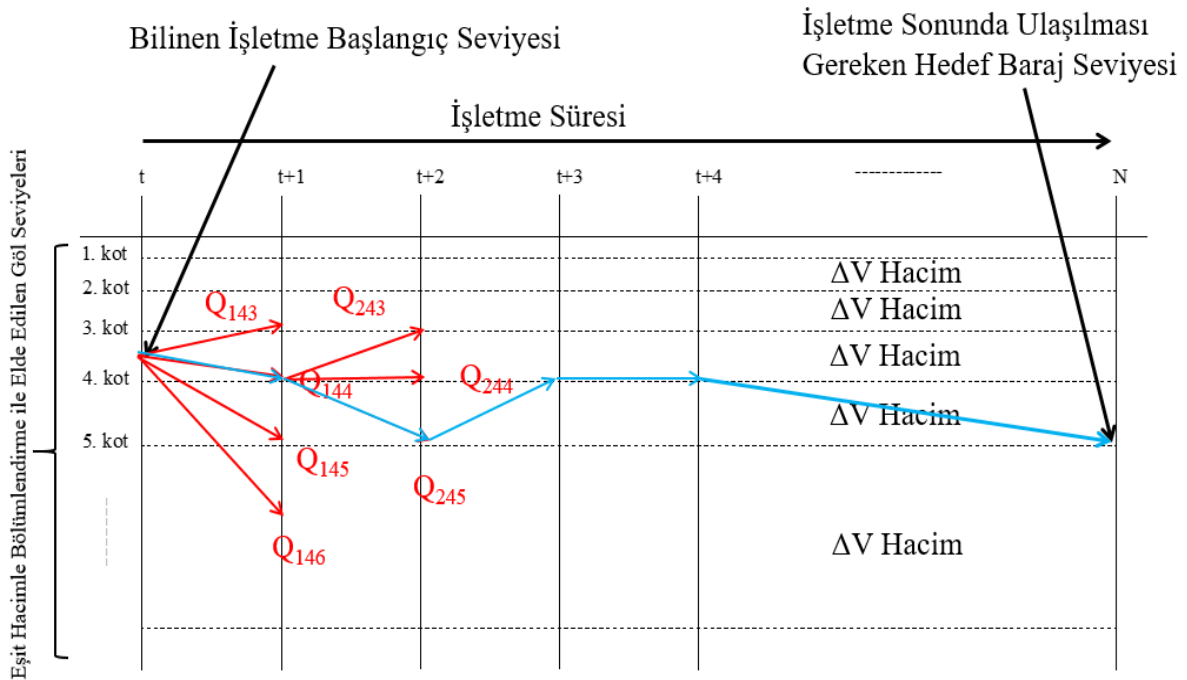
Baraj göl hacimlerinde türbinlenecek su hacmine bağlı olarak Eş. 4.2’de verilen ilişki ile aynı zaman için farklı su dengeleri oluşmaktadır. Eş. 4.2’de yer alan değişkenlerden sulama ve/veya içme suyuna verilen su hacmi, baraj göl seviyesine bağlı olmaksızın verilmek zorunluğu bulunan su hacmidir. Dolusavaktan su bırakılabilmesi için göl seviyesinin dolu, ve fazladan da su hacminin bulunması gerekmektedir. Türbinlenecek su hacmi ise

santraldeki toplam türbin debisi ile sınırlıdır. Baraj göl hacminde oluşacak buharlaşma ise aşağıdaki eşitlik 4.3 ile hesaplanmaktadır.

$$B_{i,t} = b_{i,t} x \left(\frac{A_{i,t} + A_{i,t+1}}{2} \right) x 1000 \quad (4.3)$$

Eş. 4.3'te verilen ifadelerden $b_{i,t}$ i barajı için bilinen aylık mm cinsinden buharlaşma miktarı katsayısıdır. Bu katsayı, aylık olarak değişmekte olup, barajın bulunduğu konumdaki ölçülmüş sıcaklık değerlerine bağlı olarak bilinmekte olan katsayıdır. $A_{i,t}$ ise i barajının t zamanında göl seviyesine bağlı olarak kot-alan-hacim değerlerinden hesaplanan km^2 cinsinden göl alanı büyüklüğüdür. $A_{i,t+1}$ ise türbinlenecek su hacmine bağlı olarak t süre sonra gidilecek göl seviyesine bağlı olarak kot-alan-hacim değerlerinden hesaplanan km^2 cinsinden göl alanı büyüklüğüdür. Bu ifade gidilecek göl seviyesine göre değişmektedir. Eş. 4.3'te görüleceği üzere toplam buharlaşma hacmi, barajın işletme zamanına ait bilinen buharlaşma katsayısı ile işletme süresindeki ortalama göl alanının çarpımı ile hesaplanmaktadır.

Bu tez çalışmasında türbinlenecek su hacimlerine bağlı olarak oluşan farklı su dengelerini belirleyebilmek ve matematiksel olarak ifade edebilmek adına, baraj göl hacimleri barajların aktif hacim büyüklüklerine bağlı olarak eşit hacimlere bölünmüştür (Şekil 4.2).



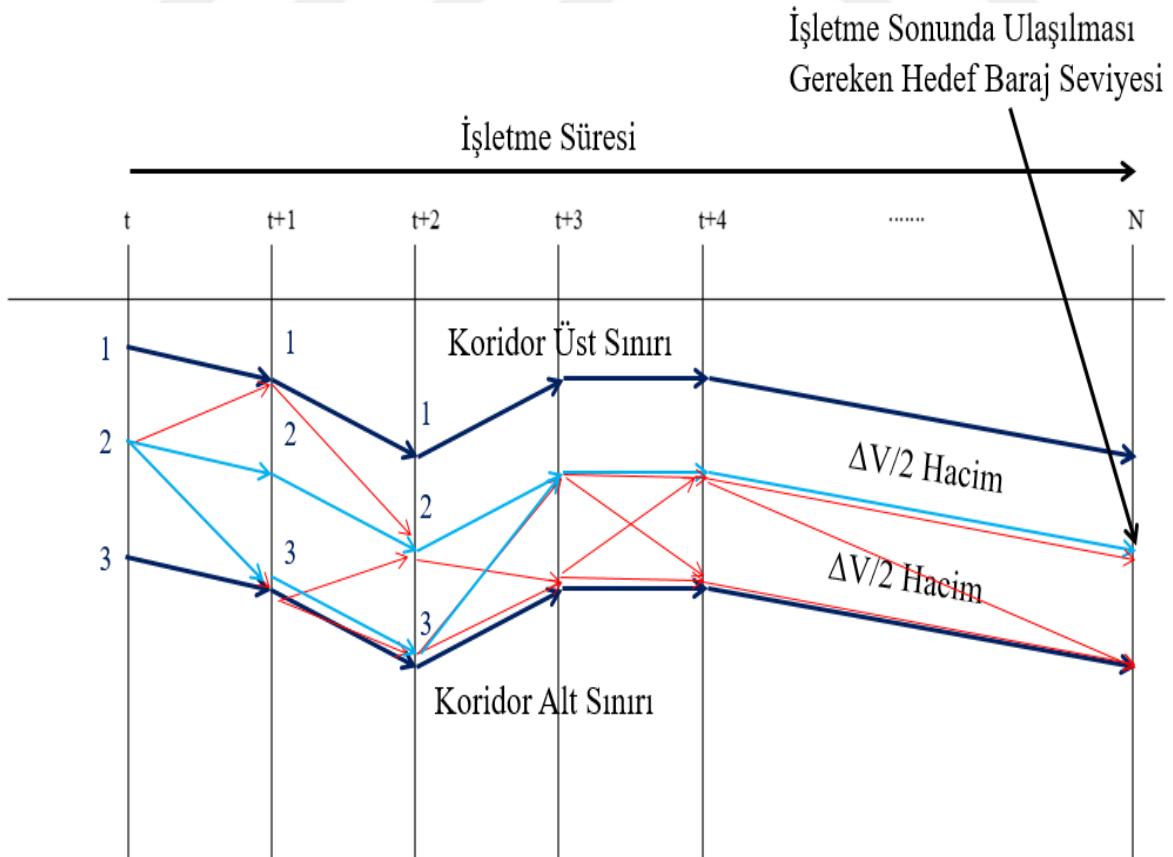
Şekil 4.2. Baraj aktif hacimlerinin eşit hacim aralıklarına bölünmesi

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere t zamanında bilinmekte olan başlangıç seviyesi ile başlangıç depolama hacmi bilinen rezervuar hacminin, eşit hacimlere bölünmesi ile oluşan $t+1$ zamanındaki farklı her bir göl seviyesi için farklı türbin debileri elde edilmektedir. Şekil 4.2’de türbin debileri $Q(\text{zaman, bulunulan kota ait bölümlendirme sayısı, gidilecek kota ait bölümlendirme sayısı})$ şeklinde gösterilmiştir. Rezervuar ve bölümlendirme hacmi büyüklüklerine bağlı olarak bazı rezervuar seviyelerine ulaşabilmek için gerekli türbin debileri, ya santral toplam türbinleme kapasitesinden büyük olabilmekte ya da negatif olabilmektedir. Böyle bir durum, matematiksel olarak olabilir gözükmeyle birlikte fiziksel olarak t zamanından $t+1$ zamanındaki ilgili seviyeye gidilemeyeceğini göstermektedir.

İşletme süresi boyunca herhangi t bir zamanındaki baraj seviyesinden sonraki zamana ait baraj seviyesine gidebilmek, işletme başlangıcından o zamana gelinceye kadar belirlenen türbin debilerine bağlıdır. Bundan dolayı işletme süresi ilerledikçe baraj göl alanında oluşabilecek alternatif işletme sayısı katlanarak artmaktadır. Üzerinde çalışılan rezervuar sisteminin çoklu rezervuar sistemi olmasından ötürü membadaki barajlardan bırakılacak su miktarları mansaptaki barajların göl seviyelerini ve dolayısı ile mansaptaki barajların üretime dönük alacakları kararları etkilediği dikkate alındığında problem uzayı daha da büyümektedir.

Bu sistemin çözümü için öncelikle membadaki barajda su dengesini sağlayacak biçimde $t+1$ zamanındaki göl seviyesine ulaşmak için sınır koşullarını sağlayan bir türbin debisi seçilir. Sınır koşulları Bölüm 5’te ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu debiye memba ve mansap rezervuarları arasındaki yan derelerden gelebilecek doğal ara havza akımları ve membadaki barajdan bırakılan diğer su miktarları eklendiğinde mansaptaki baraja t ile $t+1$ zaman aralığında girmekte olan toplam su miktarı elde edilmiş olur. Bu miktara bağlı olarak mansaptaki barajın t ile $t+1$ zaman aralığı boyunca su dengesi kurularak yapılan eşit bölümlendirme sonucu elde edilen göl seviyeleri arasında sınır koşullarını sağlayacak biçimde bir türbin debisi seçilir. Bu işlem işletme süresi boyunca çoklu rezervuar sisteminde membadaki barajlardan en mansaptaki barajlara kadar tek tek yapılır. Türbin debilerinin seçimi sırasında barajların sınır koşullarına ve işletme süresinin sonunda bulunan rezervuar hedef göl seviyesi sınır koşuluna uyulması zorunludur. Rezervuarların eşit hacimlerce bölünmesi ile elde edilen toplam işletme alternatiflerinin tümü için mansaptan membaya doğru geri dönülecek biçimde tüm alternatiflere karşı çoklu baraj sisteminin toplam enerji üretimi hesaplanır. Elde edilen en yüksek enerji üretimi kaba enerji üretimi, üretime ait

işletme alternatifi ise kaba işletme olarak belirlenmiş olur. Kaba enerji üretiminin bulunabilmesi için yapılan bölümlendirme hacminin birim işletme süresinde türbinlenebilecek en büyük akım miktarından küçük olması gerekmektedir. Elde edilen kaba çözümdeki türbin debisi büyüklükleri, yapılmış olan bölümlendirmelere bağlı olduklarından ötürü en iyi çözüm değildirler. En iyi çözümün elde edilmesi için göl seviyelerinin daha küçük hacimlere bölünerek rafine edilmesi gerekmektedir. Bu akımlar sonucu elde edilen ilk göl seviyeleri bu aşamada yol göstericidir; çünkü kaba işletme sonucu, kaba bölümlendirmeye göre elde edilen en yüksek enerji üretimidir. Dolayısıyla elde edilen ilk çözüm etrafında hacimlerin daha rafine edilerek en iyi çözümün aranması (rafine çözüm), en iyi çözüme çok daha kısa sürede ve daha az uğraşı ile ulaşılmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda bu şekilde yapılarak çözüm uzayının daha fazla büyümesi engellenmekte, işlem hacmi azaltılmakta ve çözüm süresi kısaltılmaktadır. Bu şekilde elde edilen kaba çözüm etrafında daha küçük hacim aralığında rafine çözüm aranmaktadır. Bunun için kaba çözümde elde edilen baraj seviyelerine kaba bölümlendirme hacmi yarıya düşürülerek (Şekil 4.3) bir koridor elde edilmektedir (Uran, 1980). Rafine çözüm oluşan koridor içinde aranacağından bu koridor aynı zamanda çözüm uzayının sınırlarını ifade etmektedir.



Şekil 4.3. Baraj seviyeleri bölümlenmesi sonucu elde edilen alt ve üst koridor sınırı

Enerji üretimi en iyilemesi yapılmasına ilişkin amaç fonksiyonu Eş. 4.4'te verilmiştir. Türbin gücü belli bir düşüdeki potansiyel enerjinin türbin çarkın geçirilmesi ve kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile oluşmaktadır. Türbin gücü açık olarak ifade edildiğinde Eş. 4.5'teki gibi yazılabilmektedir.

$$Maks. Enerji = \sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^N (9,804 \times T_{i,t} \times H_{net_{i,t}} \times \mu_{Trb} \times \mu_{Gen} \times \mu_{Tr} \times Z) \quad (4.5)$$

Eş. 4.5'te $T_{i,t}$: t zamanında i barajından türbinlenen debiyi (m^3/s), $H_{i,t}$: t zamanında i barajının göl seviyesi ve türbinlenen debiye göre oluşan net düşüyü (m), μ_{Trb} : türbin verimini, μ_{Gen} : santral generator verimini, μ_{Tr} : santral transformatör verimini, Z ise üretim süresini ifade etmektedir. Eş. 4.5'teki değerlerden net düşü değeri;

$$H_{i,t} = \left[\frac{X_{i,t} + X_{i,t-1}}{2} \right] - KSK_{i,t} - \sum (K \times T_{i,t}^2) \quad (4.6)$$

şeklinde elde edilmektedir. Eş. 4.6'da $X_{i,t}$: t zamanındaki baraj göl seviyesini, $KSK_{i,t}$: t zamanındaki santral kuyuksuyu çıkış seviyesini, K ise baraj göl alanından türbin çarklarına kadar olan su yolundaki tüm hidrolik kayıpların kayıp katsayısı toplamını göstermektedir. Hidrolik kayıplar içerisinde baraj su alma yapısındaki ızgara, kapak gibi yapılardan varsa enerji tüneli sürtünme kayıpları, tüm kesit genişleme / daralma ve sürtünmeler ile santralde türbin girişlerindeki vana kayıpları ile cebri boru sürtünme kayıpları bulunmaktadır. İncelenen barajdaki türbinler Pelton tipi türbin ise türbin çarkları ile kuyuksuyu seviyesi arasındaki kısmın atmosfer basıncında olmasından ötürü Eş. 4.6'da kuyuksuyu seviyesi yerine türbin eksen kotu kullanılmaktadır.

Eş. 4.5'te yer alan türbin verimi, türbin içerisindeki çarkın üretimine bağlı olup, her santral için farklıdır. Türbin verimi birden küçük bir sayı olmakta birlikte net düşü ve türbinlenen debi büyüklüğüne bağlı olduğundan sürekli olarak değişmektedir. Generator verimi ise türbin verimi gibi birden küçük bir sayı olmakla birlikte türbinden üretilen güce bağlı olarak değişmektedir. Genelde net düşü ve türbinlenen debiye bağlı türbin verimindeki değişim, generator verimindeki değişimden daha fazladır. Transformatör verimi ise sabit olup üretici tarafından belirlenmektedir.

İncelenen problemde gelir en iyilemesi de irdelenmek isteniyor ise günlük enerji en iyilemesi

yapılan çoklu rezervuar sisteminin ikinci aşamada gelir optimizasyonu yapılır. Enerji en iyilemesi ile günlük olarak belirlenen baraj seviyeleri kullanılarak 24 saatlik periyot için her bir saatteki türbinlenecek debi, bu sefer enerji fiyatları dikkate alınarak belirlenir. Bu işlem esnasında her 24 saatlik periyot için daha önceden belirlenmiş olan göl seviyeleri değişmez sınır koşulu olarak korunmaktadır. Gün başı ve gün sonu baraj göl seviyelerinin belli olduğu 24 saatlik süre boyunca kaba bölümlendirmede olduğu gibi baraj göl hacmi eşit bölümlendirme hacmine bölünür (Şekil 4.3). Yapılan bölümlendirme neticesinde her saat için türbin debisine karar verilerek baraj göl seviyeleri değişimleri ve bunlara bağlı olarak enerji üretimleri hesaplanır. Programa verilen saatlik enerji fiyatları ile üretilen enerji miktarları çarpılarak enerji gelirleri elde edilmektedir. Eş. 4.7’de amaç fonksiyonu verilmiştir.

$$Maks. Gelir = \sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^N (9,804 \times T_{i,t} \times H_{net_{i,t}} \times \mu_{Trb} \times \mu_{Gen} \times \mu_{Tr} \times Z \times F_t) \quad (4.7)$$

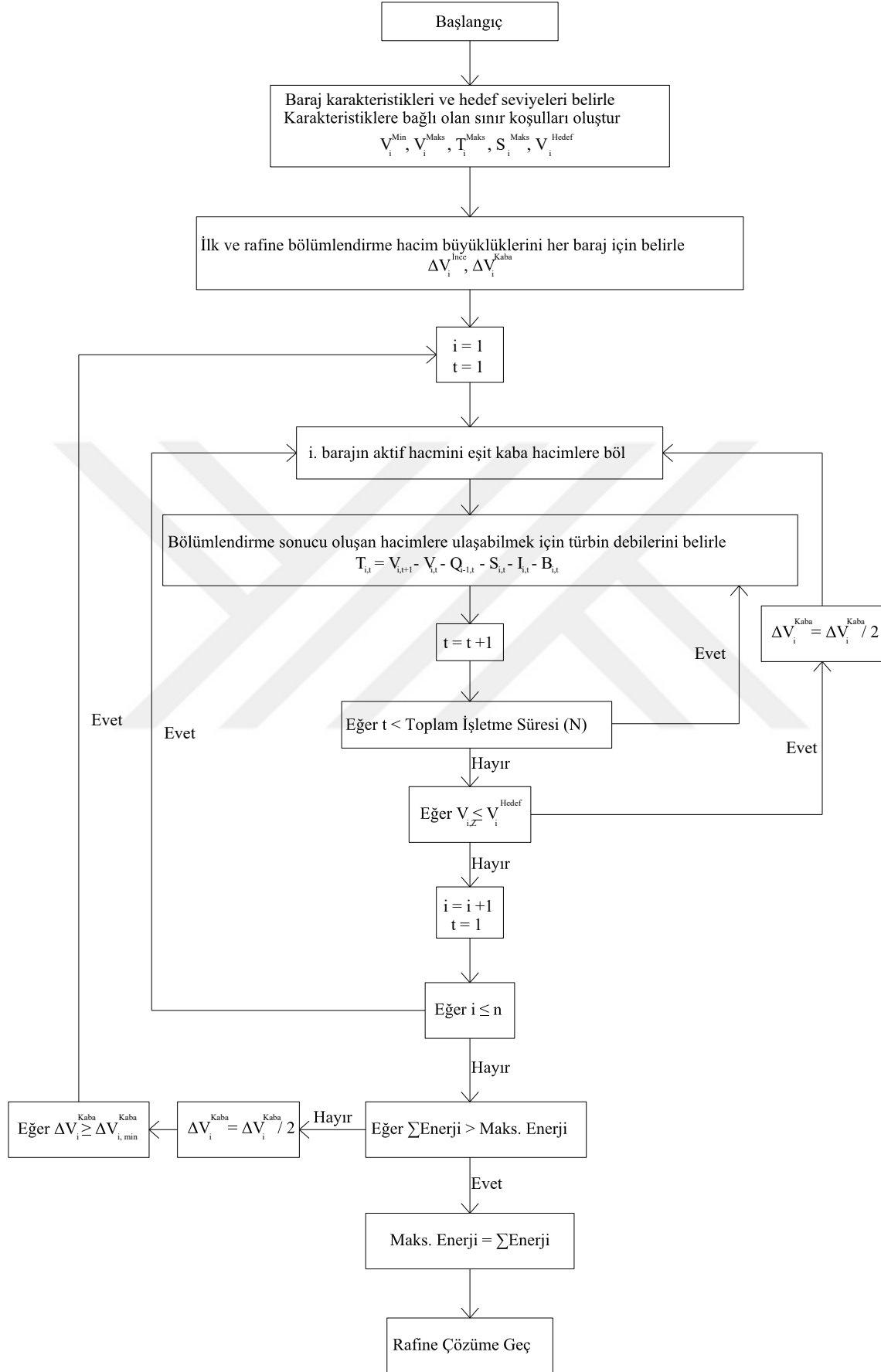
Eş. 4.7’de verilen ifadede Eş. 4.5’ten farklı olarak yer alan F_t ifadesi t zamanındaki enerji fiyatını ifade etmektedir. Fiyat parametresinin kullanılması ile saatlik olarak en yüksek enerji üretimini yapmanın yanı sıra fiyatın en değerli olduğu zamanda yüksek üretimin yapılması hususu önem kazanmaktadır.

Saatlik yapılan işletme ile gün sonunda enerji en iyilemesi ile elde edilmiş göl seviyesine ulaşmakla birlikte en yüksek enerji geliri elde edilen işletme biçimi belirlenmiş olur. Elde edilen işletmenin rafine edilmesi amacıyla bölümlendirme hacimleri yarıya bölünüp koridor elde edilir. Rafine çözüm koridor içerisinde aranır. Enerji üretimi en iyilemesinde olduğu gibi gerektiğinde koridor kaydırması yapılarak daha yüksek gelir elde edilmeye çalışılır. Kabul edilebilir bölümlendirme hacmine ulaşıncaya kadar bu işlemler devam eder ve çözüm elde edilmiş olur. Bu şekilde günlük olarak enerji üretimi en iyilemesi daha önceden yapılmış sistemin, saatlik olarak enerji geliri en iyilemesi de yapılmış olur.

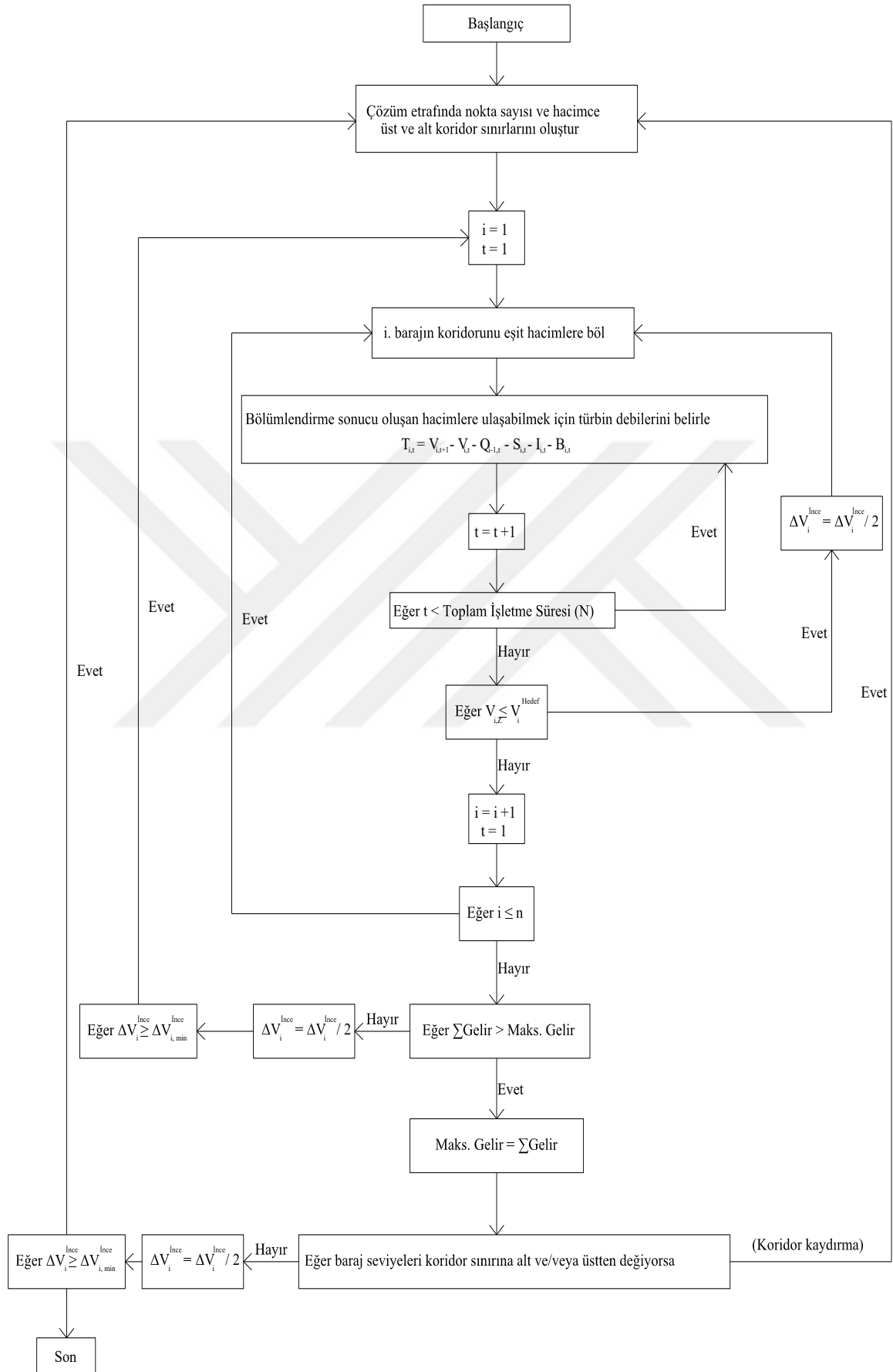
Baraj işletmeciliğinde göl seviyelerinin büyüklüğü dolayısı ile saatlik olarak göl seviyelerinde ciddi değişimler meydana gelmemektedir. Dolayısı ile enerji geliri en iyilemesi çözümü, daha uzun işletme süresine bakıldığında enerji iyilemesi çözümü de barındırmaktadır. Sonuç itibarıyla, fiziksel olarak çoklu rezervuar sisteminden elde edilebilecek en yüksek enerji üretimi ile bu üretime ve zamansal fiyatlara bağlı olarak bu üretim için elde edilebilecek en yüksek gelir belirlenmiş olur.

Oluşturulmuş olan matematiksel sistem, enerji ve gelir en iyilemeleri için kaba ve rafine çözüm olmak üzere iki ana adımdan oluşmaktadır. özüm sırasında öncelikli olarak baraj aktif hacimlerinde yapılan kaba bölümlendirme ile ilk çözüm elde edilmekte, sonrasında ise bu çözüm etrafında yapılan daha rafine bölümlendirmeler ile rafine çözüm elde edilmektedir. Matematiksel modele ait akış diyagramı kaba çözüm için şekil 4.5'te, rafine çözüm için ise şekil 4.6'da ayrı ayrı verilmiştir. Rafine özümleme sonucunda elde edilen çözüm aynı zamanda problemin en iyi çözümü olmaktadır.





Şekil 4.5. Kaba çözümlemeye ait akış diyagramı



Şekil 4.6. Rafine çözümlemeye ait akış diyagramı

5. SINIR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

Hidroelektrik enerji, suyun türbinlenerek baraj mansabına bırakılması ile elde edilmektedir. Türbinlenecek su miktarının artması enerji üretimini arttırmaktadır. Sürekli üretim yapılarak suyun türbinlenmesi, işletme süresinin tamamı düşünüldüğünde aktif baraj göl hacminin boşalmasına sebep olacaktır. Barajların enerji üretimi dışında taşkın koruma, sulama, içme suyu temini gibi başka görevleri de bulunduğundan enerji en iyilemesi çalışmalarında baraj göl hacminin boşalmasını engellemek amacıyla problemi sınırlandıracak baraj hedef seviyeleri tanımlanmıştır. Ülkemizde rezervuarlı sistemlerde ay sonlarında taşkın koruma amacıyla barajların bulunması gereken göl seviyeleri Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından belirlenmektedir. Enerji en iyilemesi yapılabilmesi için işletme süresinin sonunda baraj gölü hedef seviyesi olmak zorundadır. İşletme süresi içerisinde belli zamanlarda göl seviyesinin olması istenilen seviyeler de bulunabilmektedir. Söz konusu seviyeler, baraj seviyesinin üst veya alt limiti olabilir. Oluşturulan bilgisayar programı, istenilen zaman için sınır koşulu girilebilecek şekilde hazırlanmıştır.

Bazı barajlarda ayrıca mansap kriterlerine göre bırakılması gereken en düşük / en yüksek debi kısıtı ile baraj göl seviyesinde aktif hacim dışında en yüksek / en düşük baraj seviyesi kısıtları gibi kısıtlar bulunabilir. Çoklu rezervuar sistemi optimizasyonunun yapılabilmesi için sistemdeki tüm barajlar için bu kısıtların işletme zamanına bağlı olarak bilinmesi gerekmektedir.

Çoklu baraj sisteminde yer alan her bir baraj ve dönem için su dengesi ilişkisi, Eş. 4.2’de ifade edilmektedir. Sistemdeki kısıtlar ise, sisteme ait her bir barajdaki depolanan su miktarı

$$V_i^{Min} \leq V_{i,t} \leq V_i^{Maks} \quad (5.1)$$

Arasında olmakta ve burada, V_i^{Min} : barajda depolanan en düşük su hacmini, V_i^{Maks} : barajda depolanan en yüksek su hacmini göstermektedir. Baraj göl seviyeleri ile ilgili olarak da;

$$EDSS \leq X_{i,t} \leq EYSS \quad (5.2)$$

Barajdan bırakılacak akımlar enerji üretim kapasitesine ve dolusavak kapasitesine bağlı olarak sınırlandırılabilir. Buna göre, barajdan bırakılan akımlar,

$$0 \leq T_{i,t} \leq T_i^{Maks} \quad (5.3)$$

$$0 \leq S_{i,t} \leq S_i^{Maks} \quad (5.4)$$

Olmaktadır. Burada, T_i^{Maks} : Barajdan enerji üretimi için bırakılabilecek en yüksek su debisini, S_i^{Maks} : Barajdaki dolusavaktan mansap koşullarına bağlı olarak bırakılabilecek en yüksek su hacmini göstermektedir.

Her bir barajda enerji üretimi için bırakılan akımdan elde edilen gücün hidroelektrik santral kurulu gücünü aşmaması gerekmektedir. Yani, t-zamanda barajdan elde edilen ortalama güç,

$$P_{i,t} = 9,804 \times T_{i,t} \times H_{net,i,t} \times \mu_{Trb} \times \mu_{Gen} \times \mu_{Tr} \times Z \quad (5.5)$$

Olup, bu değer

$$P_{i,t} \leq P_i^{Maks} \quad (5.6)$$

Olmalıdır. Burada, P_i^{Maks} : baraj kurulu güç değerini, $T_{i,t}$: türbinlenen debiyi (m^3/s), $H_{i,t}$: baraj seviyesine ve türbinlenen debiye göre oluşan net düşüyü (m), μ_{Trb} : türbinlenen debi ve net düşüdeki türbin verimini, μ_{Gen} : santral generator verimini, μ_{Tr} : santral transformatör verimini, Z ise üretim süresini ifade etmektedir. Türbin, generator ve transformatör verimleri, birden küçük pozitif değerler olduğundan,

$$0 < \mu_{Trb} < 1 \quad (5.7)$$

$$0 < \mu_{Gen} < 1 \quad (5.8)$$

$$0 < \mu_{Tr} < 1 \quad (5.9)$$

Şeklinde ifade edilebilir.

6. OLUŞTURULAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

Çoklu baraj sistemlerinin enerji ve gelir en iyilemesinin yapılması problemi, araştırılan problemdeki baraj sayısı ve baraj hacimlerinde yapılacak bölümlendirme sayılarına bağlı olarak büyük çözüm uzayına sahiptir. Söz konusu büyüklüğün araştırılabilmesi için bilgisayar desteği gereklidir. Bu amaçla tez kapsamında Fortran 95 dilinde bilgisayar programı geliştirilmiştir. Fortran bilgisayar dili, genel olarak eski bir bilgisayar dili olup, dinamik programlama gibi sayısal işlem kapasitesi yüksek ve söz konusu problem gibi çözüm uzayı büyük sistemlerin kullanımında son derece hızlı olması açısından problemin tipine uygundur. Hazırlanmış olan bilgisayar programı ile çoklu baraj sisteminin yıllık işletme süresine göre aylık, aylık işletme süresine göre öncelikle günlük enerji en iyilemesi yapılmaktadır. Sonrasında ise bu sonuç kullanılarak parasal saatlik enerji geliri parametreleri doğrultusunda saatlik gelir en iyilemesi yapılmaktadır. Ayrıca istendiği takdirde enerji geliri en iyilemesi yerine harcanan su miktarının azaltılması ile talep edilen enerji miktarının karşılanacağı işletme de yapılabilmektedir. Bilgisayar programı, barajların karmaşık memba mansap ilişkileri dikkate alınarak oluşturulmuş olup, birbirlerine seri ve paralel bağlı sistemlerde de kullanılabilecek biçimde yazılmıştır. Programın ara yüzü Resim 6.1’de verilmiştir.

Bilgisayar programının çalıştırılması için çoklu baraj sisteminin karakteristik bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Baraj kot-alan-hacim bilgileri, giren akım bilgileri, başlangıç seviye bilgileri, buharlaşma, varsa sulama ve içme suyu bilgileri ile net düşünün hesaplanabilmesi için cebri boru sayısı, çapı ve uzunluk bilgilerinin girilmesi gerekmektedir. Net düşü hesabında cebri boru dışındaki kayıpların da dikkate alınabilmesi amacıyla iki farklı ek parametre tanımlanmıştır. Kullanıcı, baraj sistemi ile ilgili debiden bağımsız olarak kayıpları tanımlayabildiği gibi, cebri borundan geçecek debinin karesine bağlı olacak biçimde katsayı olarak da tanımlayabilmektedir.

$$\sum h_f = KxQ^2 \quad (6.1)$$

Eş. 6.1’de h_f olarak gösterilen ifade, su yolundaki toplam hidrolik kayıp toplamını, K ifadesi ise kayıp katsayısını, Q ifadesi ise türbinden geçen debi miktarını ifade etmektedir. Hazırlanan programda kayıplar, geçen akımdan bağımsız olarak tanımlanabildiği gibi, Eş.

6.1’de gösterilen K ifadesi ile de tanımlanabilmektedir. Böylece farklı akım büyüklüklerine göre hidrolik kayıp hesaplamaları yapılabilmektedir.

Net düşü hesabındaki bir diğer etken ise kuyruksuyu kotudur. Bilindiği üzere santral çıkışında oluşan kuyruksuyu seviyesi, o an için santralden çıkan toplam akım büyüklüğüne göre oluşmakta olup değişken bir seviyedir. Oluşturulan bilgisayar programında kuyruksuyu seviyesi Eş. 6.2’de verilen ikinci derece denklem ile hesaplanmaktadır.

$$KSK = aQ^2 + bQ + c \quad (6.2)$$

Eş. 6.2’de verilen ikinci derece denklemdeki a, b ve c katsayıları, değişkenler olup, kullanıcı tarafından verilmektedir. Q ifadesi ise santralden çıkan toplam akım büyüklüğünü ifade etmektedir. Girilen katsayılara göre türbinlenen akım büyüklüğüne bağlı kuyruksuyu kotları hesaplanabilmektedir.

Resim 6.1. Fortran 95 programlama dilinde yazılan bilgisayar program arayüzü

Hazırlanmış olan bilgisayar programı kullanılarak çok farklı karakteristiklere sahip çoklu baraj sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Fiktif olarak oluşturulan baraj sistemleri ve gerçek baraj sistemi üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde üretim ve gelir artışları araştırılmıştır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için fiktif olarak oluşturulan çoklu baraj sistemlerinin tekil olarak enerji en iyilemeleri yapılmıştır. Bu şekilde mansaptaki durumu ve ihtiyacı gözetmeksizin barajların yalnız tekil olarak çalışması ile tüm havzayı düşünerek

çalıştırılması arasındaki fark gözlenmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında verilen sonuçlarda ifade edilen tekil üretimler, fiktif baraj sistemlerinde barajların yalnız tek olarak en yüksek enerji üretimi elde edilmesine yönelik en iyileme yapılması ile elde edilen sonuçları ifade etmektedir. Çoklu enerji en iyilemesi ise incelenmekte olan baraj sistemindeki tüm barajların çoklu olarak enerji en iyilemesi sonucu elde edilen sonuçları ifade etmektedir. Enerji en iyilemesi için programa barajın kot-alan-hacim, rezervuara giren akımlar ve karakteristik büyüklük bilgileri girilmektedir. Ayrıca bu aşamada iki yaklaşım ortaya çıkmaktadır. Birinci olarak sistemden istenilen enerji üretimi belli ise enerjinin en yüksek olması talebi yerine istenilen enerji miktarının mümkün olabilecek en az su miktarı harcanarak elde edilmesidir. İkinci olarak ise eğer istenilen üretim belli değil veya en yüksek üretimin elde edilmesi amaçlanıyor ise harcanacak su miktarına bakılmaksızın mümkün olabilecek en yüksek enerji üretimi en iyilemesi yapılabilmektedir. Söz konusu iki aşama ayrı örnekler üzerinde çalışılmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Program sonuçlarının doğruluğunu kontrol etmek amacıyla çalışmalar yapılmış, yapılan bölümlendirme ile elde edilen alternatifler ayrıca çıkarılmıştır. Yapılan kontrol çalışmaları incelenen çoklu baraj sistemi örneği ile birlikte Bölüm 7’de anlatılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde program sonuçları doğrulanmıştır.



7. ENERJİ EN İYİLEMESİ YAPILAN SİSTEMLER

Enerji en iyilemesi çalışılan sistemlerde programa barajların kot-alan–hacim, rezervuara giren akımlar ve karakteristik büyüklük bilgileri dışında yalnızca başlangıç rezervuar seviyesi ile ulaşılması gereken dönem sonu (yıl, ay, gün sonu) rezervuar hedef seviyesi bilgileri verilmektedir. Bu veriler kullanılarak program, bir aylık işletme süresi için günlük, yıllık işletme süresi için ise aylık zaman diliminde çalışarak en yüksek enerji üretimini bulmaktadır. Aylık olarak yapılan enerji üretimleri sonrasında günlük olarak da çalışılmaktadır. Günlük enerji en iyilemesi elde edildikten sonra programa girilen saatlik enerji üretimi gelir parametreleri kullanılarak günlük enerji üretiminde bulunan baraj göl seviyelerini değiştirmeden bir gün içerisinde saatlik getirinin daha yüksek olduğu zamanlarda üretim yapılması sağlanarak en yüksek enerji geliri elde edilmektedir.

Fiktif sistemlerin kullanılmasının amacı, program sonucunun oluşturulan su dengesi ile karşılaştırılmasına olanak vermek ve ne kadarlık enerji üretimi ile gelir artışı elde edildiğini anlayabilmektir. Tez kapsamında incelenen ayrı fiktif baraj sistemleri, paralel ve seri biçimde bağlı baraj sistemlerinden oluşmakta olup çözüm uzayı büyük sistemlerdir. Ayrıca incelenen fiktif barajlar rezervuar hacmi, kotlar, düşü, santral kapasitesi ve giren akımlar bakımından gerçek barajlara benzetilerek oluşturulmuştur. Fiktif baraj sistemleri ile yapılan çalışmalarda baraj göl alanlarından buharlaşmalar, ara havza akımları ve sulama, içme suyu vb. ihtiyaçlar amacıyla çekilmekte olan sular dikkate alınmamıştır. Çalışılan çoklu baraj sistemlerinin boyutsal olarak gerçek baraj sistemlerinden herhangi bir farkları bulunmamakta olup, programın her türlü sistemin çözümünde kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın işletmeye olan katkısı irdelenerek baraj sistemlerinin verimliliğine olan etkisi incelenmiştir.

Tez kapsamında çoklu baraj sistemleri üzerinde çalışmadan önce oluşturulan programın kontrolü ve doğruluğunu sorgulamak adına öncelikle tekil fiktif bir barajda sırasıyla 3, 4 ve 5'er günlük işletme çalışmaları yapılmıştır. Sonuçların kontrolü için ilk kaba bölümlendirmede mümkün olduğunca büyük bölümlendirme hacmi kullanılmıştır. Baraj göl hacimleri eşit kaba bölümlendirme hacimlerine bölünerek alternatifler elde edilmiştir. Aynı alternatifler daha sonra program çalıştırılarak da elde edilmiştir. Amaç fonksiyonu doğrultusunda programın seçmesi gereken işletme alternatifi irdelenmiş ve sonuçta programın doğru alternatifi seçtiği tespit edilmiştir. Daha uzun süreli işletmelerde alternatif

sayıları katlanarak artmakta olduğundan tüm çalışmalar için programın hesaplamalarını aynen tekrarlamak mümkün olamamaktadır. Ancak; yapılan kontrol çalışmaları, program döngüsü içindeki kontrolü de yapmış olduğundan ötürü kontrol çalışmalarında işletme süresinin kısalığı bir anlam ifade etmemektedir. Kontrol çalışmalarında elde edilen alternatifleri gösterir çizim Ek-1’de verilmiştir. Ek-1’de öncelikle 3 günlük işletme çalışmasındaki alternatif sayısı verilmiştir. Devamında ise yalnızca bir günlük değişkenin de eklenmesi ile oluşan toplam alternatif sayısı gösterilmiştir. Görüleceği üzere işletme süresi arttıkça alternatif sayıları buna bağlı olarak büyümektedir.

Tez kapsamında hazırlanan programı çoklu baraj sistemlerinde de kontrol etmek amacıyla iki ve üç seri barajlı fiktif sistemler üzerinde de yukarıda bahsedilene benzer şekilde çalışmalar yapılmıştır. Bölümlendirmeler sonucu elde edilen alternatiflerden amaç fonksiyonu doğrultusunda en yüksek enerjiyi veren alternatifler seçilmiş, bölümlendirme hacmi yarıya bölünüp, koridor oluşturulup ilk kaba çözüm iyileştirilmiştir. Aynı işlemler programla da yapılmış ve aynı sonuçların alındığı tespit edilmiştir. Bu işlemler sonrasında çoklu baraj sistemi alternatifleri üzerinde daha büyük çözüm uzayları barındıran örnekler çalışılmıştır.

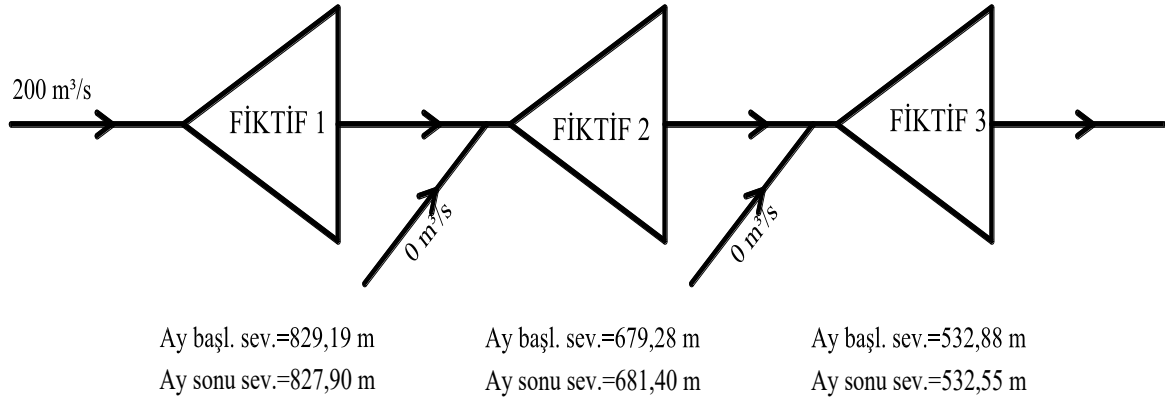
Enerji en iyilemesi yapılan çalışmalar kapsamında öncelikle fiktif üç seri barajın yer aldığı çoklu baraj sistemleri çalışılmıştır. Üçlü baraj sistemlerinde yapılan çalışmalar sonrasında altı seri barajlı ve altı barajlı karmaşık çoklu baraj sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

7.1. Üç Barajlı Çoklu Fiktif Baraj Sistemi - 1

İlk yapılan çalışmalarda üç adet birbiriyle seri bağlantılı çoklu baraj sistemi incelenmiştir. Oluşturulan fiktif sistem şekil 7.1’de görülebilmektedir.

İncelenmiş olan fiktif çoklu baraj sistemi Keban, Karakaya ve Atatürk üçlü baraj sistemine benzetilmiştir. Barajların karakteristik büyüklükleri de bu doğrultuda belirlenmiştir. Membadaki ilk baraja bir aylık süre içerisinde sürekli olarak aynı miktarda su geldiği kabulü ($200 \text{ m}^3/\text{s}$) ile bu barajdan bırakılacak sular doğrultusunda mansaptaki barajların davranışları irdelenmiştir. İncelenen fiktif baraj sisteminde fiktif 2 ve 3 nolu barajlara ara havza akımı gelmediği varsayılmıştır. Giren akımlar çerçevesinde fiktif barajların ay başı ve ay sonu seviyeleri şekil 7.1’de verildiği gibi olacak biçimde en yüksek enerji üretimini öncelikle

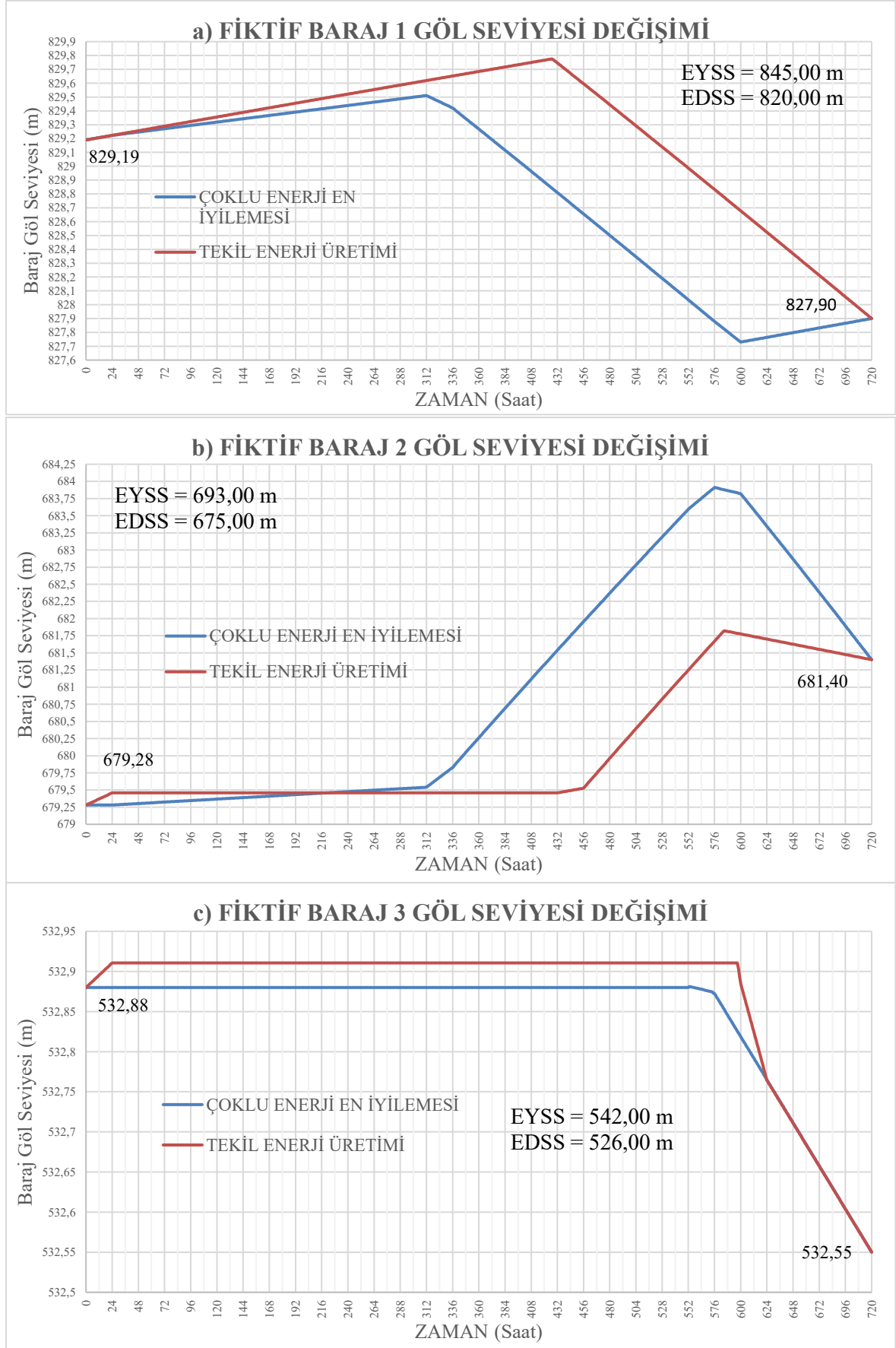
günlük olarak yapmaları amaçlanmıştır. Söz konusu üç fiktif baraja ait kot-alan-hacim grafikleri ve barajların karakteristik bilgileri Ek-2’de ayrıntılı olarak verilmiştir.



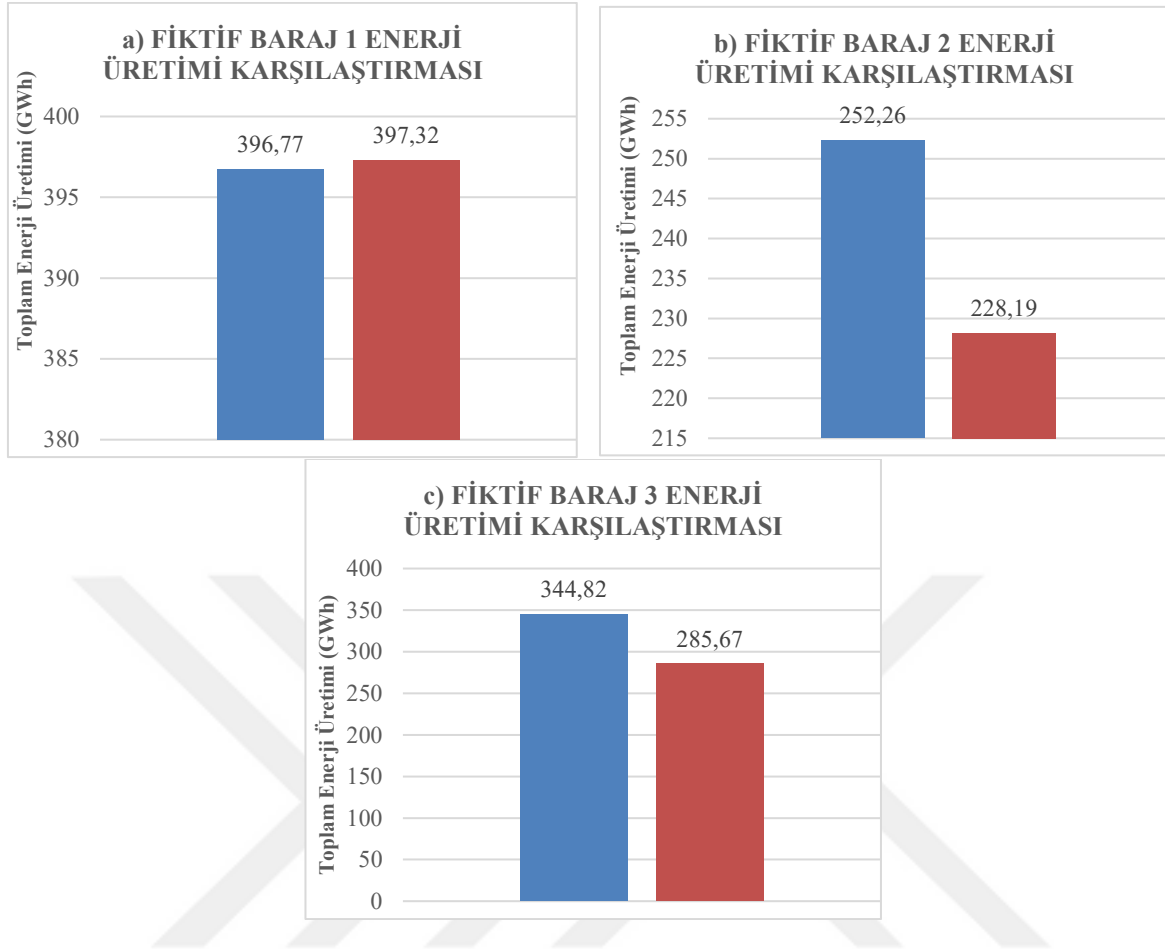
Şekil 7.1. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi

Baraj sisteminin çoklu veya tekli olarak incelenmesinin getireceği farklılıkları incelemek adına aynı çoklu baraj sistemi gelen akımlar doğrultusunda tekil baraj sistemleri gibi düşünülerek de çözülmüştür. Başka bir ifade ile sistemdeki her baraj yalnızca kendisinin enerji üretiminin en yüksek olması durumuna göre çalışılmıştır. Bunun için baraj ay başı ve ay sonu seviyeleri dışında ayrıca membadan mansaba doğru her barajdan bırakılan sular mansaptaki diğer baraja giren akım olarak verilmiş ve barajlar tekil olarak en yüksek enerji üretimini yapacak biçimde işletilmiştir. Dolayısı ile yapılan çalışmada enerji en iyilemesi ile tekil enerji üretimlerinde yalnızca membadaki ilk barajın giren akımları birbirinin aynıdır. Diğer tüm barajlara ait giren akımlar ise bu iki işletme çalışması için birbirinden farklıdır. Barajların tek tek çalışma durumları sonucu elde edilen “Tekil Enerji Üretimleri” ile tüm barajların birlikte düşünülerek enerji geliri en iyilemesi yapılarak elde edilen “Çoklu Enerji En İyilemesi” sonuçlarına göre baraj göl seviyeleri değişimleri şekil 7.2’de her baraj için ayrı ayrı verilmiştir.

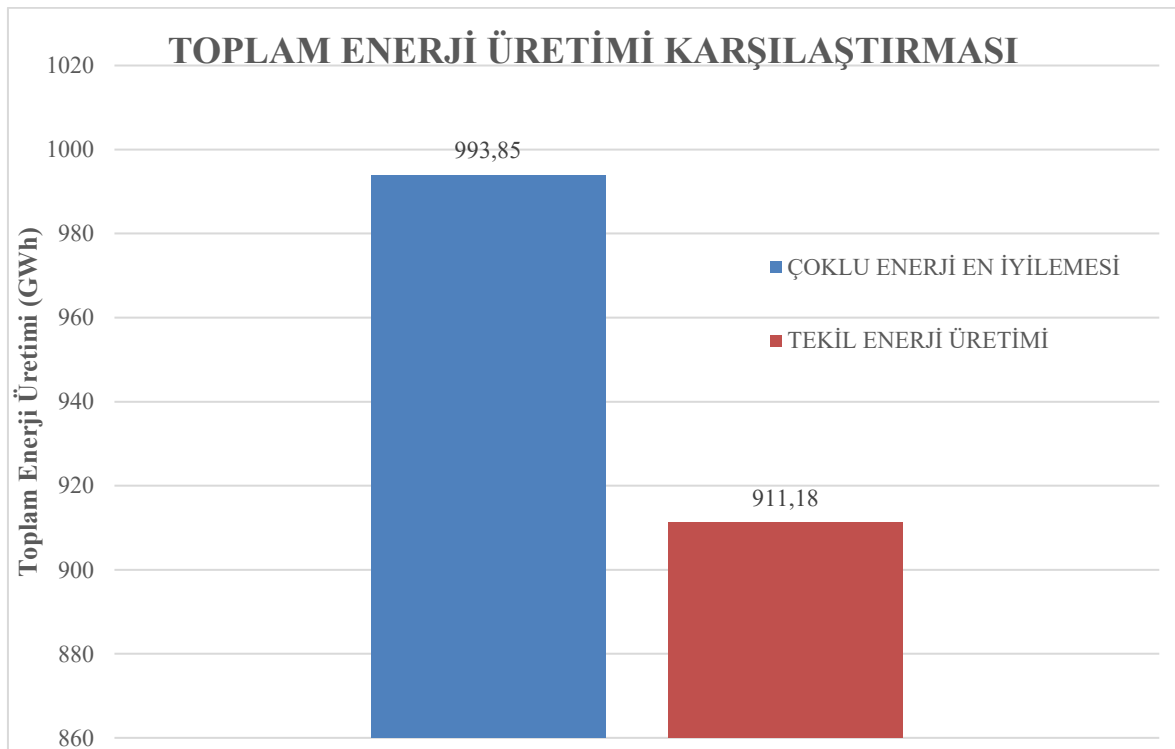
Şekil 7.2 incelendiğinde tüm barajların enerji üretimi doğrultusunda ay sonu seviyeleri yakaladığı görülmektedir. Her baraj için aynı süre zarfında ve aynı giren akımlar doğrultusunda tamamen farklı göl seviyesi değişimleri elde edilmiştir. Fiktif baraj 1’in tekil olarak çalışması incelendiğinde (şekil 7.2a) göl seviyesinin gelen akımlara bağlı olarak yaklaşık 432. saate kadar göl seviyesinin arttığı (barajın depolama yaptığı), sonrasındaki zaman diliminde ise ay sonundaki hedef seviyeyi yakalamak amacıyla gelen akımdan fazla akımı türbinleyerek baraj seviyesini indirdiği gözlenmiştir. Bu davranış biçimiyle baraj, olabildiğince düşüden kazanmış ve enerji üretimini arttırmıştır.



Şekil 7.2. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi göl seviyeleri değişimi



Şekil 7.3. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi enerji üretimleri



Şekil 7.4. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi toplam enerji üretimleri

Fiktif baraj 2'nin tekil enerji üretimi (şekil 7.2b) incelendiğinde de fiktif baraj 1'in yoğun olarak su bırakmaya başladığı 18. günden başlayarak baraj seviyesini yaklaşık 24. güne kadar ciddi miktarda arttırdığı, sonrasında ise ay sonu hedef seviyeyi yakalamak amacıyla fazla üretim yaparak hedefi yakaladığı gözlenmiştir. Fiktif baraj 1'in 18. güne kadar depolama yapması ve fiktif baraj 2'ye az miktarda su bırakması sebebiyle bu süre zarfında baraj seviyesinde ufak miktarda artışlar meydana gelmiştir. Fiktif baraj 2, tekil olarak işletildiğinde membadaki barajın davranışına bağlı olduğundan membranın yüksek miktarda su bırakacağı zamanlarda depolama yapmış, diğer zamanlarda ise üretim yaparak toplam enerji üretimini arttırmış ve hedef seviyeyi yakalamıştır.

Fiktif baraj 3'ün tekil enerji üretimi (şekil 7.2c) incelendiğinde de aynı durumun söz konusu olduğu görülmektedir. Fiktif baraj 2'nin depolama yaptığı zaman diliminde fiktif baraj 3'ün baraj seviyesinde değişiklik meydana gelmemektedir. Fiktif baraj 2 üretim yapmaya başladığı dönemde fiktif baraj 3 de üretime geçerek hedef seviyeyi yakalamıştır.

Şekil 7.2'de verilen çoklu enerji en iyilemesi durumundaki baraj göl seviyeleri tekil enerji üretiminden tamamen farklıdır. Barajların birlikte düşünülerek enerji üretimi çalışılması, her barajın en yükseği üretmesi değil, toplamda en yüksek üretilmesini amaçlamaktadır. Nitekim bu doğrultuda gerektiğinde barajlar depolama yapabilmekte, gerektiğinde ise enerji üretimi yaparak baraj seviyesini düşürebilmektedir. Fiktif barajların toplam türbinleme kapasiteleri membadan başlamak üzere sırasıyla 1120, 1320 ve 1750 m³/s olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile 200 m³/s giren akım barajın kapasitesinin yanında çok küçük kaldığından barajlar zorlanmadan hedef seviyeyi yakalayabilmektedirler. Yine baraj seviyeleri incelendiğinde en büyük baraj seviyesi değişiminin fiktif baraj 2'de (şekil 7.2b) meydana geldiği görülmektedir. Bu barajın göl hacmi yüzey alanı diğer barajlara göre daha küçüktür. Fiktif baraj 3 ise en büyük rezervuar hacmine sahip olan baraj olmakla birlikte göl seviyesindeki değişim en az olan barajdır. Bundan ötürü gelecek akıma göre en büyük düşü kazanımı fiktif baraj 2'de elde edilebileceğinden en büyük kot değişimi de fiktif baraj 2'de görülmüştür. Fiktif baraj 3'ün tek olarak çalışması ile çoklu sistem içerisinde enerji en iyilemesi arasında diğer barajlar kadar büyük fark görülmemektedir. Bunun sebebi bir önceki bölümde bahsedildiği üzere enerjinin en iyilemesi için debi ve düşüye ihtiyaç olmasıdır. Fiktif baraj 3'ün kot-alan-hacim değerlerine göre seviye değişiminin fiktif baraj 2'den daha az olmasından dolayı fiktif baraj 3'ün seviyesi fazla yükselememektedir. Aynı miktarda su hacmi ile daha çok kot kazanımı ile daha fazla enerji üretimi elde edileceğinden

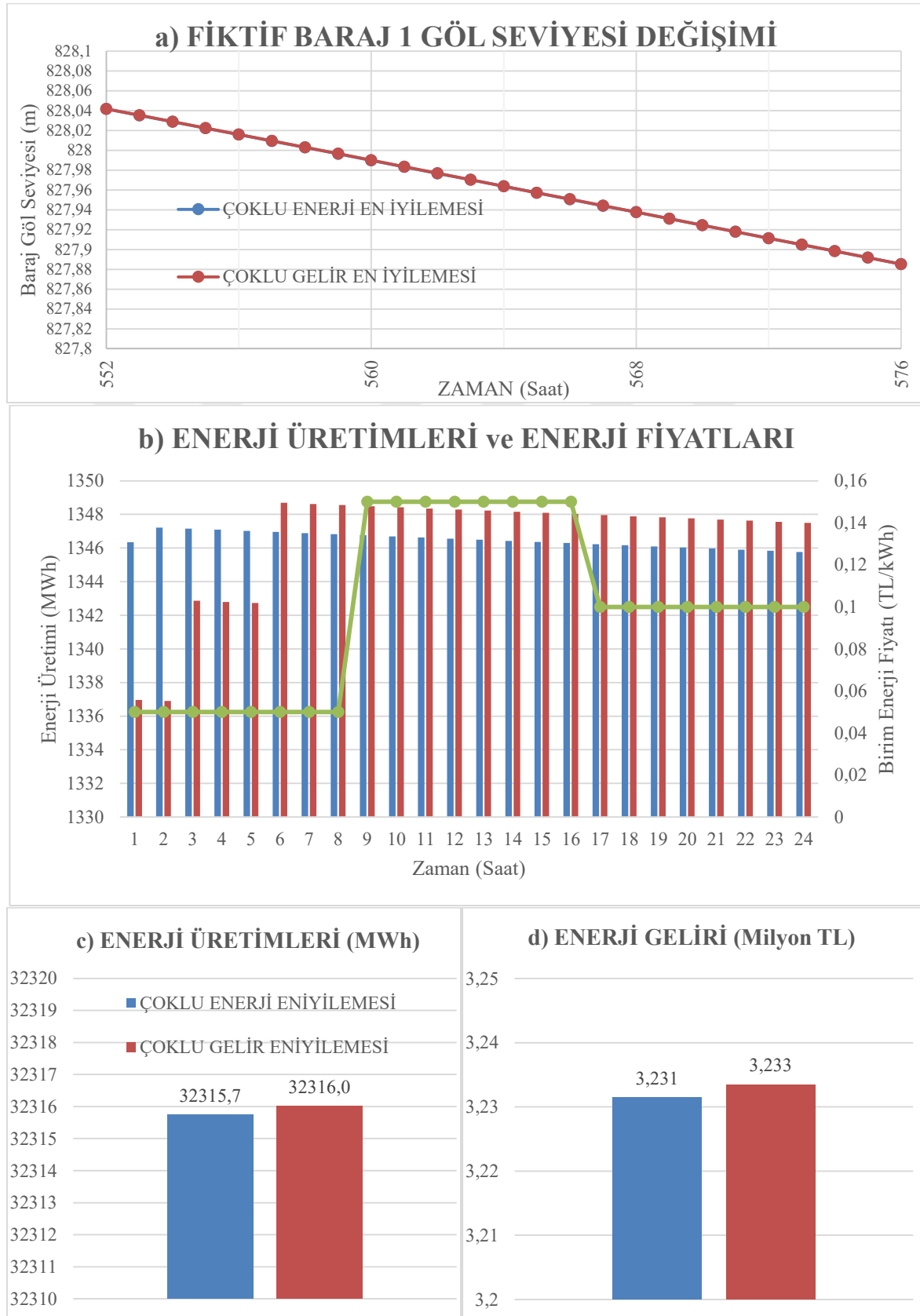
dolayı fiktif baraj 3 yerine fiktif baraj 2’de depolama yapmak daha mantıklıdır. Üçlü fiktif baraj sisteminin “Çoklu Enerji En İyilemesi” ve “Tekil Enerji Üretimi” olarak incelenmesi sonucu elde edilen en yüksek enerji üretim değerleri her baraj için şekil 7.3’de, toplam olarak ise şekil 7.4’de verilmiştir.

Şekil 7.4’te görüleceği üzere oluşturulan fiktif çoklu rezervuar sisteminde 1 aylık üretim periyodunda barajların toplu olarak idare edilmesi durumunda yaklaşık 993,85/911,18 (%9,07) oranında üretim artışı elde edilebilmektedir. Şekil 7.3’te yalnız fiktif baraj 1’in tekil olarak çalıştırılması durumunda (şekil 7.3a) elde edilen enerji üretimi çoklu enerji en iyilemesine göre daha yüksektir. Bunun sebebi en membadaki baraj olan fiktif 1’e gelen akımlar çoklu enerji en iyilemesi alternatifinde ve tekil çalışması durumunda birebir aynıdır. Koşulların aynı olmasından ötürü barajın tekil olarak daha fazla enerji üretmesi beklentiler doğrultusundadır. Fiktif baraj 1 tekil olarak daha fazla enerji üretse bile mansaba bırakacağı su miktarından kaynaklı olarak diğer barajlar aynı üretim artışını gösterememekte olup, fiktif baraj 2’de 24,07 GWh, fiktif baraj 3’de ise yaklaşık 59,15 GWh daha az enerji üretimi elde edilmiştir. Barajların bütün olarak çalıştırılması ile önemli ölçüde enerji üretimi artışı elde edilmiştir.

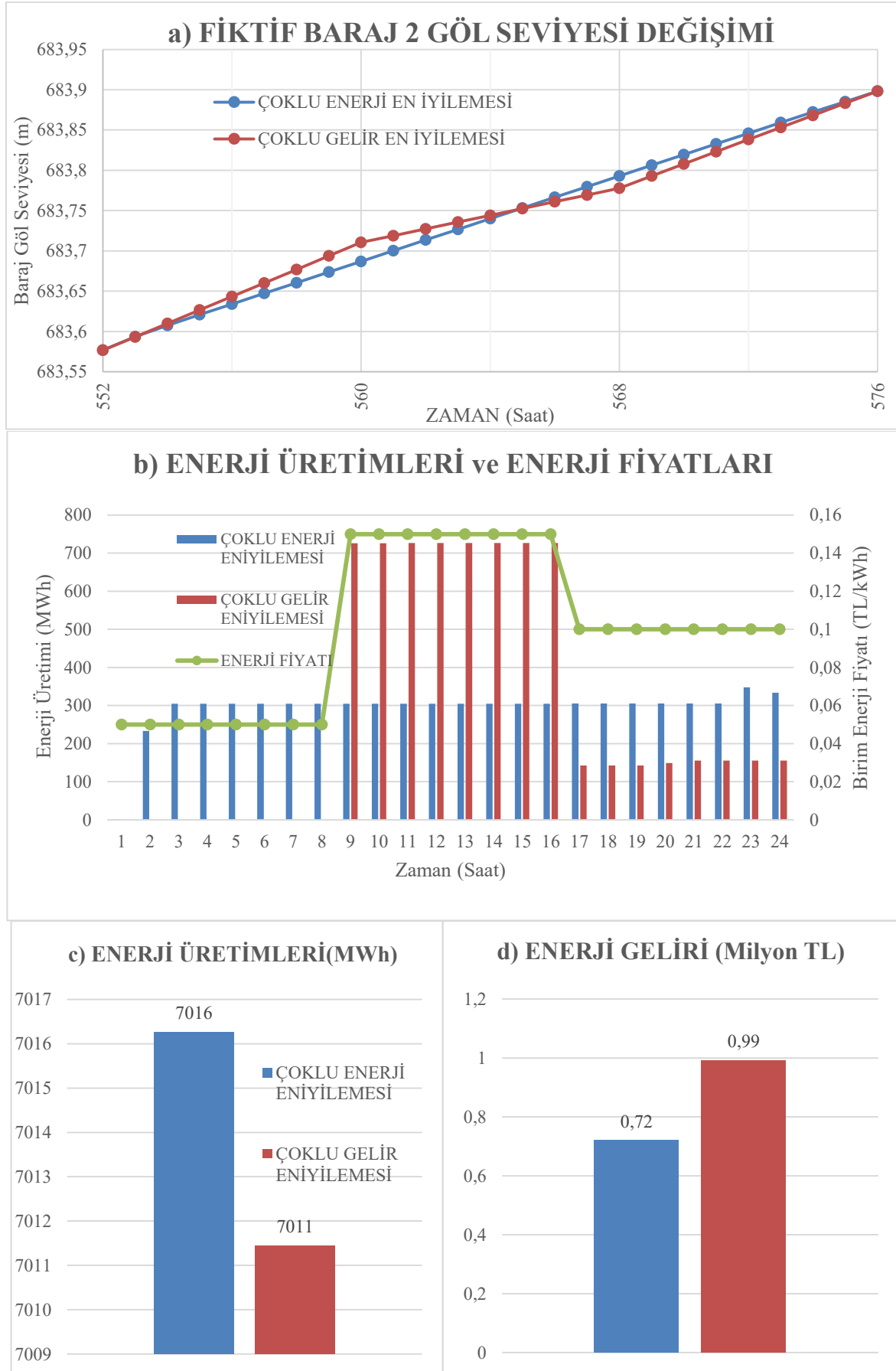
Enerji üretimi en iyilemesi sonrasında ikinci aşama olarak günlük enerji üretimi en iyilemesi sonuçları kullanılarak saatlik bazda enerji geliri artışı incelenmiştir. Bunun için şekil 7.2’de verilen gün başı ile gün sonu baraj seviyeleri korunarak enerji fiyatları dikkate alınmış ve böylece toplam enerji geliri en iyilemesi yapılmıştır. Fiyat en iyilemesi ile ilgili baraj seviyelerindeki değişim, enerji üretimlerindeki farklılık ve enerji geliri farkları fiktif baraj 1 için şekil 7.5’te, fiktif baraj 2 için şekil 7.6’da, fiktif baraj 3 için şekil 7.7’de verilmiştir.

Enerji fiyatları gerçekte talebe ve piyasa koşullarına bağlı olarak her saat için farklı oluşmaktadır. İncelenen örnekte fiyatların etkisini gözleyebilmek amacıyla 24 saatlik süre 8’er saatlik 3 kademeye bölünmüş ve 8’er saatlik kademelerin ortalama fiyatlarının şekil 7.5’de verildiği biçimde olduğu (ilk 8 saat 0,05 TL/kWh, ikinci 8 saat 0,15 TL/kWh, üçüncü 8 saat 0,1 TL/kWh) kabul edilmiştir. Günlük çalışılan çoklu enerji en iyilemesinde elde edilen gün başı ve gün sonu seviyeleri değiştirilmeden bu seviyeler arasında üretimlerin fiyatlar dikkate alınarak yeniden belirlenmesi ile fiyat geliri en iyilemesi çalışılmıştır. Gün başı ve gün sonu seviyesi değişmediğinden ötürü enerji üretimi en iyilemesi geçerliliğini korumaktadır. Bu şekilde enerji en iyilemesi yapılmış baraj sisteminin ikinci aşama olarak

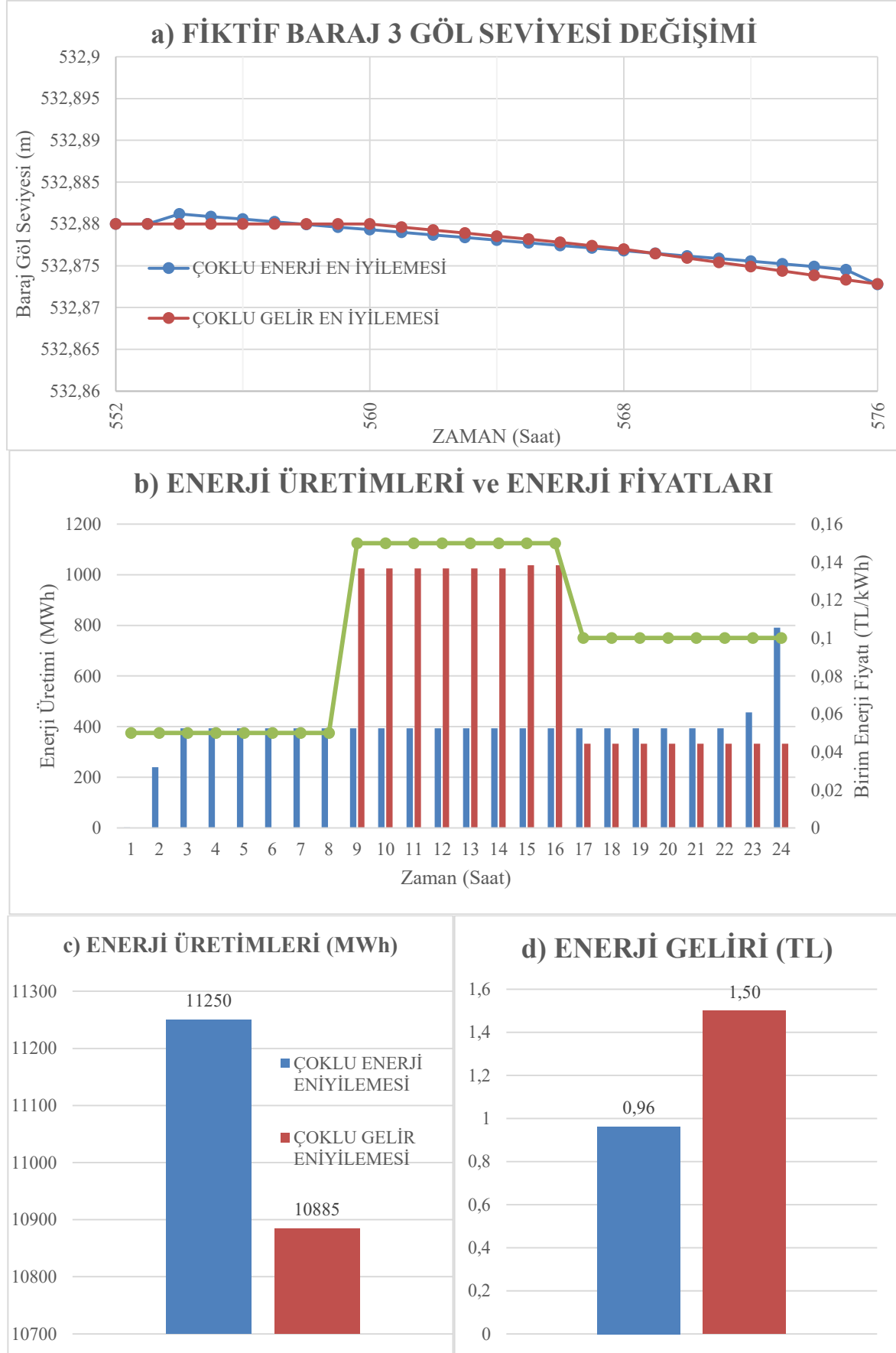
enerji geliri en iyilemesi de yapılmıştır.



Şekil 7.5. Fiktif Baraj 1 enerji geliri karşılaştırması



Şekil 7.6. Fiktif Baraj 2 enerji geliri karşılaştırması



Şekil 7.7. Fiktif Baraj 3 enerji geliri karşılaştırması

Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7’de yer alan ilk grafiklerde gün başı ve gün sonu seviyesi daha önce enerji en iyilemesinde bulunduğu halindedir. Bu seviyeler korunacak biçimde saatlik olarak enerji fiyatlarına bağlı gelir en iyilemesi yapılmıştır.

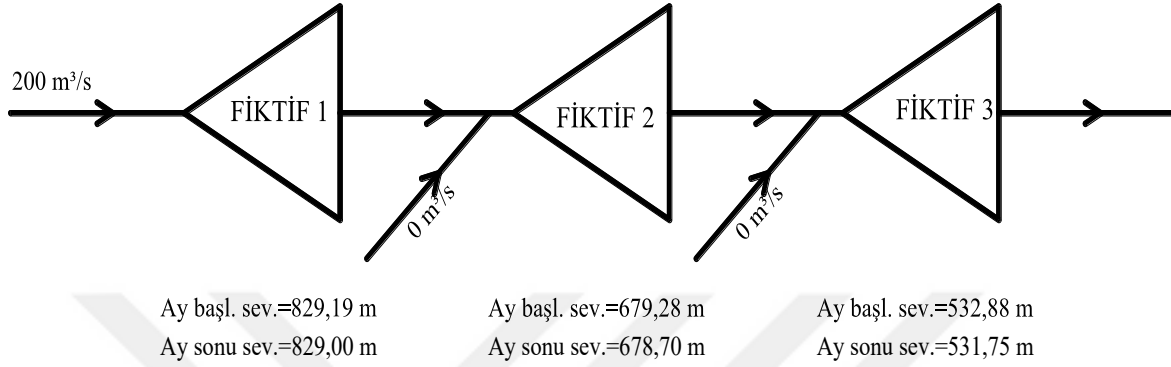
Şekil 7.5, 7.6 ve 7.7’de ayrıca gün içerisinde oluşan seviye değişimleri grafiklerde görülmektedir. Kabul edilmiş olan saatlik enerji fiyat değişimleri ve bu fiyatlara bağlı olarak oluşan enerji üretimleri ise ikinci grafiklerde görülmektedir. Son olarak ise incelenen güne ait toplam enerji üretimi ve bu enerji üretimi ile elde edilen getirinin karşılaştırması görülmektedir.

İncelenen 24 saatlik periyotta fiktif baraj 1 en yüksek miktarda debi türbinleyerek enerji üretimi yapmaktadır. Şekil 7.5c’de görüleceği üzere gelir en iyilemesi sonucu enerji değerinin zamana bağlı olarak değişmesinden ötürü toplam üretim miktarında çok küçük farklar elde edilmektedir. Fiktif baraj 2 ve 3’de ise verilen fiyatlara bağlı olarak farklı zamanlarda enerji üretimi yapılarak gün sonu seviye tutturulduğundan daha farklı seviye değişimleri gözlenmiştir. Bu değişimler neticesinde fiktif baraj 2’de daha az enerji üretilmesine rağmen daha fazla enerji geliri elde edilmiştir (şekil 7.6c ve d). Fiktif baraj 3’de ise saatlik verilen kararlar doğrultusunda az da olsa enerji üretimi artışı elde edilmiş, aynı zamanda enerji geliri artışı da elde edilmiştir (şekil 7.7c ve d).

7.2. Üç Barajlı Çoklu Fiktif Baraj Sistemi – 2

Bu bölümde bölüm 7.1’de kullanılmış olan fiktif çoklu baraj sistemi üzerinde aynı giren akım koşullarında barajların daha farklı hedef seviyelere sahip olması durumunda enerji üretimi ve enerji geliri en iyilemeleri yapılmış, barajların bölüm 7.1’deki örnekle davranışları karşılaştırılmıştır. Oluşturulan sistem geometrisi ve seviye bilgileri şekil 7.8’de verilmiştir. Oluşturulmuş olan bu sistemde fiktif baraj 2 ve 3’ün ay sonu seviyeleri bölüm 7.1’de verilen örneğe göre daha düşük olarak seçilmiş, fiktif baraj 1 ise daha yüksek olarak seçilmiştir. Böylece bölüm 7.1’deki örneğe göre fiktif baraj 1’in daha fazla depolama yapması, fiktif baraj 2 ve 3’ün ise toplam üretim içinde daha fazla oranda enerji üretimi yapacağı beklenmektedir. Barajların kot-alan-hacim grafikleri ve karakteristik bilgileri Ek-2’de verilmiştir. Oluşturulan bu sistem içerisinde barajların çoklu enerji üretimi ve tekil enerji en iyilemeleri ayrı ayrı çalışılmıştır. Barajların tekil olarak çalıştırılmaları ile çoklu

baraj sistemi içerisinde değerlendirip işletilmeleri bölüm 7.1'deki çalışmada da görüldüğü üzere üretim yapısı açısından farklı sonuçlar doğurmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışma sonucu çoklu baraj sisteminde yer alan tüm barajların göl seviyeleri değişimleri şekil 7.9'da verilmiştir.



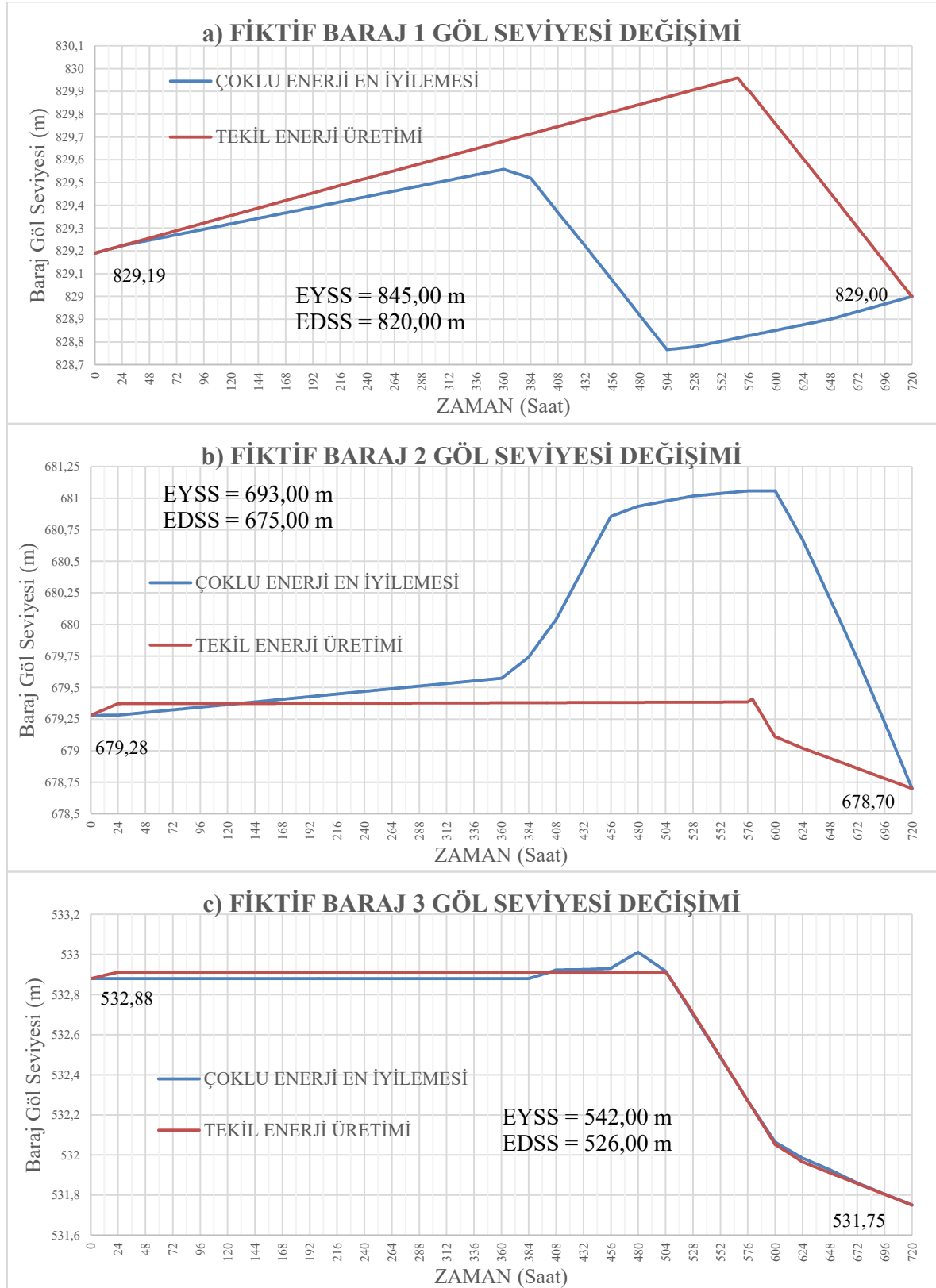
Şekil 7.8. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi – 2

Tekil olarak işletme durumunda çalışılan örneklerde yalnızca mambadaki ilk barajdan daha iyi verim alınabildiği, buna bağlı olarak geriye kalan diğer barajlardan ise daha az enerji üretimi elde edilebildiği görülmüştür. Yalnızca mambadaki ilk baraj için çoklu enerji en iyilemesi ile tekil enerji en iyilemesinde giren akımlar birbirinin tamamen aynıdır. Diğer barajlar için ise mambadaki barajların çoklu değerlendirme ile tekil olarak değerlendirilmesi sonucu bırakılan akımlardaki farklılıklardan kaynaklı olarak giren akımlar farklıdır. Bu farklılığa bağlı olarak baraj ay başı ve ay sonu seviyelerinin aynı olmasına rağmen fiktif baraj 2 ve 3'ün enerji üretimleri tekil olarak işletilmeleri durumunda daha az çıkmaktadır. Bunun yerine sistemi toplu olarak değerlendirip karar mekanizmasını bu doğrultuda geliştirmek, toplam enerji üretimini aynı hedef su seviyeleri korunarak arttırmaktadır. Enerji en iyilemesi sonucu elde edilen enerji üretimleri karşılaştırmaları şekil 7.10'da verilmiştir. Toplam enerji üretimi karşılaştırması ise şekil 7.11'de verilmiştir.

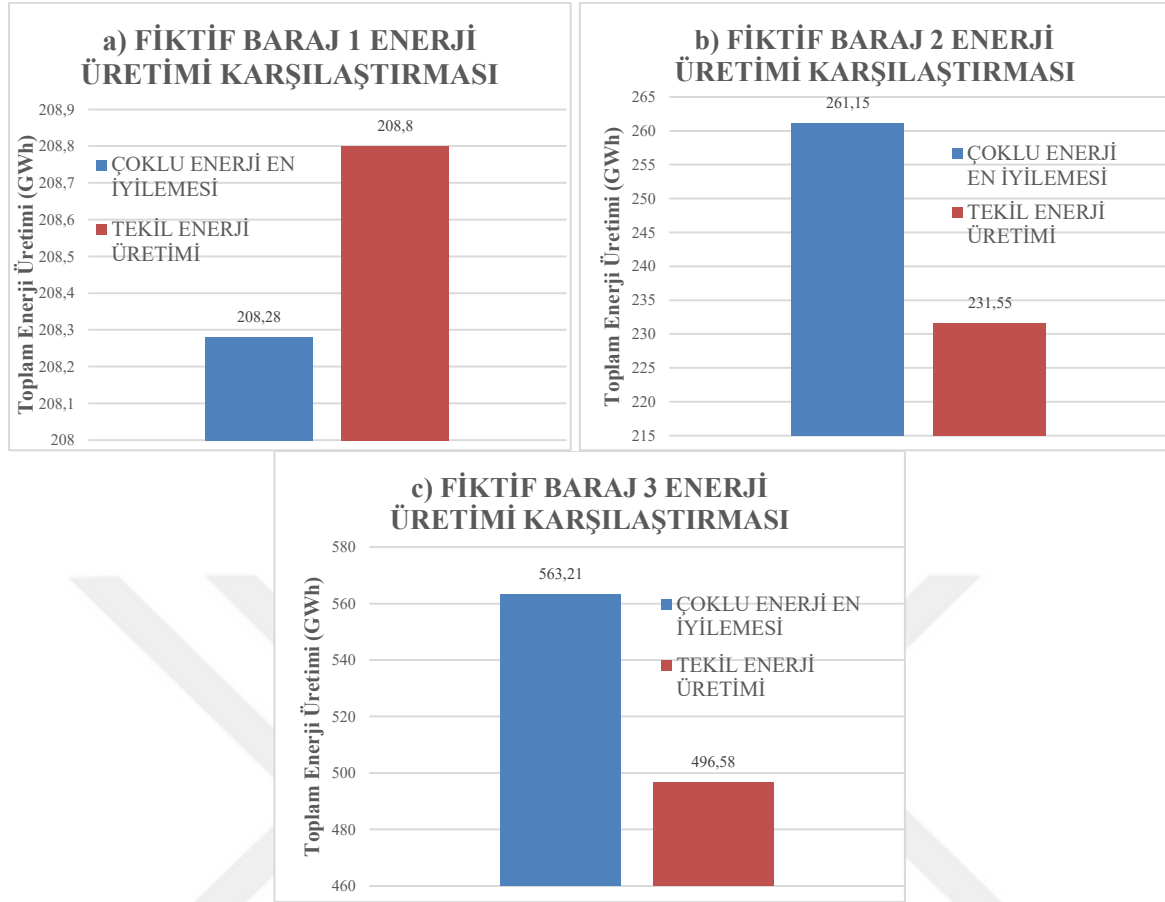
Üç barajdan oluşan çoklu baraj sisteminde elde edilen toplam enerji üretimi artışı 1032,64/936,93 (%10) oranındadır. Bir önceki yapılan çalışmada ise bu artış oranı %9,07 mertebesindeydi. İncelenen iki sistemdeki tek farklılık, barajların ay sonu hedef seviyeleridir.

Hedef seviyelerindeki farklılık barajların çalışma dönemi içerisinde hedefi tutturmak amacıyla depolama veya üretim yapmasına sebep olmaktadır. Bundan ötürü aslında hedef

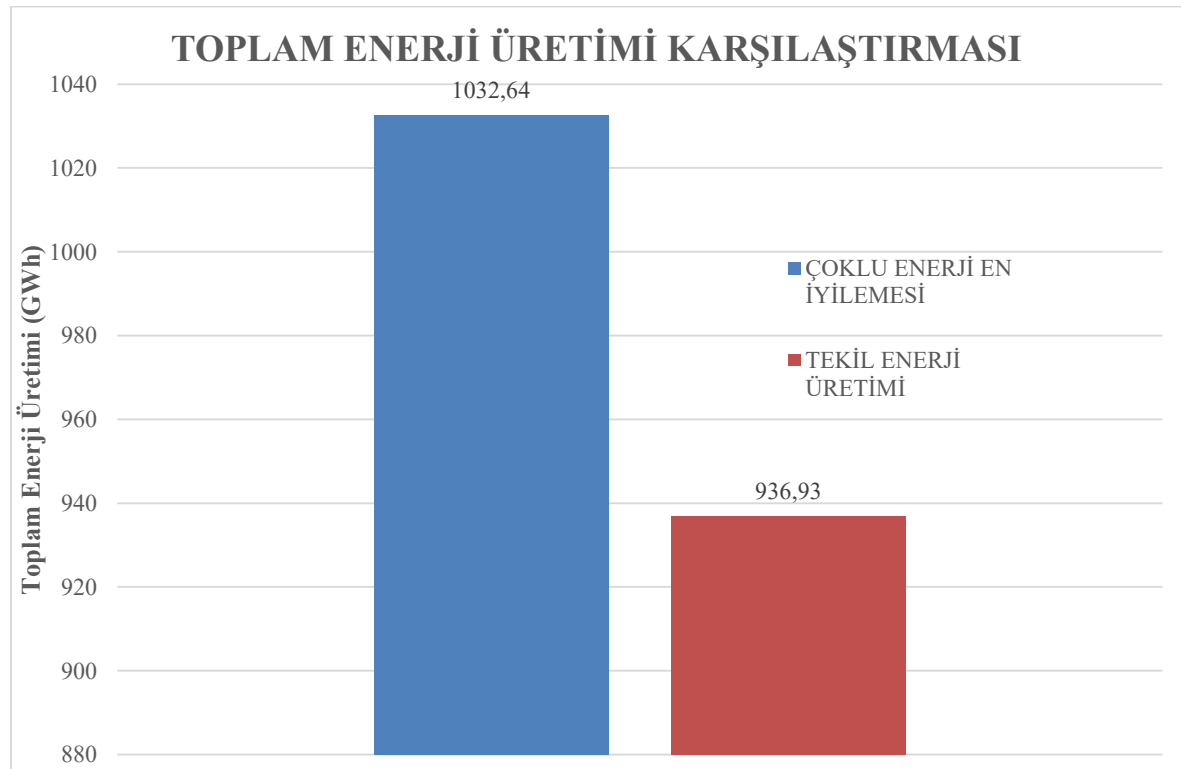
seviyelere bağlı olarak barajların üretimlerinin toplam sistem içerisindeki oranları değişmektedir.



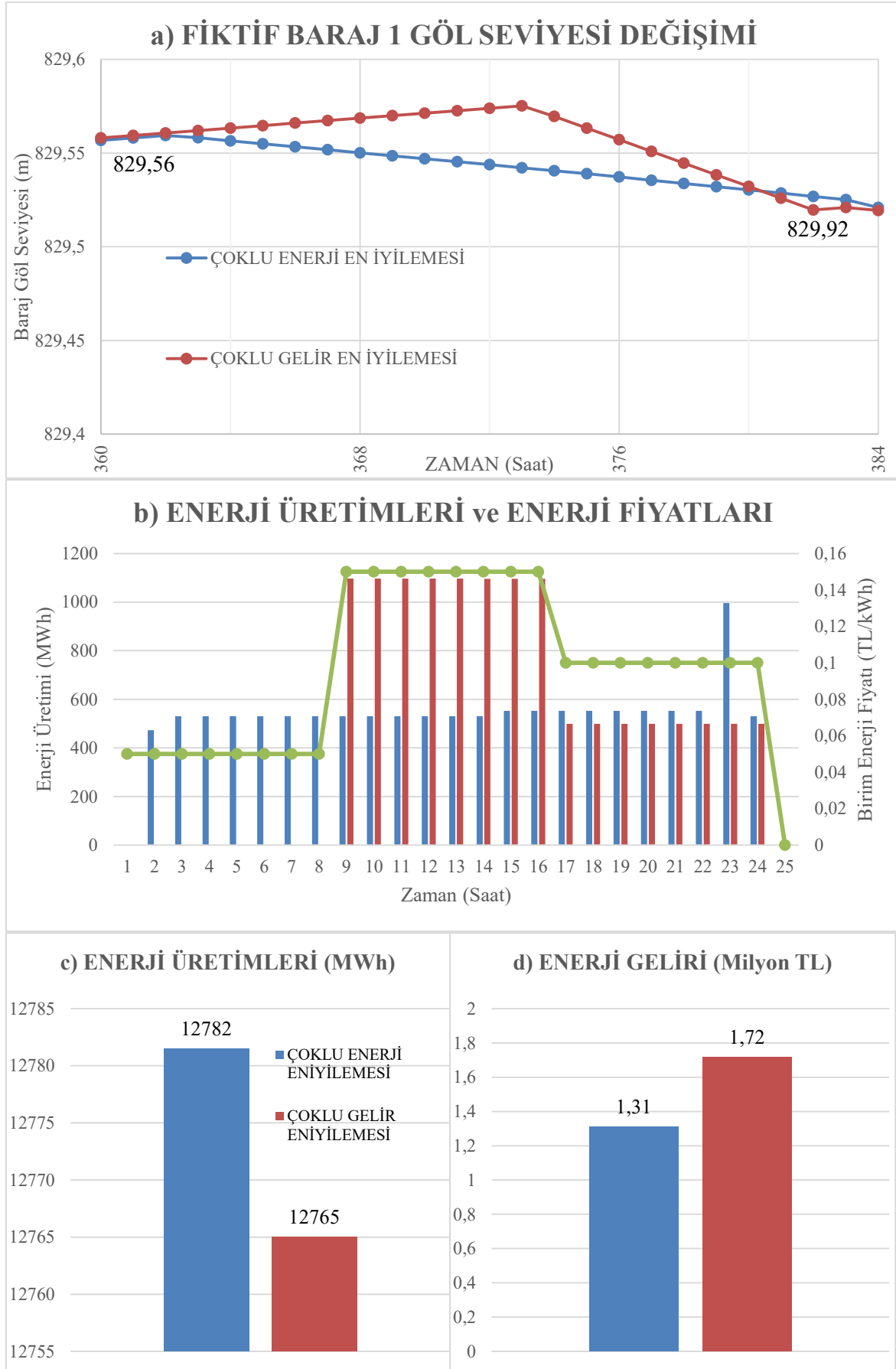
Şekil 7.9. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi göl seviyeleri değişimi



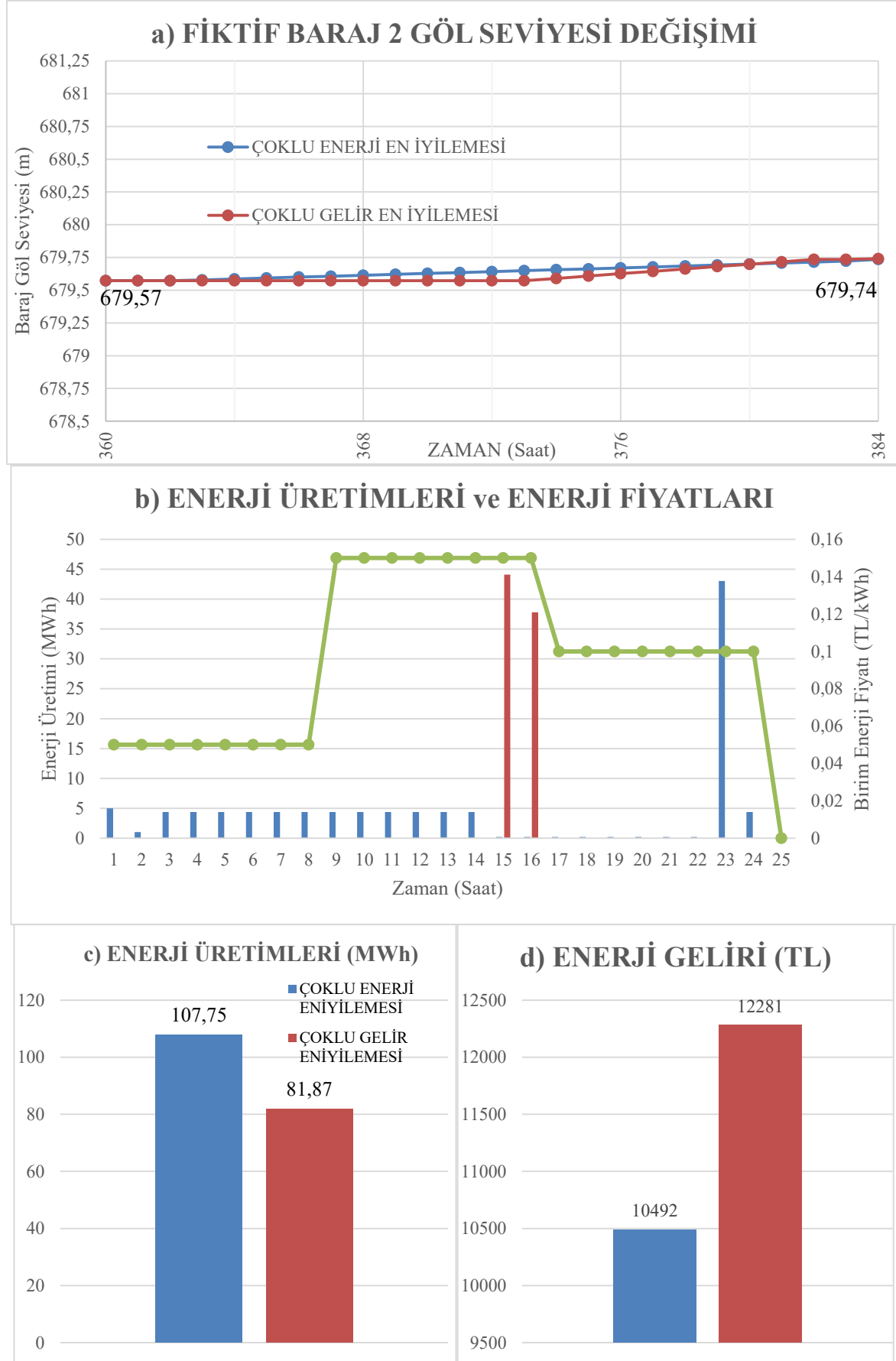
Şekil 7.10. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi enerji üretimleri



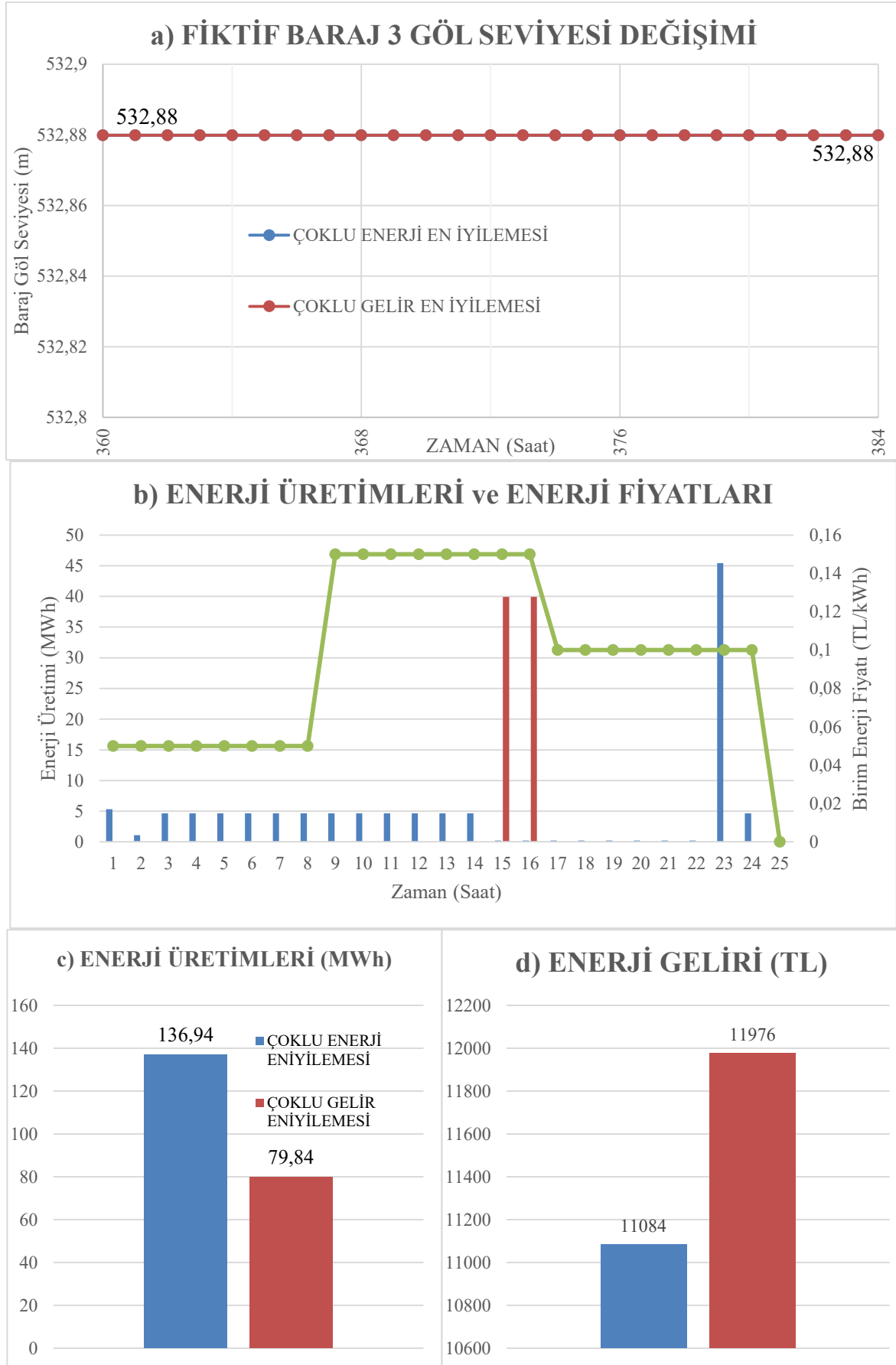
Şekil 7.11. Üç barajlı fiktif çoklu baraj sistemi toplam enerji üretimleri



Şekil 7.12. Fiktif Baraj 1 enerji geliri karşılaştırması

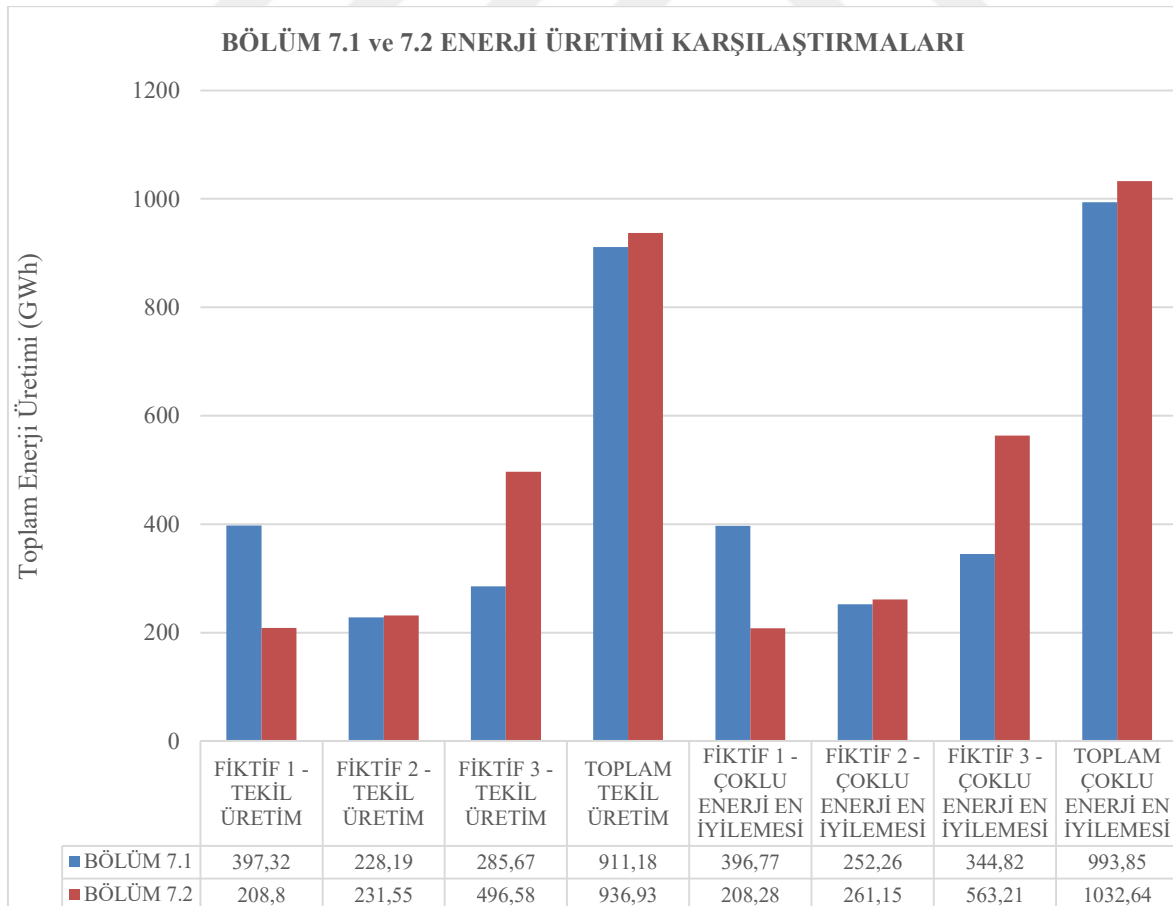


Şekil 7.13. Fiktif Baraj 2 enerji geliri karşılaştırması



Şekil 7.14. Fiktif Baraj 3 enerji geliri karşılaştırması

Şekil 7.15’de Bölüm 7.1 ve 7.2’de yapılan iki çalışmada elde edilen enerji üretimleri karşılaştırmalı olarak birlikte verilmiştir. Şekil 7.15’de görüleceği üzere Bölüm 7.1’de tekil üretimlerde hedef seviyelere bağlı olarak toplam üretim üç barajda sırasıyla 397,32/911,18 (%44), 228,19/911,18 (%25) ve 285,67/911,18 (%31) oranlarında üretilmekteydi. Bölüm 7.2’de yapılan çalışmada ise bu oranlar 208,8/936,93 (%22), 231,55/936,93 (%25) ve 496,58/936,93 (%53) oranlarında gerçekleşmiştir. Hedef seviyelerin değişimi ile barajların çoklu sistem içerisinde enerji üretimlerinde üstlendikleri roller değişmiş, buna bağlı olarak enerji üretimi dağılımları değişmiştir. Bölüm 7.1’de verilen örnekte çoklu enerji eniyilemesinde fiktif barajlar sırasıyla toplam üretimin yaklaşık 396,77/993,85 (%40), 252,26/993,85 (%25) ve 344,82/993,85 (%35) oranlarında gerçekleştirmektedir. Bu oranlar hedef seviyelerin değişmesi ile sırasıyla yaklaşık 208,28/1032,64 (%20), 261,15/1032,64 (%25), 563,21/1032,64 (%55) olmuştur. Bu oranlardaki değişim enerji eniyilemesi ile elde edilen toplam enerji artış oranını etkilemektedir. Dolayısıyla çoklu en iyileme çalışması sonucunda barajlardaki enerji üretimi değişimlerinin hedef seviyelere ve çoklu baraj sistemi içerisindeki toplam enerji üretimine olan oranlarına bağlı olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7.15. Bölüm 7.1 ve 7.2 enerji üretimleri karşılaştırması

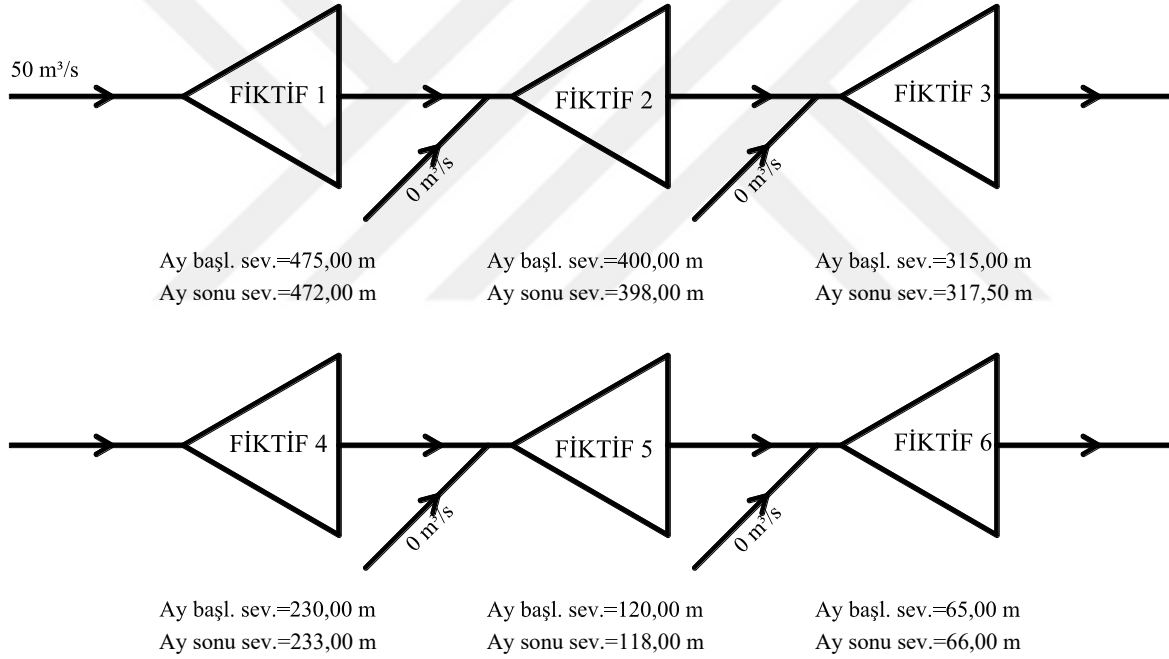
Çoklu enerji en iyilemesi çalışmalarından sonra enerji en iyilemesi sonucu elde edilmiş olan gün başı ve gün sonu baraj göl seviyeleri değiştirilmeden saatlik enerji fiyatları dikkate alınarak saatlik enerji üretimlerinin değiştirilmesi ile toplam getirinin artırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yapılmış olan çalışmalar fiktif baraj 1 için şekil 7.12’de, fiktif baraj 2 için şekil 7.13’de ve fiktif baraj 3 için şekil 7.14 ‘de verilmiştir. Şekil 7.12, 7.13 ve 7.14’de verilen saatlik enerji üretimleri doğrultusunda elde edilmiş olan göl seviyesi değişimleri, enerji üretimleri ve getiriler incelendiğinde fiktif baraj 3 dışındaki barajlarda göl seviyelerinde ufak değişiklikler oluşmakta olduğu gözlenmektedir. Bu değişiklikler, enerji fiyatlarının düşük olduğu dönemlerde depolama sebebiyle yükselme şeklinde olmakla birlikte fiyat katsayılarının en yüksek olduğu dönemde ise üretim artışları ile gün sonu hedef seviyeleri yakalanmaktadır. Fiktif baraj 3’de ise fiktif baraj 2’den gelmekte olan akımların az olması ve fiktif baraj 3’ün göl hacminin gelen debiye kıyasla çok büyük olmasından dolayı göl seviyesinde değişiklik meydana gelmemektedir. Yine de fiyatların değişimleri dikkate alındığında enerji üretimleri ve getiride farklılıklar meydana geldiği görülmektedir. Netice itibarıyla çoklu enerji en iyilemesi ile daha fazla enerji üretimi elde edilmesine rağmen günlük toplam getiri daha düşük olmaktadır. Saatlik gelir en iyilemesi yapılması ile gün içerisinde saatlik olarak alınacak kararlar ile enerji en iyilemesine göre elde edilen günlük toplam enerji üretimlerinde azalma meydana gelmesine karşılık daha fazla getiri elde edilebilmektedir.

7.3. Altı Seri Barajlı Çoklu Baraj Sistemi – 1

Bölüm 7.1 ve 7.2’de incelenen örnekler sonrasında daha karmaşık bir sistem üzerinde çoklu baraj sisteminin toplu olarak en iyilemesinin doğuracağı sonuçları inceleyebilmek adına şekil 7.16’da verilmiş olan ve 6 adet seri şekilde bağlantılı baraj sistemi incelenmiştir. İncelenmiş olan söz konusu baraj sistemi, Seyhan havzasından esinlenerek fiktif olarak düzenlenmiştir. Sistemdeki barajların karakteristik büyüklükleri membadan başlayarak sırasıyla Menge, Köprü, Kavşak, Yedigöze, Çatalan ve Seyhan Barajları’na benzetilerek fiktif baraj sistemi oluşturulmuştur. Fiktif baraj sistemine ait barajların kot-alan-hacim grafikleri ve karakteristik bilgileri Ek-3’te verilmiştir. Şekil 7.16’da birbirine seri bağlantılı çoklu baraj sistemi şematik şekli görülmektedir.

Çoklu baraj sisteminde yalnızca membadaki Fiktif 1 barajına bir aylık süre boyunca 50 m³/s’lik giriş akımı olduğu, diğer barajlara ise ayrı bir ara havza girişi olmadığı

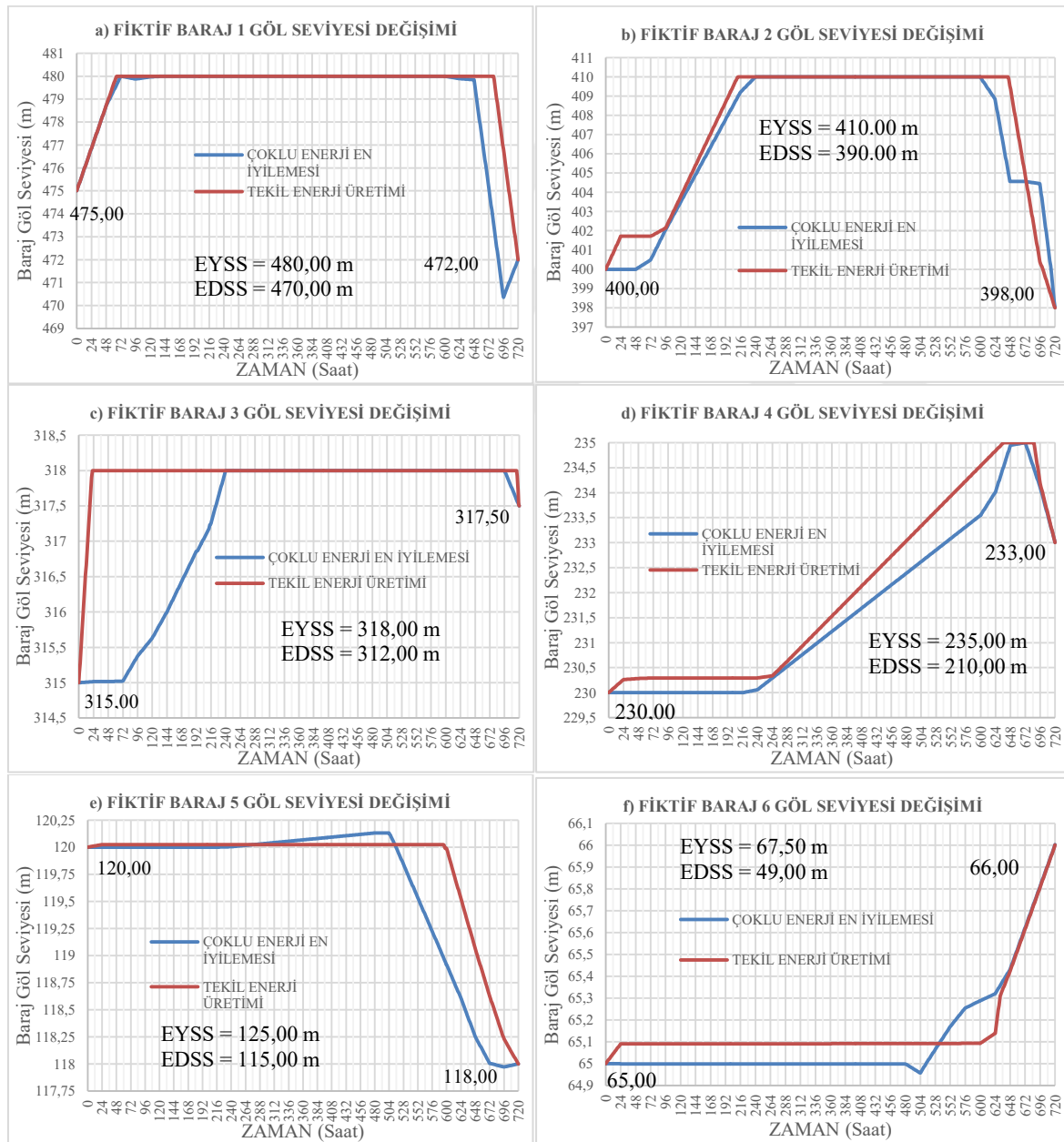
varsayılmıştır. Bu kabuller ışığında çoklu baraj sisteminin çoklu enerji en iyilemesi ile tekil enerji en iyilemeleri çalışılmıştır. Şekil 7.17’de yapılan çalışmaların sonuçları 1 aylık periyotta olarak baraj göl seviyelerinin değişimleri verilmiştir. Bu çalışmada şekil 7.16’da verilmiş olan ay başı ve ay sonu seviyeleri birebir yakalanacak biçimde aradaki saatlik dilimlerde türbinlenecek su miktarı değişken olarak alınmıştır. Bu şekilde hazırlanmış program tarafından çeşitli miktarlarda su bırakılarak seviyeler ve buna bağlı olarak enerji üretimleri hesaplanmıştır. Bulunan enerjilerden en yüksek olana ait göl seviyeleri dikkate alınıp, bu seviyeler etrafında oluşturulan koridor ile çoklu enerji en iyilemesi yapılmıştır. Aynı biçimde tekil enerji en iyilemesinde ise barajlar yalnızca tekil olarak değerlendirilmiş, seri bağlantılı oldukları için çıkış akımları bir sonraki barajın giriş akımı olarak belirlenmiştir.



Şekil 7.16. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sistemi (Üretim Şekli 1)

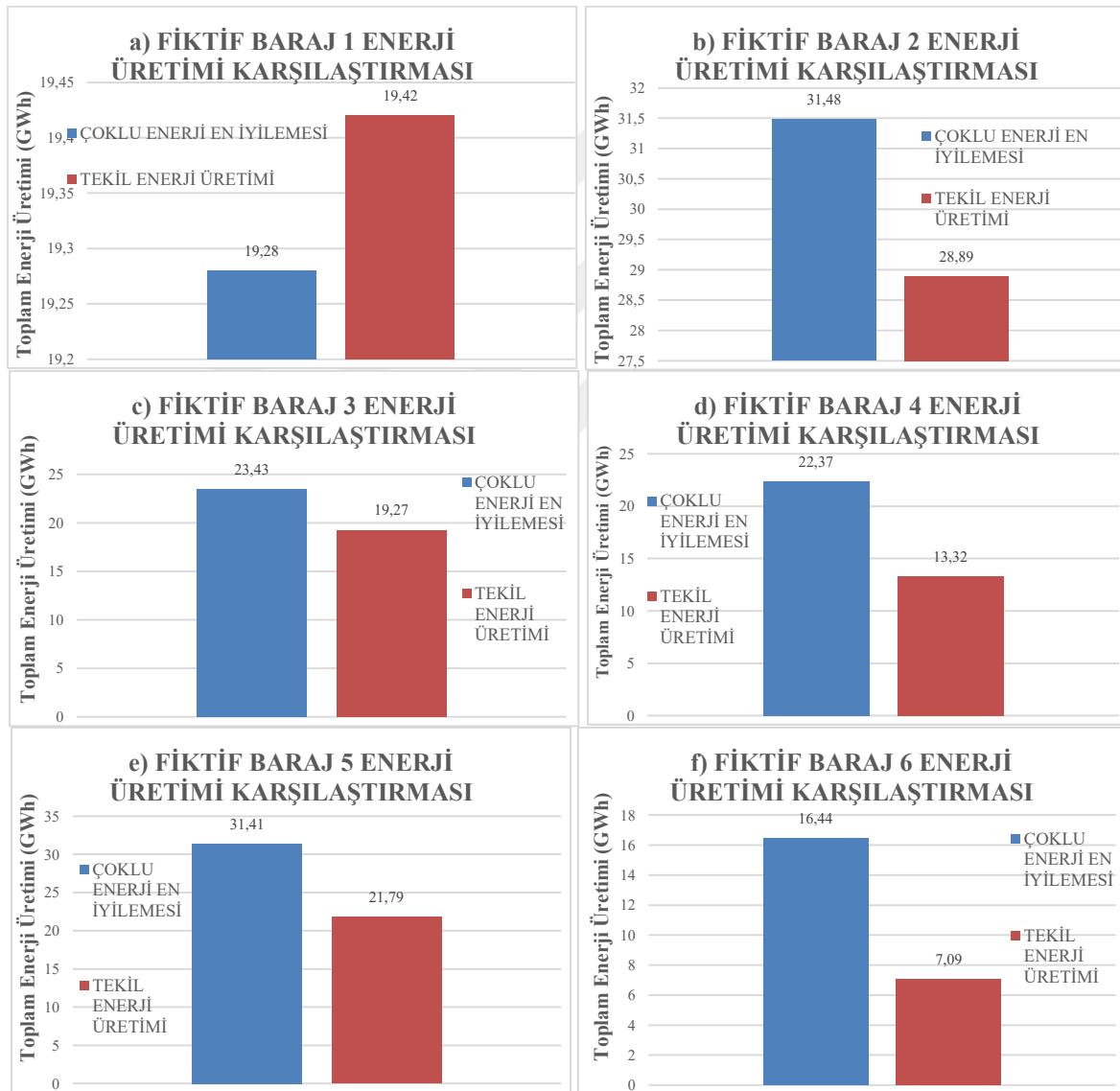
Şekil 7.17’deki baraj göl seviye değişimleri incelendiğinde çoklu enerji en iyilemesi ile tekil enerji en iyilemesi sonuçlarının tamamen farklı oldukları görülmektedir. Tekil enerji üretiminde fiktif baraj 1, gelen suların büyük bölümünü tutup seviyesini yükseltmektedir. Baraj en yüksek su seviyesi olan 480,00 m kotuna gelindiğinde daha fazla su tutamadığı için gelen suyla aynı miktarda suyu türbinleyerek baraj seviyesini sabit tutmaktadır. Bu şekilde düşüyü olabilecek en yüksek hale getirmektedir. Aylık sürenin sonuna doğru daha fazla su türbinleyerek baraj seviyesini hedef seviyeye getirmektedir. Fiktif baraj 2 bu doğrultuda çalışmakta olup, fiktif baraj 1’in en yüksek seviyeye ulaştığı zaman diliminde bıraktığı sular

ile seviyesini yükseltmektedir. Fiktif baraj 3, 4, 5 ve 6 da bu doğrultuda membaında yer almakta olan barajın davranışına paralel olarak konumlanmakta ve karar vermektedir. Çoklu enerji en iyilemesinde ise toplam üretimin fazla olması açısından enerji en iyilemesinden farklı olarak mansaba bırakılan sular ve dolayısı ile baraj göl seviyeleri değişiklik göstermektedir. Fiktif baraj 1’de tekil üretimdekine benzer biçimde baraj dolmakta, ancak daha erken bir zamanda boşalıp tekrar hedef seviye yakalanmaktadır. Fiktif baraj 1’in göl hacmi nispeten küçük olduğundan seviye değişimleri diğer barajlara göre daha hızlı olabilmektedir.



Şekil 7.17. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 1’e göre göl seviyeleri değişimi

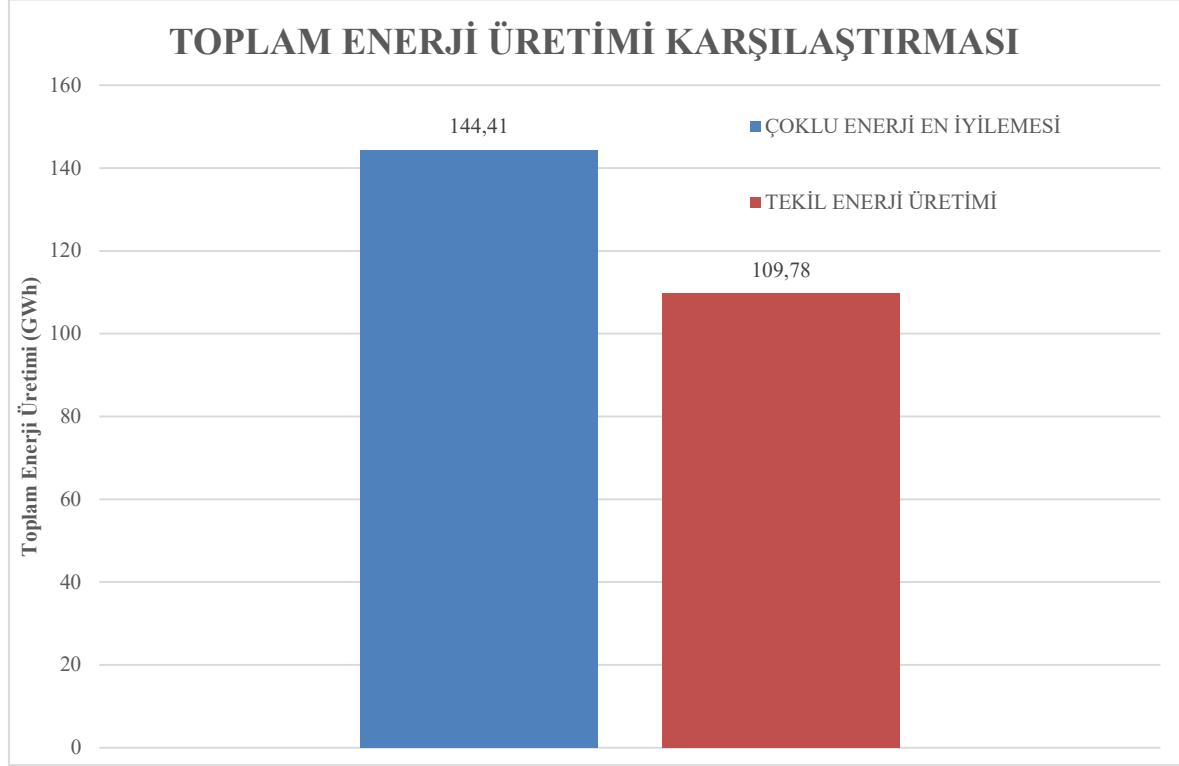
Havza büyüklükleri bakımından fiktif baraj 4, 5 ve 6 nolu barajlar, diğer barajlara göre daha büyük göl hacimlerine sahip olduklarından fiktif baraj 5 ve 6'nın seviye değişimlerinde görüleceği üzere göl hacminin en yüksek veya en düşük seviyesine ulaşamamaktadır. Aktif hacim içerisinde kalınmaktadır. Ancak membadaki ilk üç baraj daha küçük olduğundan göl seviyeleri değişimleri daha sınırlı alanlarda gerçekleşebilmektedir. Fiktif baraj 4 ise en yüksek su seviyesi olan 235 m'yi aylık sürenin sonuna doğru yakalayabilmekte olup, hedef seviyesinin yakalanabilmesi için kısa bir süre bu seviyede kalıp, göl seviyesini suyu türbinleyerek düşürmüştür.



Şekil 7.18. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 1'e göre enerji üretimleri

Şekil 7.17'de verilen grafiklerdeki değişimler barajların çoklu olarak işletilmesi perspektifi ile tekil olarak en iyileme biçiminde işletilmesi arasında çok farklı sonuçlar elde edildiğini

bir kez daha göstermiştir. Bu davranışlara göre elde edilmiş olan enerji üretimleri şekil 7.18’de, sistemin toplam enerji üretimi ise şekil 7.19’da verilmiştir.

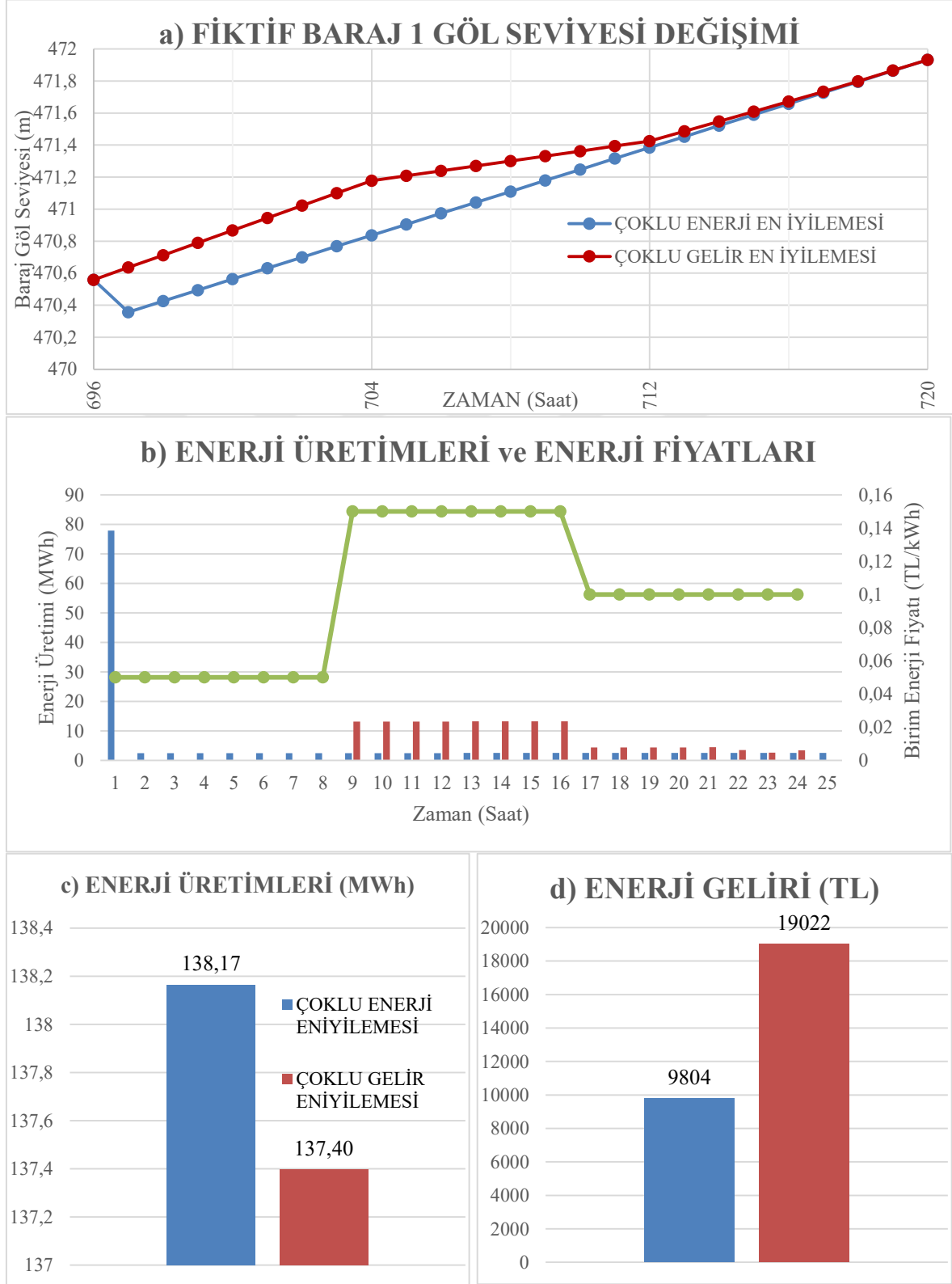


Şekil 7.19. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 1’e göre toplam enerji üretimleri

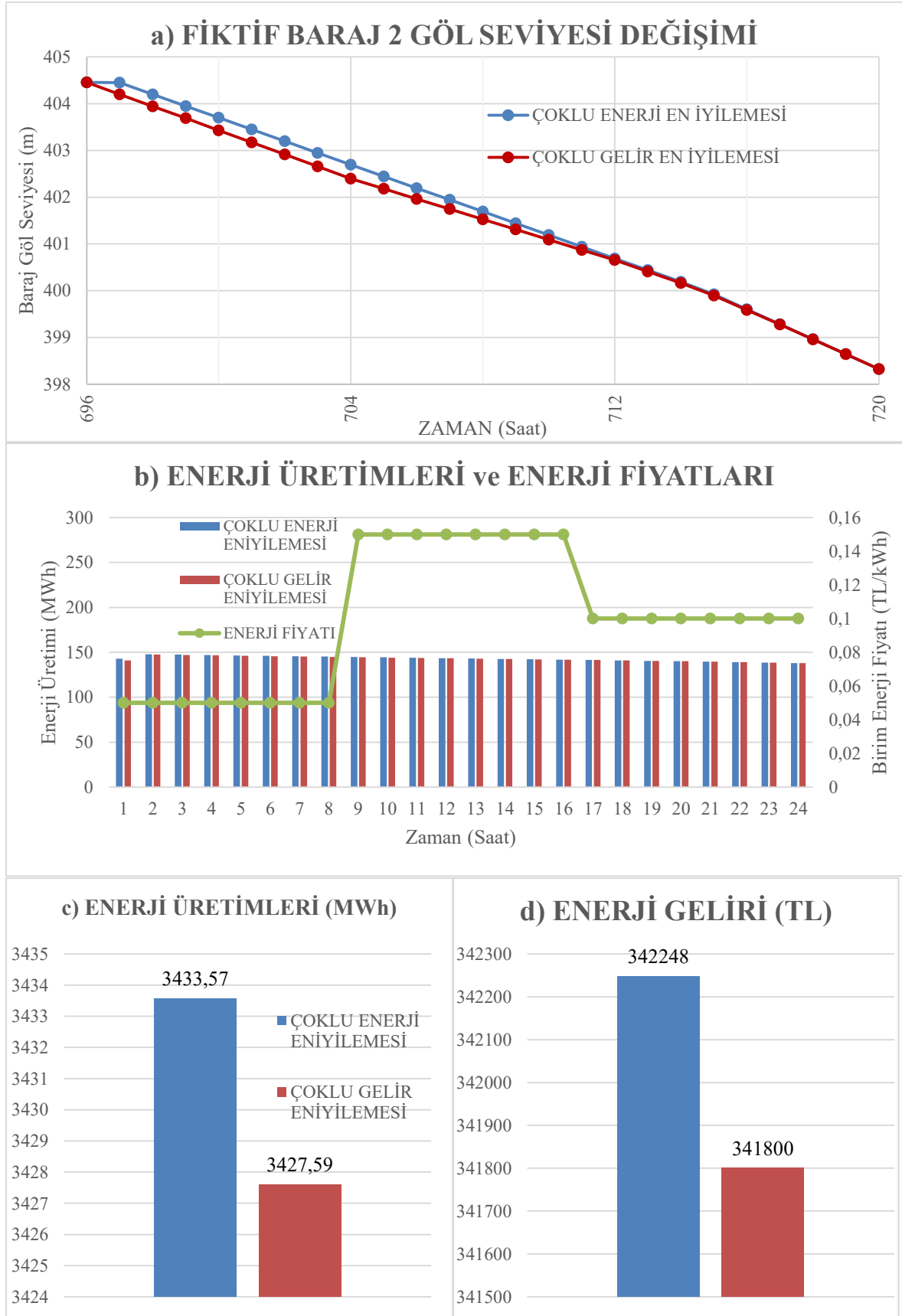
Şekil 7.18 ve 7.19’da verilmiş olan enerji üretimleri karşılaştırmaları incelendiğinde tekil üretimlerde fiktif baraj 1 dışındaki diğer barajlar, çoklu enerji üretimine göre daha az enerji üretimi yapmışlardır. Yalnızca fiktif baraj 1’in her iki üretim şeklinde de giren akımları birbirleriyle aynıdır. Diğer barajlarda membadaki barajın farklı üretimler yapmasına bağlı olarak giren akımlar değişmektedir. Tekil üretimde mansap düşünülmeden yapılmakta olan üretim, mansaptaki barajların kot kazanabileceği dönemlerde membada tutulmakta olan sudan kaynaklı olarak düşmektedir. Toplam üretim de dikkate alındığından çoklu enerji en iyilemesi ile tekil enerji en iyilemesi arasında fark ortaya çıkmaktadır. Şekil 7.19’da görüleceği üzere aynı hedef seviyelerin kullanılması ile çoklu enerji en iyilemesi, tüm barajların üretimleri dikkate alındığında tekil enerji üretimine kıyasla $144,41/109,78$ (%31.5) oranında daha fazla enerji elde edilmiştir.

Enerji üretimindeki artışa bağlı olarak söz konusu fiktif baraj sistemi için enerji geliri en iyilemesi de ayrıca çalışılmıştır. Yapılan çalışmada çoklu enerji en iyilemesi ile her gün başı

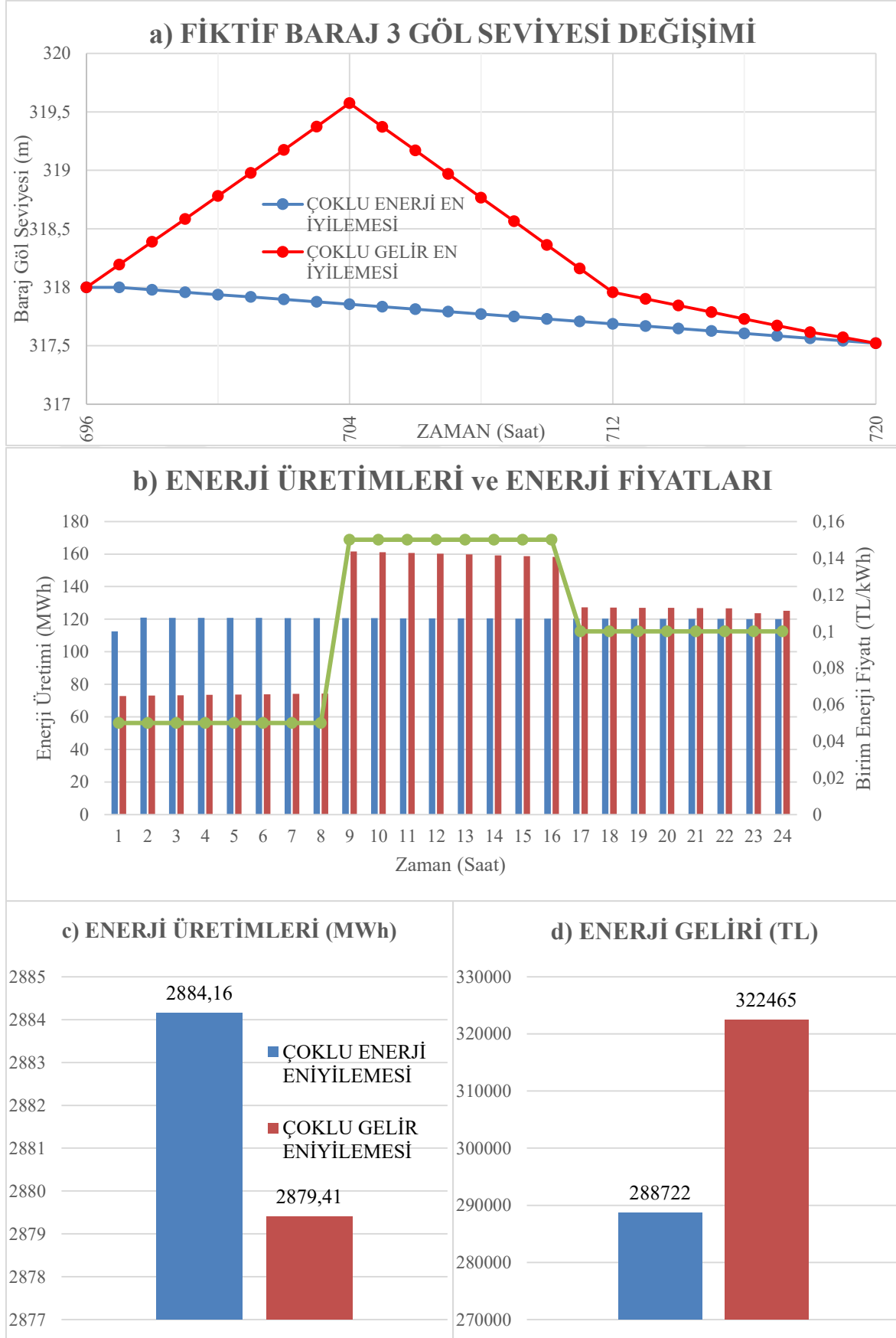
ve sonu için elde edilen seviyeler kullanılmış, bu seviyeler değiştirilmeden saatlik fiyatlar çerçevesinde gün içerisinde yapılan oynamalar ile enerji üretimleri yapılmıştır.



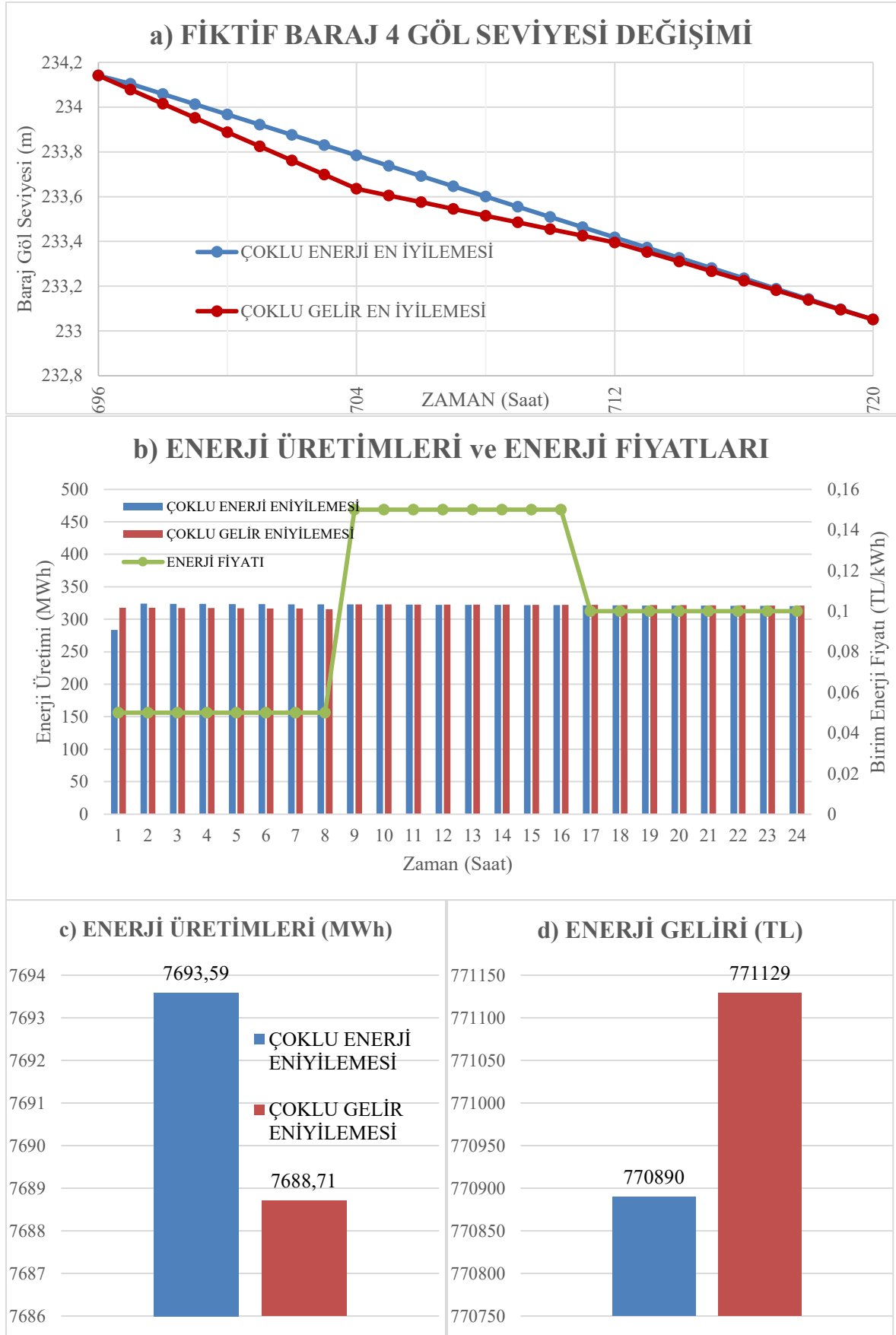
Şekil 7.20. Fiktif baraj 1'in çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması



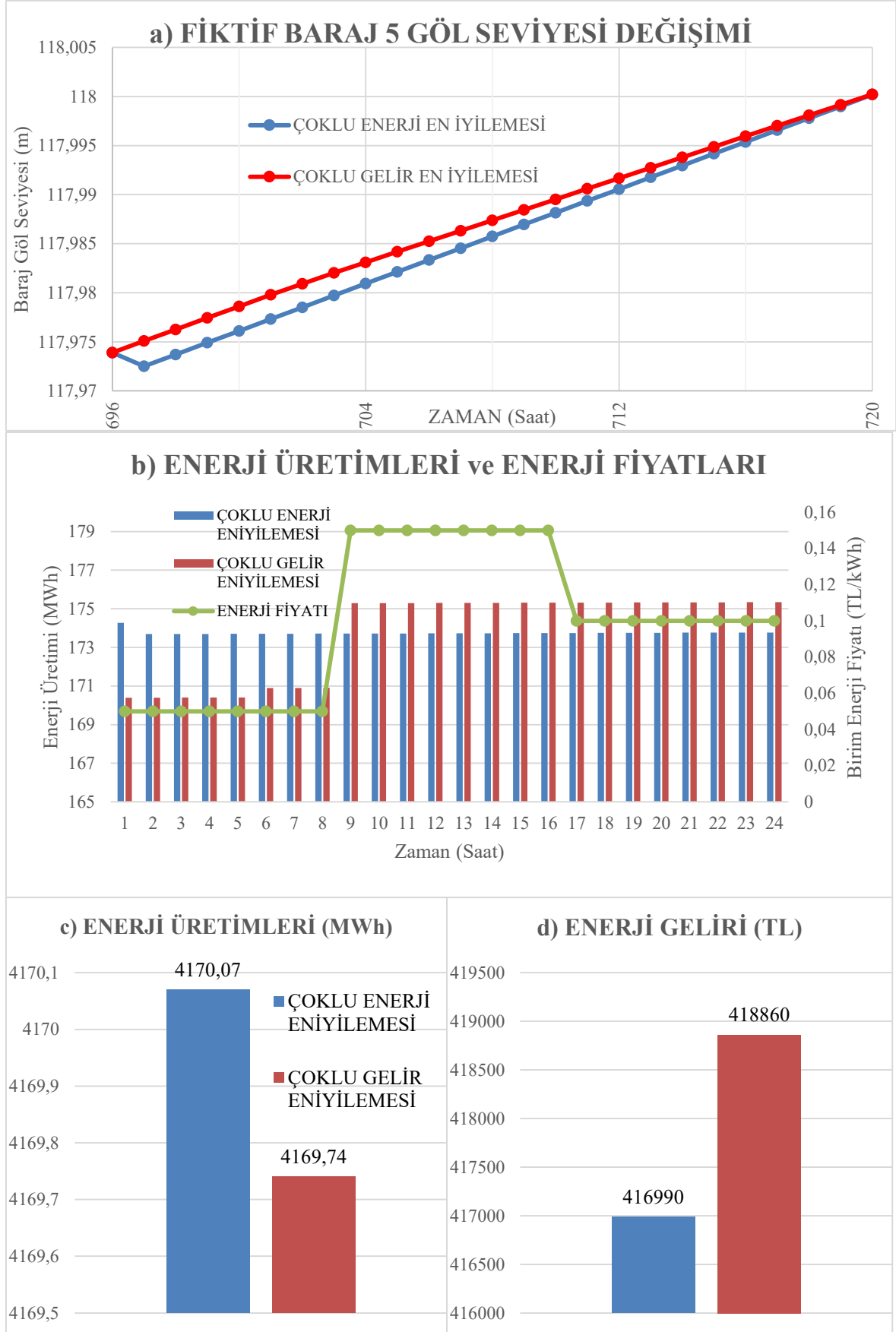
Şekil 7.21. Fiktif baraj 2'nin çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması



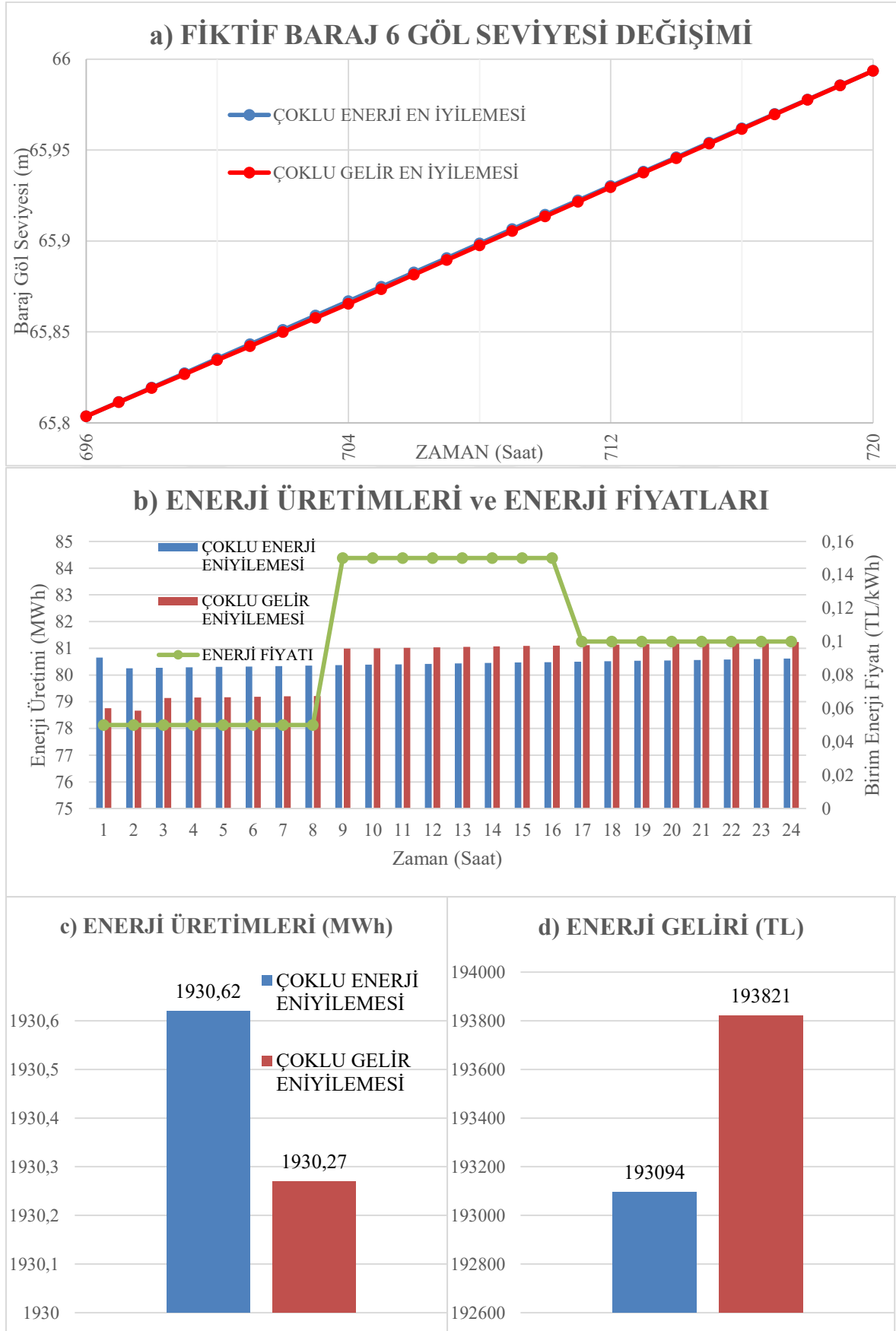
Şekil 7.22. Fiktif baraj 3'ün çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması



Şekil 7.23. Fiktif baraj 4'ün çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması

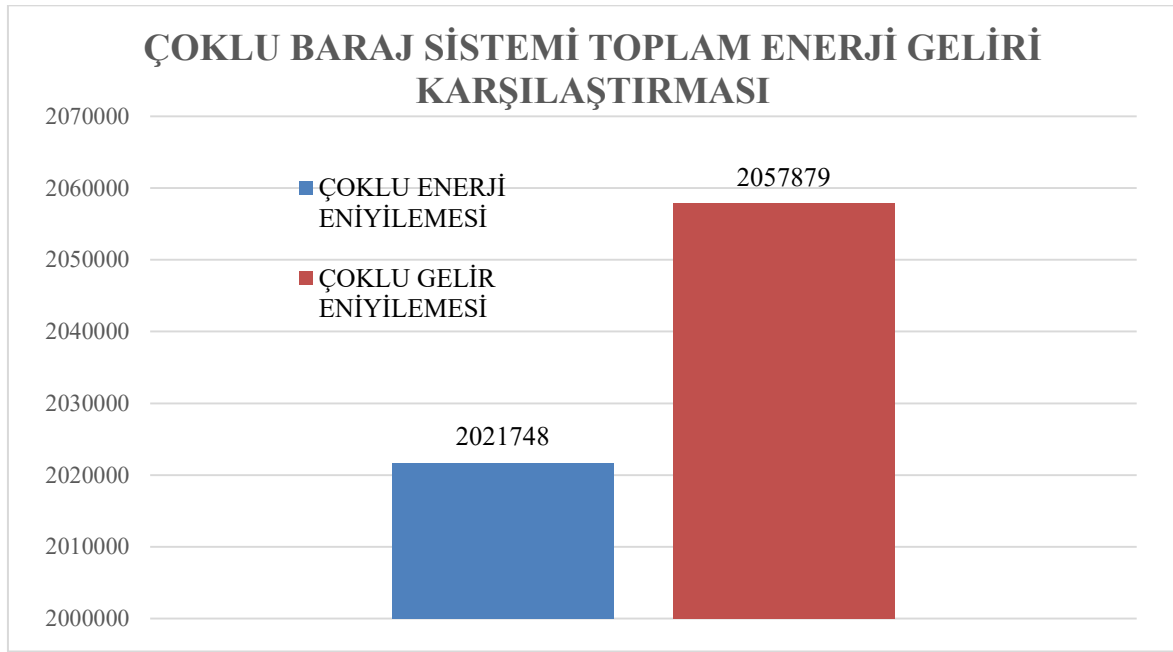


Şekil 7.24. Fiktif baraj 5'in çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması



Şekil 7.25. Fiktif baraj 6'nın çoklu enerji en iyilemesi ile enerji geliri en iyilemesi karşılaştırması

Yapılmış olan çalışma neticesinde elde edilen göl seviyeleri, enerji üretimleri ve toplam getiri karşılaştırmaları her baraj için sırasıyla şekil 7.20, 7.21, 7.22, 7.23, 7.24 ve 7.25’de verilmiştir. Şekil 7.26’da 1 aylık işletme süresinin son günü için yapılan gelir en iyilemesi sonuçlarında elde edilen toplam gelir karşılaştırması verilmiştir. Şekil 7.26’da görüleceği üzere yalnızca 1 gün için yapılan gelir en iyilemesi ile 2057879/2021748 (%1,79) oranında ek gelir elde edilebilmektedir.



Şekil 7.26. Çoklu baraj sisteminde elde edilen gelir karşılaştırması (Üretim Şekli 1)

Şekil 7.19~7.25 incelendiğinde tüm barajlarda saatlik türbinlenecek debinin değiştirilmesi ile göl seviyelerinde değişimler elde edildiği gözlenmiştir. Bu değişim özellikle aktif hacmi daha küçük olan barajlarda daha büyük olmakta, enerji geliri farkı da daha fazla olmaktadır. Söz konusu incelenen örnekte ara havza akımları söz konusu olmadığından yalnızca mambadaki barajdan gelen sular etkindir. Aktif hacmin büyümesi ile benzer büyüklüklerdeki türbinlenen debilerden kaynaklı olarak göl seviyesi değişiminin daha az olması doğaldır. Aktif hacmin daha büyük olduğu barajlara mambadaki barajlar dışında ara havzadan da akım bulunuyor olsaydı bu barajların da saatlik değişimlerinin daha fazla olması beklenmektedir. Barajların günlük enerji en iyilemesi sonrasında saatlik olarak gelir en iyilemesi sonucu elde edilecek gelirde artışlar görülmektedir. Net gelir artışı, barajın büyüklüğüne, o zamanki enerji üretimine ve bu enerji üretimini etkileyen giren akıma bağlıdır. Aynı zamanda çoklu baraj sisteminde enerji gelir en iyilemesi yapılması, tüm

barajların her birinden daha yüksek gelir elde edileceği anlamına gelmemektedir. Enerji geliri en iyilemesi ile yapılan işlem çoklu baraj sisteminin tamamından işletme süresinin tamamı için en yüksek gelirin elde edilmesidir.

7.4. Altı Seri Barajlı Çoklu Baraj Sistemi – 2

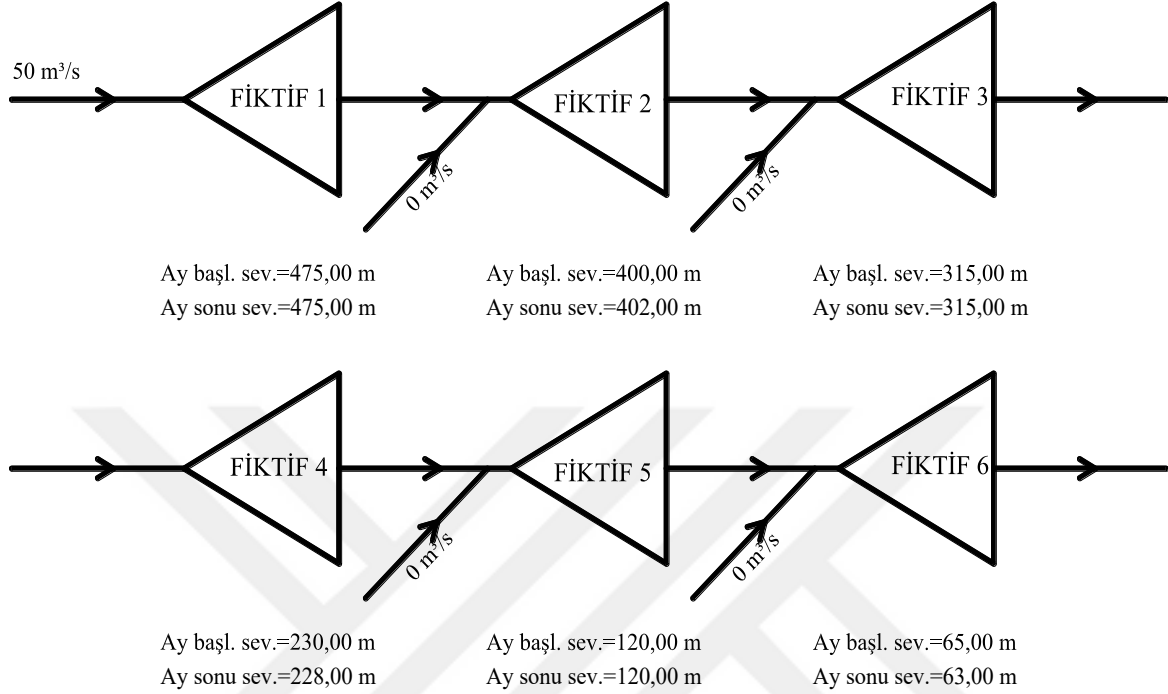
Bölüm 7.3’de verilmiş olan baraj sistemi üzerinde barajların hedef seviye değişimlerinin en iyileme üzerindeki etkisini anlayabilmek adına ay sonu hedef seviyeleri değiştirilerek yeni üretim oluşturulmuştur (Şekil 7.27). Hedef seviyelerin değiştirilmesi ile barajların çoklu baraj sisteminin toplamı içerisinde üstlendikleri üretim oranları da değişmektedir. İncelenen fiktif çoklu baraj sistemindeki barajlara ait kot-alan-hacim ve barajların karakteristik bilgileri Ek-3’te verilmiştir.

Yeni hedef seviyeler doğrultusunda barajların davranışlarını görebilmek ve bölüm 7.3’deki çalışma ile karşılaştırma yapabilmek adına çoklu enerji en iyilemesi ve tekil enerji en iyilemesi çalışılmıştır. Bu çerçevede elde edilen baraj seviye değişim grafikleri şekil 7.28’de verilmiştir.

Şekil 7.28’de verilen göl seviyeleri değişimleri incelendiğinde bölüm 7.3’de verilmiş olan örnekteki benzer biçimde ilk üç barajın göl seviyelerini en yüksek seviyeye çıkararak net düşüyü arttırdıkları ve bu şekilde daha fazla enerji ürettikleri görülmektedir. Fiktif baraj 4’ün ise rezervuar alanında daha yüksek seviyeye kadar su depoladığı gözlenmiştir. Fiktif baraj 5 ve 6’da ise mambadan gelen sulara bağlı olarak göl seviyelerinde hafif dalgalanmalar elde edilmiştir. Bölüm 7.3’de verilen fiktif baraj sisteminden bir aylık üretim süresi boyunca yalnızca hedef seviyelerin değiştirilmesi sonucu yepyeni davranışlar elde edilmiştir. Şekil 7.28’de verilen göl seviyelerinin değişimlerine ait enerji üretimlerinin karşılaştırması şekil 7.29’da, toplam enerji üretimi karşılaştırması ise şekil 7.30’da verilmiştir.

Şekil 7.29’da verilen çoklu enerji en iyilemesi ve tekil enerji üretimleri karşılaştırmalarında fiktif baraj 1 dışındaki tüm barajların tekil enerji üretimlerinde daha az enerji ürettikleri görülmektedir. Bu sonuç daha önce yapılan çözümlere benzer olup, giren akımların her iki koşulda aynı olması durumunda tekil enerji üretiminin de buna bağlı olarak daha fazla olmasından ibarettir. Böyle bir durumda mansaptaki barajlar göz ardı edildiğinden rezervuarda depolanan suyun enerjisi verimli olarak kullanılamamaktadır. Mansaba doğru

ilerledikçe enerji üretimlerindeki kayıp miktarı da büyümektedir. Elde edilen karşılaştırmalı enerji üretimlerinin toplamaları şekil 7.30'da verilmiştir.

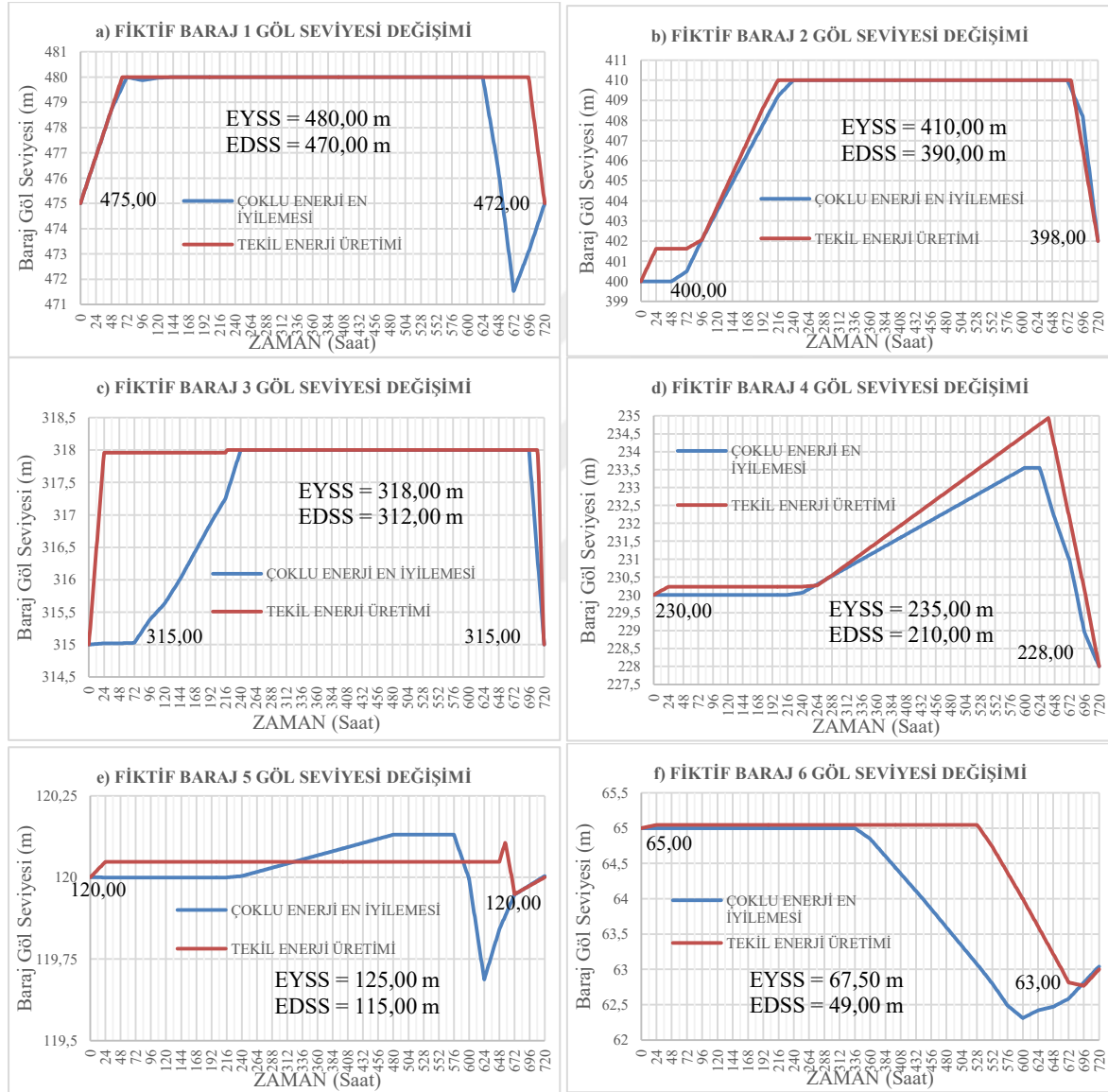


Şekil 7.27. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sistemi (Üretim Şekli 2)

Altı seri barajdan oluşan çoklu baraj sisteminde yapılan enerji en iyilemesi sonucunda tekil enerji üretimlerine kıyasla yaklaşık 146,35/112,65 (%30) oranında enerji üretiminde artış meydana gelmiştir. Bölüm 7.3'de verilen çalışmada bu artış miktarı %31,5 mertebesindeydi. Baraj sisteminde yalnızca hedef seviyelerin değiştirilmesi sonucu barajların sistemin toplam enerjisi içerisinde üstlendikleri enerji üretimi oranları değişmektedir. Bölüm 7.3'de bu oranlar enerji en iyilemesi için membadan başlamak üzere yaklaşık 19,28/144,41 (%13,3), 31,48/144,41 (%21,8), 23,43/144,41 (%16,2), 22,37/144,41 (%15,5), 31,41/144,41 (%21,8) ve 16,44/144,41 (%11,4) iken bu oranlar hedef seviyelerin değiştirilmesi ile 18,36/146,35 (%12,5), 28,4/146,35 (%19,4), 21,1/146,35 (%14,4), 34,5/146,35 (%23,6), 21,04/146,35 (%14,4) ve 22,95/146,35 (%15,7) olarak değişmiştir. Buna bağlı olarak aynı karakteristik özelliklere sahip baraj sisteminde, giren akımların da aynı olduğu dönemde hedef seviyelere bağlı olarak farklı üretimlerin yapılması sonucu enerji en iyilemesinde farklı enerji artışları elde edilmiştir. Dolayısıyla en iyileme sonucu elde edilecek üretim artışının sabit bir oran olmadığı bir kez daha görülmektedir.

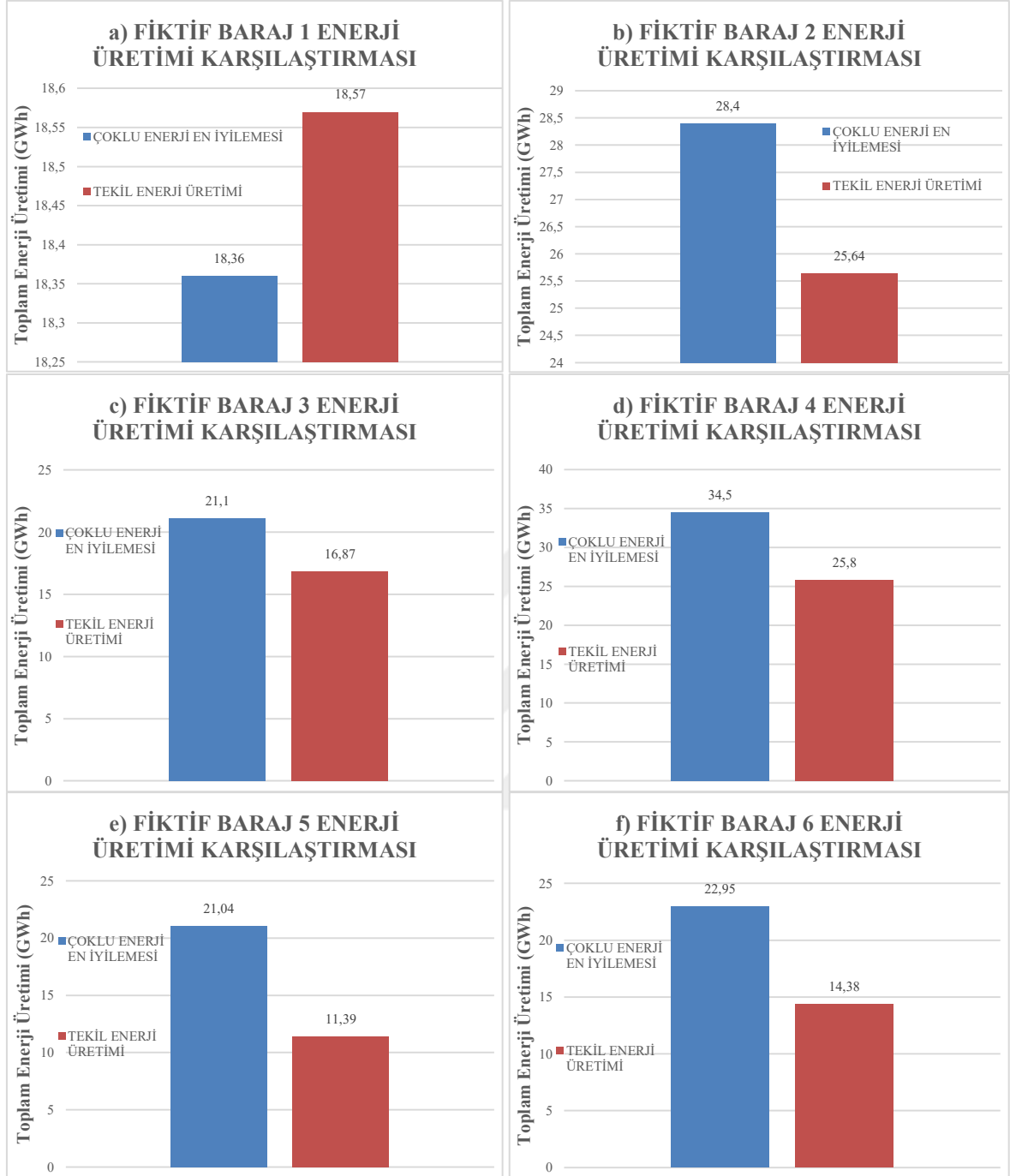
Çoklu enerji en iyilemesi ile tekil enerji üretimlerinde elde edilecek enerji üretim miktarı

farklılıkları da yine barajların toplam baraj sistemi içinde yüklendikleri enerji üretimi büyüklüklerine göre farklılıklar gösterdiği bölüm 7.3 ve 7.4'te verilen sonuçların birbiri ile karşılaştırılması ile görülebilmektedir. Üretim artışının ne kadar olacağı sistemin mevcut üretimi ile en iyileme sonucu oluşacak üretimin arasındaki ilişkiyle ve barajların depolama hacim sınırları ile ilgilidir.



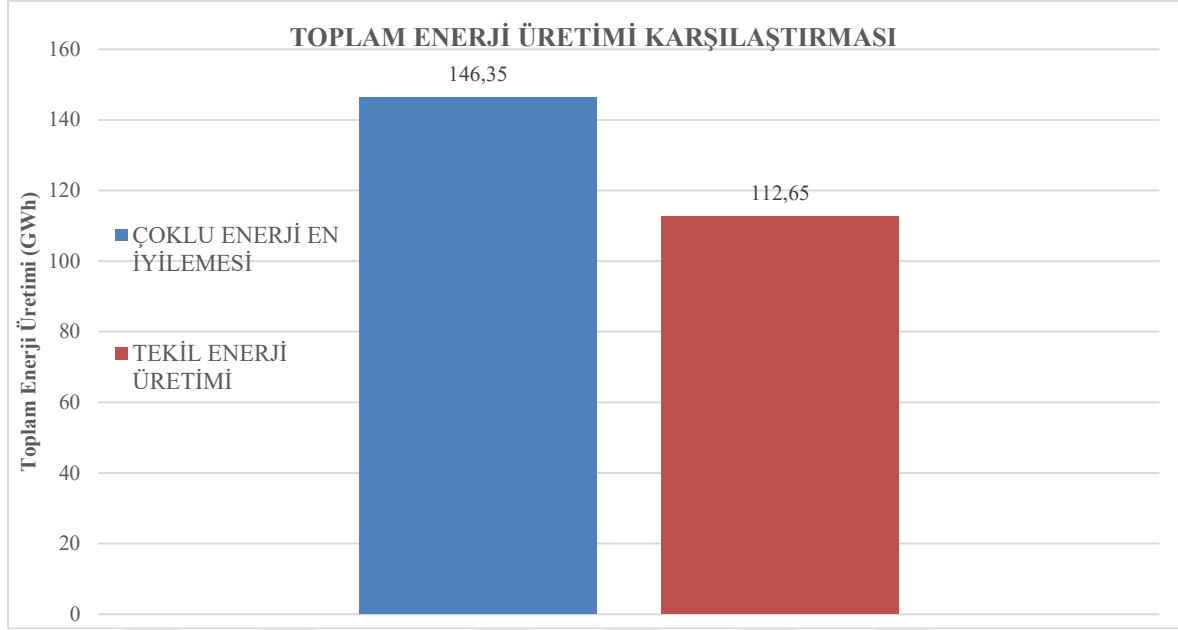
Şekil 7.28. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 2'e göre göl seviyeleri değişimi

Bu bölüm dahil, yapılan çözümlerin tamamı seri baraj sistemlerine aittir. Seri baraj sistemlerinde çözümleme, membadan mansaba akış doğrultusunda olmaktadır. Bütün barajlar, bir öncekinden etkilenmekte olduğundan karar değişkenleri her baraj için sırası geldiğinde alınmaktadır.



Şekil 7.29. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 2’ e göre enerji üretimleri

Oluşturulan programın tüm baraj sistemlerine uygulanabilmesi için paralel sistemler üzerinde de çalışma yapılmıştır. Paralel sistemlerde birbirine paralel olarak bağlı olan barajlar birbirlerinden etkilenmemekle birlikte membalarında yer almakta olan barajlardan etkilenmektedirler. Ayrıca paralel olarak bağlı barajların mansabında yer almakta olan barajlar ise paralel bağlı tüm barajlardan etkilenecekleri için ana problem çok daha karmaşık bir hal almaktadır.



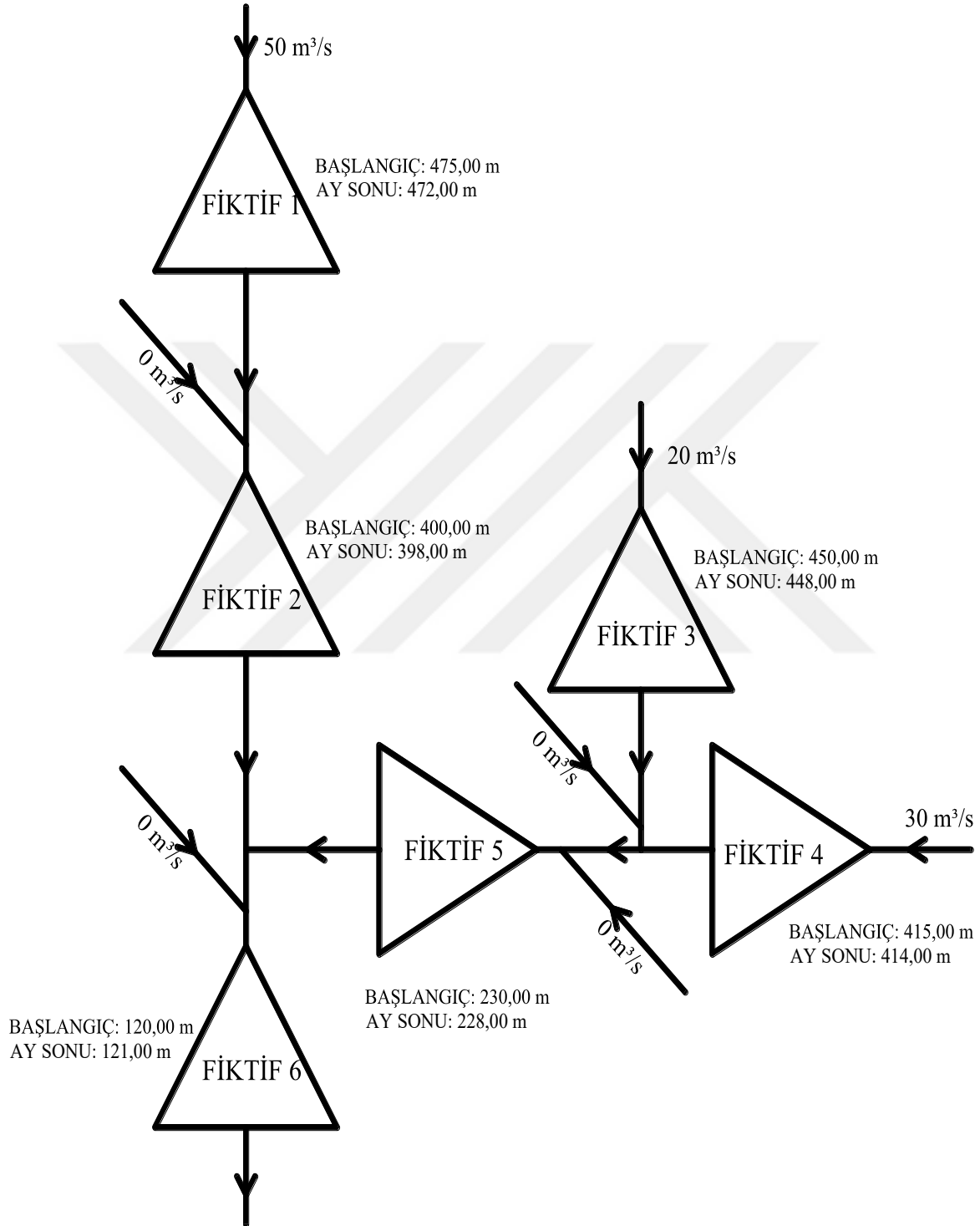
Şekil 7.30. Altı barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde üretim şekli 2'e göre toplam enerji üretimleri

7.5. Altı Barajlı Seri ve Paralel Bağlantılı Çoklu Baraj Sistemi

Bölüm 7.3 ve 7.4'de incelenen baraj sistemi, hem seri hem de paralel barajlar içeren bir sisteme dönüştürülmüştür. Yapılan çalışmaya ait çoklu baraj sisteminin görünüşü şekil 7.30'da verilmiştir. Fiktif baraj sistemindeki barajlara ait kot-alan-hacim grafikleri ve barajların karakteristik özellikleri Ek-4'te verilmiştir. İncelenen fiktif baraj sisteminde membada yer alan fiktif baraj 1, fiktif baraj 3 ve fiktif baraj 4'e işletme süresi boyunca sırasıyla 50, 20 ve 30 m³/s su gelişi olduğu, diğer barajlara ise ara havza akım girişleri bulunmadığı kabul edilmiştir. Modellenen baraj sisteminde birbirine paralel bağlı barajlar bulunmaktadır. Fiktif baraj 5, hem fiktif baraj 3 hem de fiktif baraj 4'de alınacak kararlar doğrultusunda işletilebilecektir. Aynı şekilde fiktif baraj 6, hem fiktif baraj 5 hem de fiktif baraj 2'de verilecek kararlar doğrultusunda işletilebilecektir. Dolayısıyla söz konusu barajlarda oluşabilecek üretim alternatifleri, seri bağlantıda oluşan alternatif sayısından çok daha fazladır.

Problemin çözümü yine membadan mansaba akış doğrultusunda yapılmaktadır. Paralel bağlı barajlar birbirleriyle doğrudan etkileşimde bulunmadığından, mansaplarındaki barajların çözümü için paralel bağlantıdaki barajların karar değişkenlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin, fiktif baraj 6'nın su dengesinin kurulabilmesi için hem fiktif baraj

5'in hem de fiktif baraj 2'nin bırakacağı suların belirlenmesi gerekmektedir. Fiktif baraj 6'nın çözümü doğrudan bu iki baraja bağlı olmaktadır.



Şekil 7.31. Altı barajlı seri ve paralel bağlantılı fiktif çoklu baraj sistemi

İlk kaba çözümün belirlenebilmesi için baraj aktif hacimlerinde yapılan bölümlendirme neticesinde oluşan bütün alternatifler incelenmektedir. Bu alternatifler içerisinde enerji

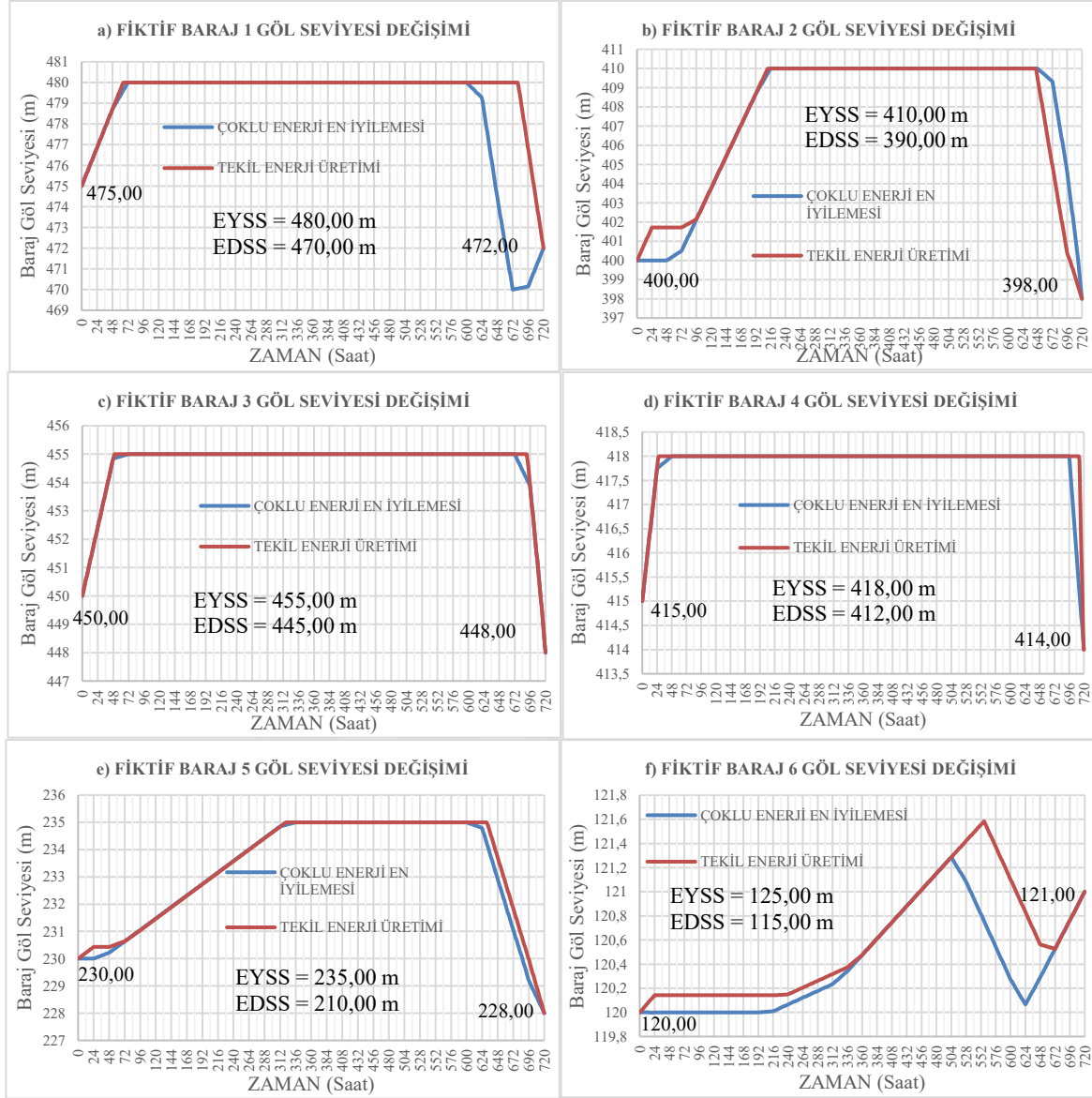
üretiminin toplamda en yüksek olduğu alternatif ilk kaba çözümü vermektedir. Tüm alternatiflerin program tarafından belirlenebilmesi için öncelikle membadan mansaba doğru çözülen ve verilen ilk kaba kararlara göre üretim belirlendikten sonra paralel barajlara geri dönüp diğer alternatiflere sırasıyla bakılmaktadır. Bu işlem tüm paralel barajlar ve bu barajların mansabında kalan barajlar için yapılır. Paralel bağlı barajların alacağı değişik karar değişkenlerinin tükenmesi durumunda daha membaya giderek mabadaki barajlarda alınan karar değişikliğine göre bütün barajlar için işlemler tekrarlanır. Böylece seri ve paralel bağlı barajlarca alınabilecek farklı türbin debileri sonucu mansaptaki barajların işletmeleri ve tüm sistemde oluşabilecek enerji üretimleri elde edilir.

Çoklu baraj sistemlerinde paralel bağlı barajların da yer alması durumunda kaba çözüm için oluşan alternatif işletme sayısı aynı bölümlendirmenin yapıldığı seri baraj sistemlerinden çok daha fazla olmaktadır. Çözüm uzayının büyümesi ister istemez çözüm süresini doğrudan etkimektedir. Bilgisayarların günümüzde bu denli hızlanması ve 64 bit programlama tekniklerinin kullanılması sonucu bu süre nispeten daha makul sürelerle indirilmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve bilgisayar hafızalarının gelişimi ile yapılacak uyarlamalarla gelecekte daha büyük sistemlerin aynı matematiksel mantık çerçevesinde çözümü mümkün olabilecektir.

Ay sonu hedef seviyeleri belirlenen çoklu baraj sisteminin enerji en iyilemesi ve tekil enerji üretimleri çalışılmıştır. Elde edilen enerji üretimi artışı çerçevesinde barajların göl seviyeleri değişimleri şekil 7.32’de verilmiştir.

Fiktif baraj sistemi içerisinde mansapta yer alan fiktif baraj 5 ve 6’nın aktif hacim büyüklükleri diğer barajlara göre daha fazladır. Şekil 7.32’de görüleceği üzere fiktif 6 dışındaki tüm barajlar en yüksek seviyelerine ulaşmakta ve aylık sürenin sonuna doğru hedef seviyelerini yakalayabilmek amacıyla üretime geçerek seviyelerini düşürmektedirler. Fiktif baraj 6’nın aktif hacmi çok daha büyük olduğundan baraj seviyesi aylık süre zarfında en yüksek seviyeye ulaşamamıştır. Barajlar en yüksek aktif hacim seviyelerine geldiklerinde baraj göl hacmine giren ve göl hacminden çıkan su miktarı eşit olacak biçimde işletilmiş olduğundan işletme esnasında barajların hiçbirinin dolusavağından su bırakılmamıştır.

Enerji en iyilemesine göre oluşan barajların enerji üretimi karşılaştırma grafikleri şekil 7.33’de, toplam enerji üretimi karşılaştırmaları ile şekil 7.34’te verilmiştir.



Şekil 7.32. Altı barajlı fiktif karmaşık çoklu baraj sisteminde göl seviyeleri değişimi

Şekil 7.33'de görüleceği üzere fiktif baraj 1, 3 ve 4 dışındaki barajlar, çoklu enerji en iyilemesinde daha fazla üretim yaparlarken, 1, 3 ve 4 nolu barajların tekil enerji üretimleri çoklu enerji en iyilemesi sonuçlarından daha iyidir. Söz konusu barajlar sistem içerisinde farklı kollarındaki en membada konumlanan barajlardır. Bu barajların tekil enerji üretimleri ile çoklu enerji en iyilemesi çalışmalarında giren akımları birebir aynıdır. Bu doğrultuda aynı akım şartı göz önüne alındığında bireysel olarak daha fazla enerji üretmeleri beklenti dahilindedir. Diğer barajlar ise bu barajların çeşitli zamanlarda bıraktığı akımlara bağlı olarak üretim yaptıklarından enerji üretimleri çoklu enerji en iyilemesine göre daha düşüktür. Ayrıca fiktif baraj 1, 3 ve 4'de tekil enerji üretimi ile çoklu enerji en iyilemesi farkları çok az olmakla birlikte tekil enerji üretimi lehinedir. Ancak, diğer barajlardaki enerji

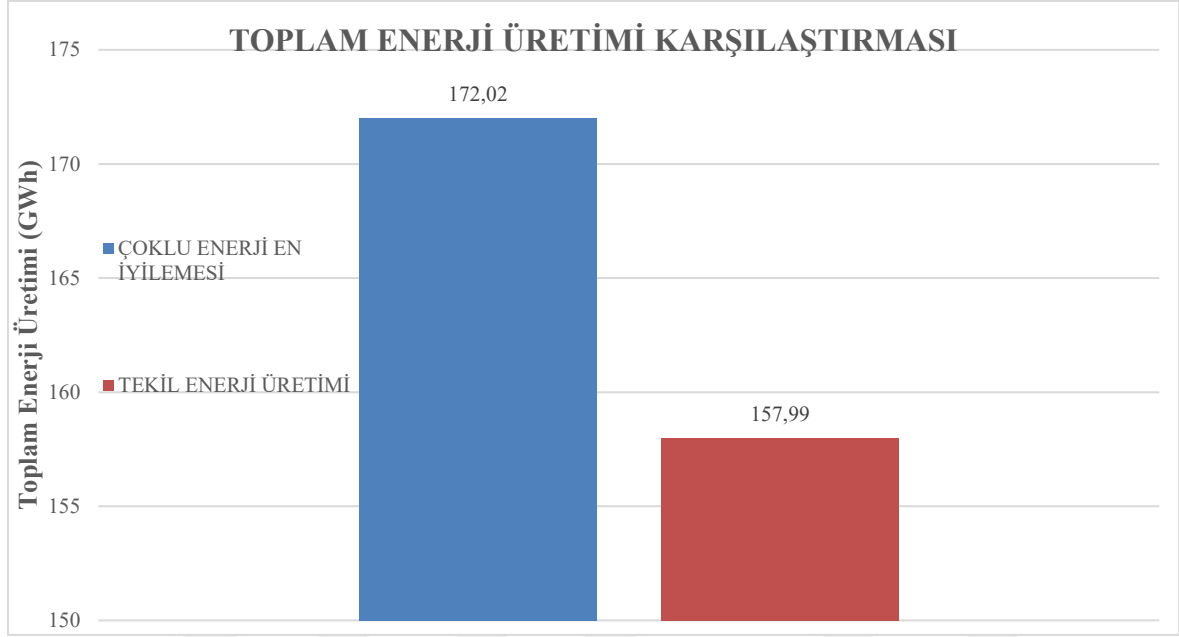
üretimleri farkları ise çok daha yüksek olup çoklu enerji en iyilemesi lehinedir. Sistemdeki barajların toplam enerji üretimleri şekil 7.34'te verilmiştir.



Şekil 7.33. Altı barajlı fiktif karmaşık çoklu baraj sisteminde göre toplam enerji üretimleri

Şekil 7.34'te görüleceği üzere çoklu enerji en iyilemesi ile tekil enerji üretimine göre bir aylık süre çerçevesinde toplamda 172,02/157,99 (%8,9) oranında enerji üretimi artışı sağlanmıştır. Böylece önceki çalışmalarda yalnız seri bağlantılı fiktif barajlar kullanılarak elde edilen enerji üretimi artışı, paralel ve seri bağlantılı bu karmaşık sistemde de teyit edilmiştir. Elde edilen enerji üretimi artış oranı barajların büyüklüklerine, giren akım koşullarına ve barajlarına bağlı olarak her bir baraj için farklılık arz etmektedir.

Bölüm 7.5 dahil yapılmış olan çalışmalar, aylık periyot içerisinde ay başı ve ay sonu seviyelerinin bilinmesi sonucu bu seviyelerin sınır koşulları olarak kullanılması ile elde edilen enerji üretimleridir. Söz konusu çalışmalarda seri ve paralel bağlantılı barajlarda enerji üretimlerinde çeşitli artışlar elde edilmiştir.



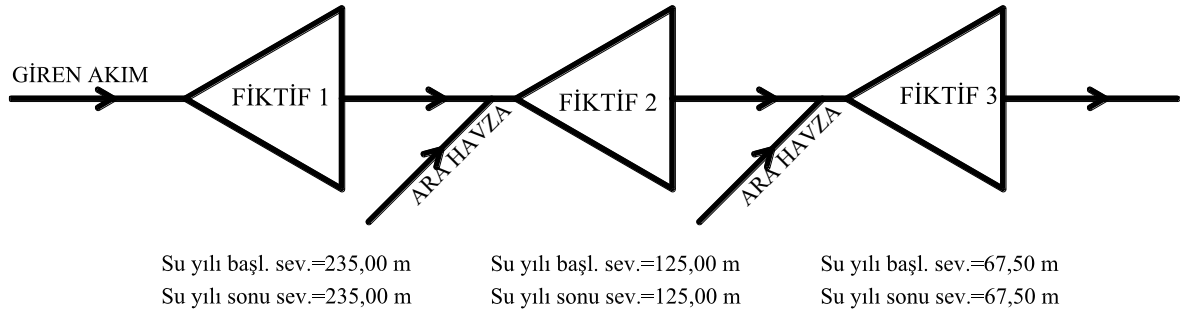
Şekil 7.34. Altı barajlı fiktif karmaşık çoklu baraj sisteminde toplam enerji üretimleri

Barajların daha uzun süreli işletmesine dönük en iyileme yapabilmek ve uzun vadedeki üretimi belirleyebilmek amacıyla elli yıllık süre zarfında enerji en iyilemesi çalışması yapılmıştır.

7.6. Çoklu Baraj Sisteminde Uzun Dönemli Enerji Üretimi Çalışması

Çoklu rezervuar sistemlerinde paralel ve seri bağlantılı barajların tek elden idare edilmeleri durumunda enerji üretimi artışları elde edilebildiği önceki çalışmalarda gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar aylık işletme süresi zarfında gerçekleştirilmiştir. Enerji en iyilemesinin uzun yıllar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla Yedigöze, Çatalan ve Seyhan barajlarından esinlenilerek Şekil 7.35'te verilen fiktif baraj sistemi oluşturulmuştur. Barajlara ait kot-alan-hacim grafikleri ve karakteristik özellikler Ek-5'te verilmiştir. Barajların gerçek büyüklükleri dikkate alınmış olup, buharlaşma ve sulama suyu ihtiyaçları da göz önünde bulundurulmuştur. Uzun dönemli çalışma yapıldığından dolusavaktan su atılması söz konusu olabilmekte olup, mümkün olduğunca az seviyede olması göz önünde

bulundurulmuştur. Ayrıca dolusavaktan su bırakılma durumu olması halinde tercihen mansap yerine membadaki barajlardan bırakılması dikkate alınarak bırakılan suyun çoklu baraj sisteminde kalması hususu dikkate alınmıştır.

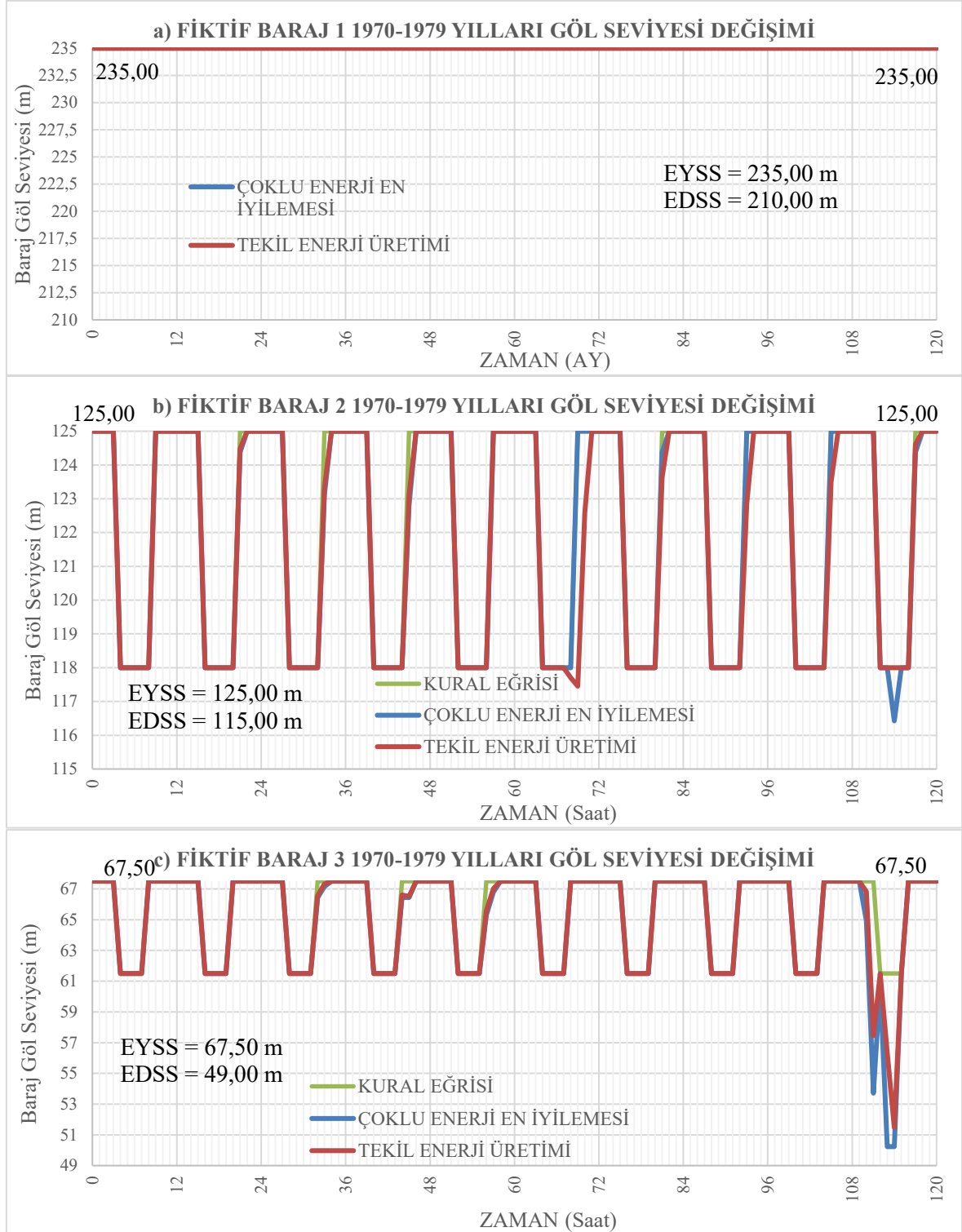


Şekil 7.35. Yıllık işletme çalışmasında kullanılan çoklu baraj sistemi

Barajlar, kural eğrileri (rule curve) ismi verilen ve işletmeye dönük planlanan baraj seviyelerini gösteren eğriler doğrultusunda işletilmeye çalışılmaktadırlar. Bu eğriler, planlama doğrultusunda havzada yer alan barajlar ve havzanın karakteristikleri doğrultusunda bu barajların üretim, içme ve/veya kullanma suyu tedariki, taşkın depolama gibi farklı görevlere bağlı olarak belirlenmektedirler. Özellikle uzun yıllar barajların çalışması ile havzanın geneli hakkında bilgi sahibi olunmakta ve bu eğriler bu doğrultuda revize edilebilmektedir.

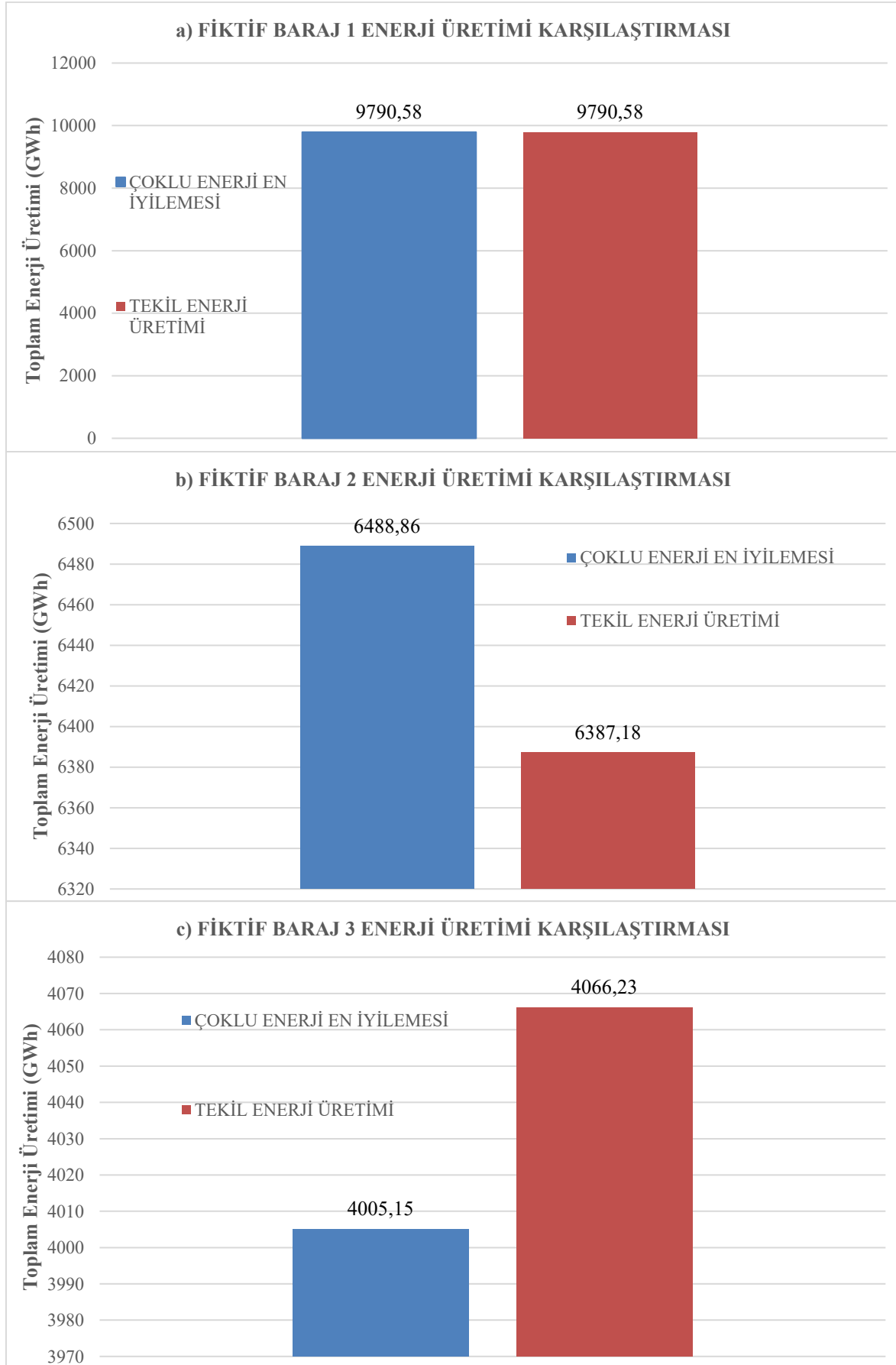
İncelenen örnek nezdinde Çatalan ve Seyhan Barajları'nın taşkın koruma amaçlı kural eğrileri bulunmaktadır. Bu kural eğrileri dikkate alınarak enerji üretimi en iyileme çalışmaları yapılmıştır. Kural eğrisinin bulunduğu aylarda verilen göl seviyelerinin üstüne çıkılmasına izin verilmeyerek üretim yapılması amaçlanmıştır.

Fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar Ek-5'te verilmiştir. Söz konusu akımlar dikkate alınarak öncelikle 10 yıllık dönem için (1970-1979 yılları) çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda işletme süresi başlangıcı, baraj göl hacimlerinin dolu olması sebebiyle Temmuz ayından başlatılmış olup, işletme süresi boyunca da her Temmuz ayı başlangıcında barajların dolu olması amaçlanmıştır. Bu şekilde belirlenen başlangıç ve bitiş hedef seviyeleri doğrultusunda 10 yıllık işletme süresi için aylık süre zarfında kaba bölümlendirmeler yapılarak enerji üretimi en iyilemesi çalışılmıştır. Toplam 10 yıllık işletme süresi için enerji üretimi en iyilemesi amacıyla yapılan işletme çalışmasına ait baraj seviye değişimleri şekil 7.36'da verilmiştir.

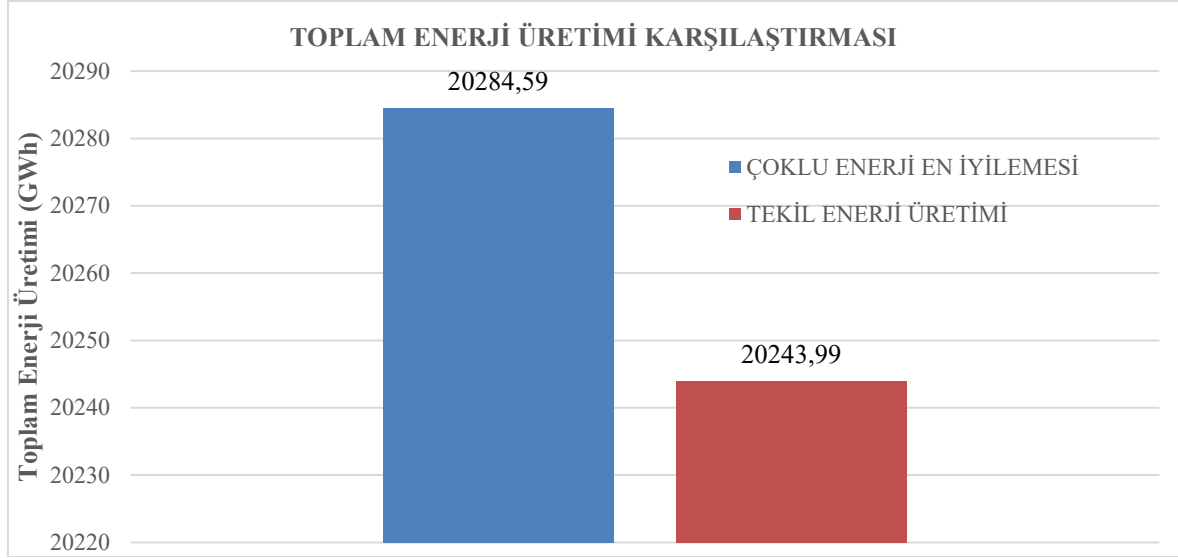


Şekil 7.36. 10 yıllık işletme sonucu oluşan baraj seviye değişim grafikleri

Fiktif çoklu baraj sisteminde enerji üretimleri karşılaştırmaları şekil 7.37’de verilmiş olup, çoklu baraj sisteminin toplam enerji üretimleri karşılaştırması ise şekil 7.38’de verilmiştir. Uzun dönemli işletme yapıldığından dolusavaktan atılan suların karşılaştırmalarına da bakılmış olup, karşılaştırmalar şekil 7.39’da verilmiştir.



Şekil 7.37. 10 yıllık işletme sonucu barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları

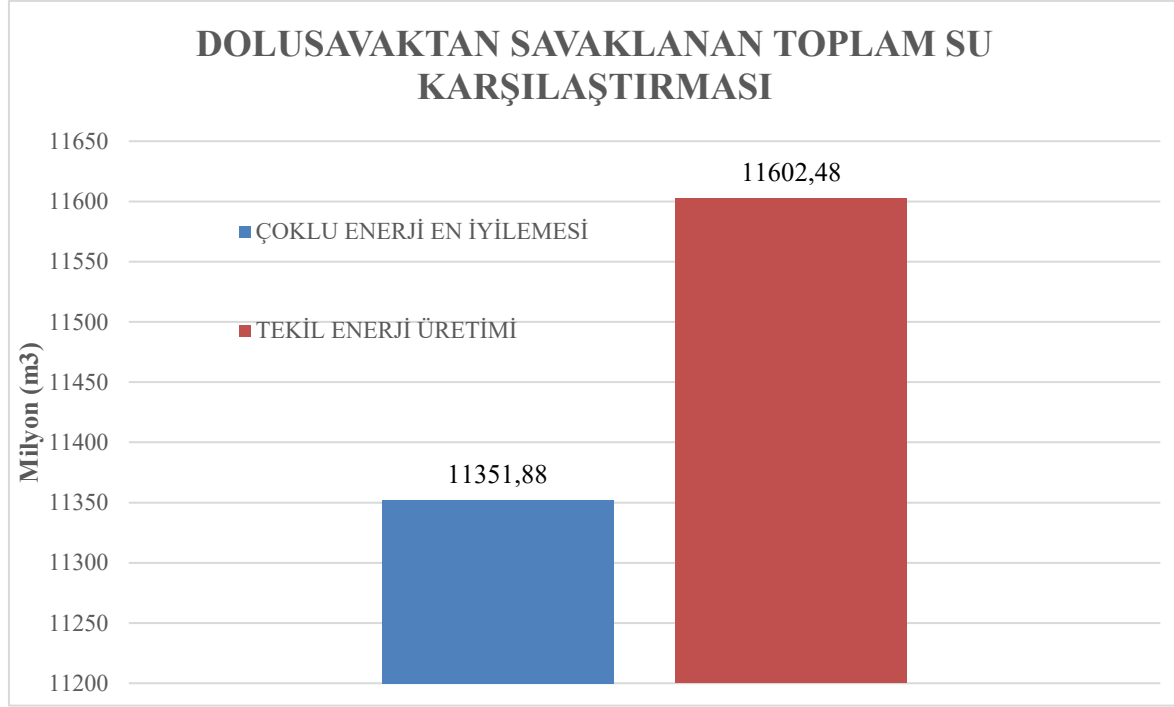


Şekil 7.38. 10 yıllık işletme sonucu çoklu rezervuar sisteminin toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları

İncelenen baraj sistemlerinde en büyük göl hacmi Fiktif Baraj 2'ye ait olup, en küçük göl hacmi Fiktif Baraj 3'e aittir. Ek-5'te verilen baraj karakteristiklerinde görüleceği üzere çoklu fiktif baraj sisteminde mansaba gittikçe barajların türbinleme kapasiteleri azalmaktadır. Dolayısı ile mambadaki barajlardan gelebilecek büyük ölçekli su miktarları Fiktif Baraj 3'de tutulamamaktadır. Mansaba gidildikçe barajların düşüleri de azalmakta olduğundan Fiktif Baraj 1, çoklu baraj sisteminde en büyük enerji üretim potansiyeline sahip barajdır. Fiktif Baraj 3 ise en küçük üretim potansiyeline sahip barajdır.

Şekil 7.37 ve 7.38'de görüleceği üzere fiktif baraj sisteminde mambadaki ilk barajın çoklu ve tekil olarak enerji üretimleri birbiri ile aynıdır. Fiktif baraj 2 ve 3'de ise taşkın amacıyla oluşturulmuş kural eğrileri mevcuttur. Barajların belirlenen sürelerde kural eğrisinde verilen kotların üstüne çıkmalarına izin verilmemektedir. Barajlar arasında en yüksek düşü ve türbinleme kapasitesi Fiktif Baraj 1'de olduğundan, en yüksek enerjinin elde edilebilmesi için Fiktif Baraj 1'in seviyesinin en üst noktada olması ve diğer barajların bu doğrultuda hareket etmeleri gerekmektedir. Fiktif Baraj 2, enerji potansiyeli açısından ikinci baraj olduğundan kural eğrisi dışında olabildiğince üst kotlarda işletilmiştir. Fiktif Baraj 3'ün işletmesi incelendiğinde ise 10 yıllık işletme süresinin son yılı dışındaki dönemde genelde kural eğrisinden şaşmadığı görülmektedir. Son yılda ise Ek-5'te verilen akımlarda da görüleceği üzere fiktif baraj yerlerine baraj kapasitelerinin üzerinde ortalama akımlar geldiği görülmektedir. Enerji üretimi en iyilemesi amacıyla bu akımlar mümkün olduğunca enerji potansiyelinin yüksek olduğu Fiktif Baraj 1 ve 2'den türbinlenerek Fiktif Baraj 3'e

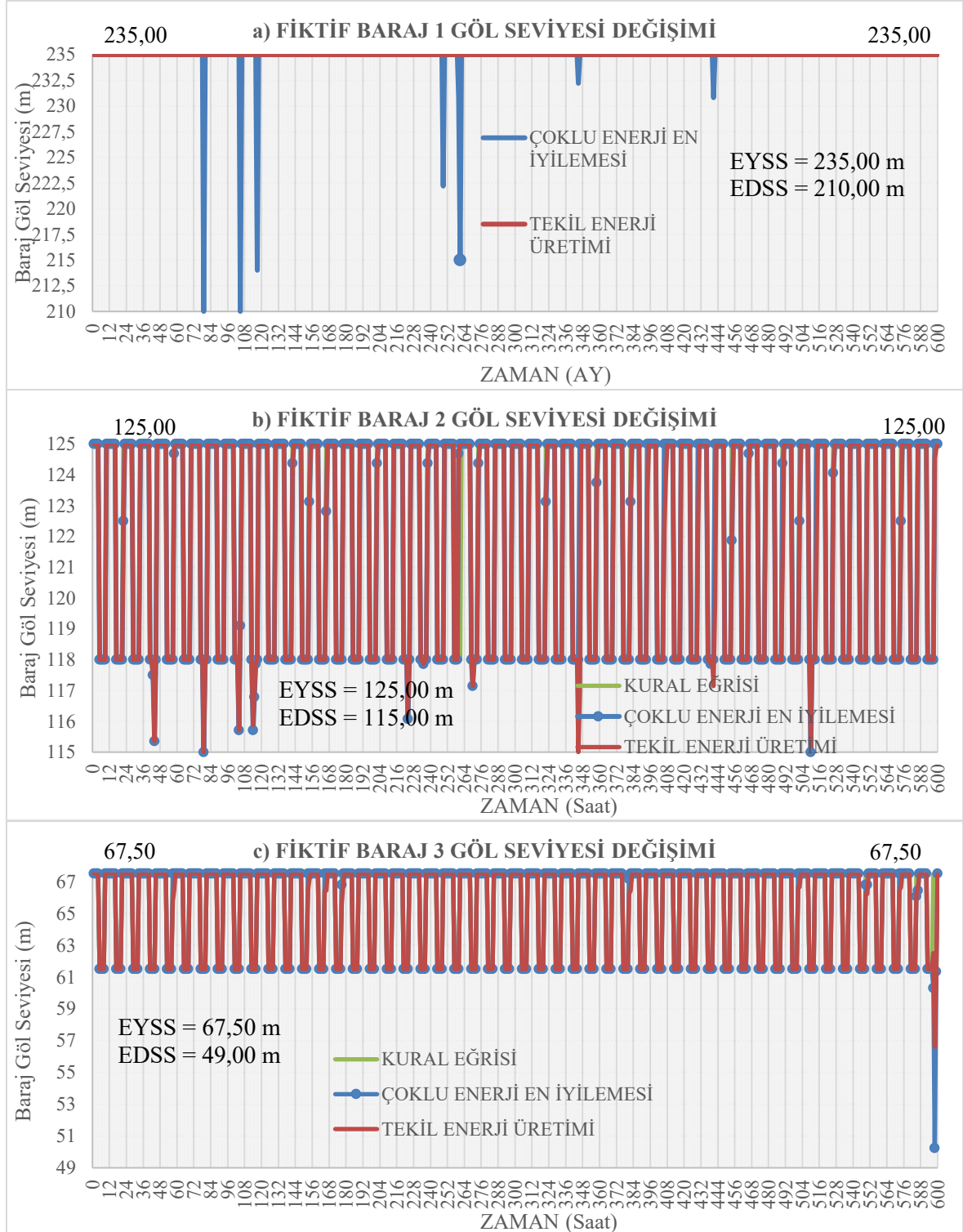
aktarılmıştır. Suları baraj sisteminde tutabilmek için Fiktif Baraj 3 inişli çıkışlı şekilde işletilerek söz konusu akımların Fiktif Baraj 3'ün göl alanında tutulması sağlanmıştır. Çoklu enerji üretimi ve tekil enerji üretimlerinde dolusavaklardan atılan toplam suların karşılaştırması şekil 7.39'da verilmiştir.



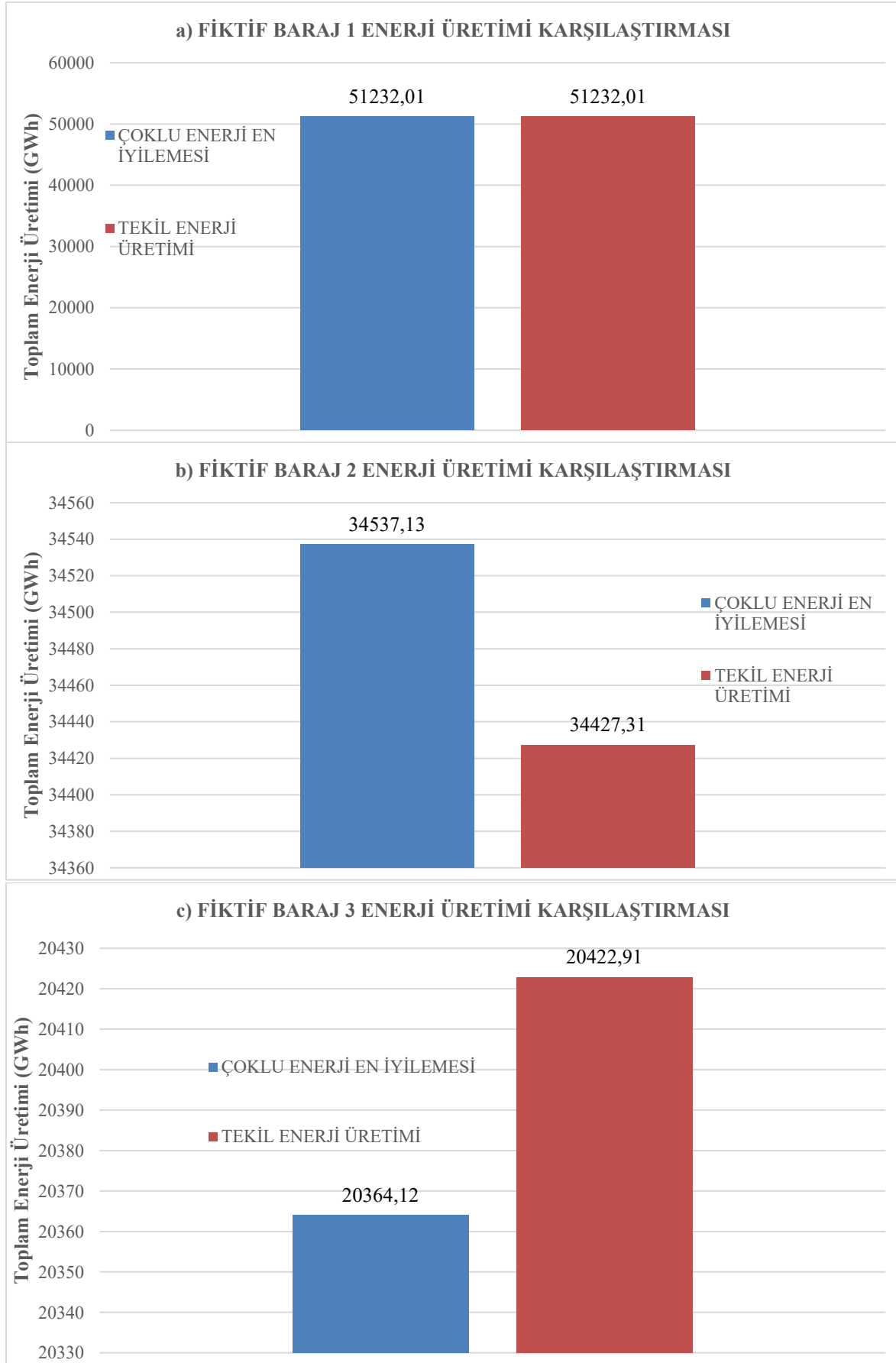
Şekil 7.39. 10 yıllık işletme sonucu dolusavaklardan atılan toplam su miktarının karşılaştırması

Çoklu enerji en iyilemesi çalışması neticesinde şekil 7.39'da görüldüğü üzere 10 yıllık süre zarfında yaklaşık 11602,48/11351,88 (%2,2) oranında daha az su dolusavaktan atılmak zorunda kalınmıştır. Buna karşılık şekil 7.38'de görüleceği üzere yaklaşık aynı enerji üretimleri elde edilmiştir. Dolusavaktan daha az su atılırken daha fazla enerji üretimi elde edilmesi suyun daha verimli kullanıldığını göstermektedir. Enerji üretimindeki artış elde edilirken Fiktif Baraj 3'ün tekil enerji üretimine göre üretimi azalmış, buna karşılık Fiktif Baraj 2'nin üretimi ise artmıştır. Barajların düşü ve türbin debi büyüklükleri dikkate alındığında Fiktif Baraj 3'ün diğer barajlara göre en düşük üretim potansiyeline sahip olduğu yukarıda açıklanmıştır. Üretim sonuçları incelendiğinde Fiktif Baraj 3'ün üretimini düşürürken yukarıdaki barajlardan bırakılan fazla suları tutabilmek için seviyelerini düşürdüğü görülmektedir. Bu davranış sonucu barajın kendi üretimi düşmekle birlikte mabadaki enerji potansiyeli yüksek barajlar en yüksek düşülerde çalışarak en yüksek enerji üretimini elde etmektedirler.

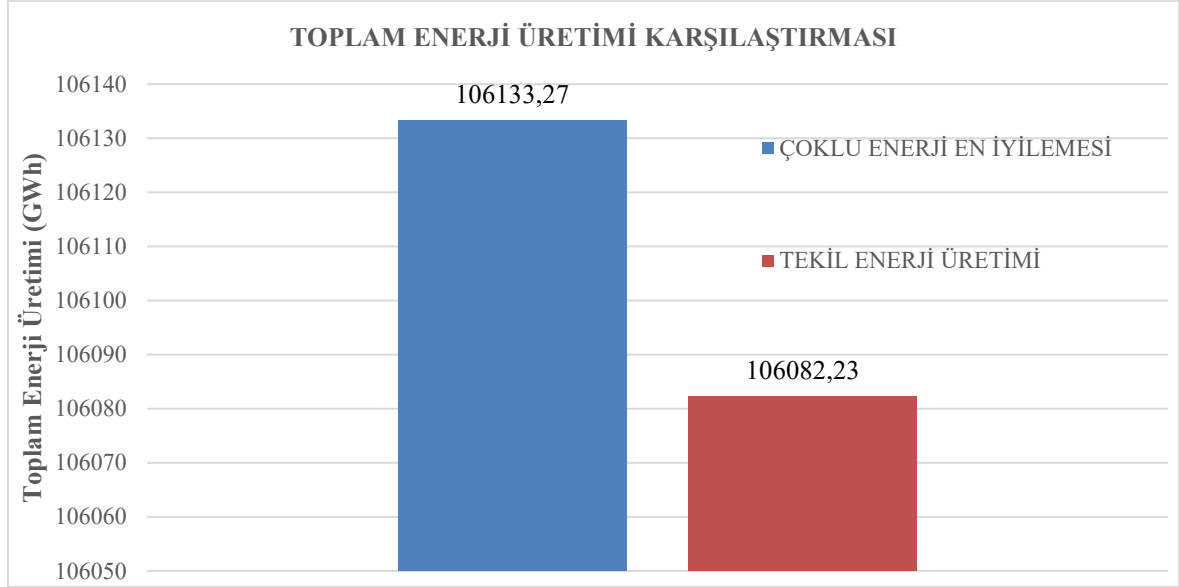
Yapılan 10 yıllık çalışmalara ek olarak aynı çoklu fiktif baraj sistemi, Ek-5'te verilmiş olan 50 yıllık doğal akımlar kullanılarak da çalışılmıştır. 50 yıllık akımların dikkate alınması ile yapılan çalışmalar aylık olarak yapılmıştır. Barajların seviye değişimleri şekil 7.40'da, enerji üretimlerinin karşılaştırılması şekil 7.41'de verilmiştir.



Şekil 7.40. 50 Yıllık işletme sonucu oluşan baraj seviye değişim grafikleri

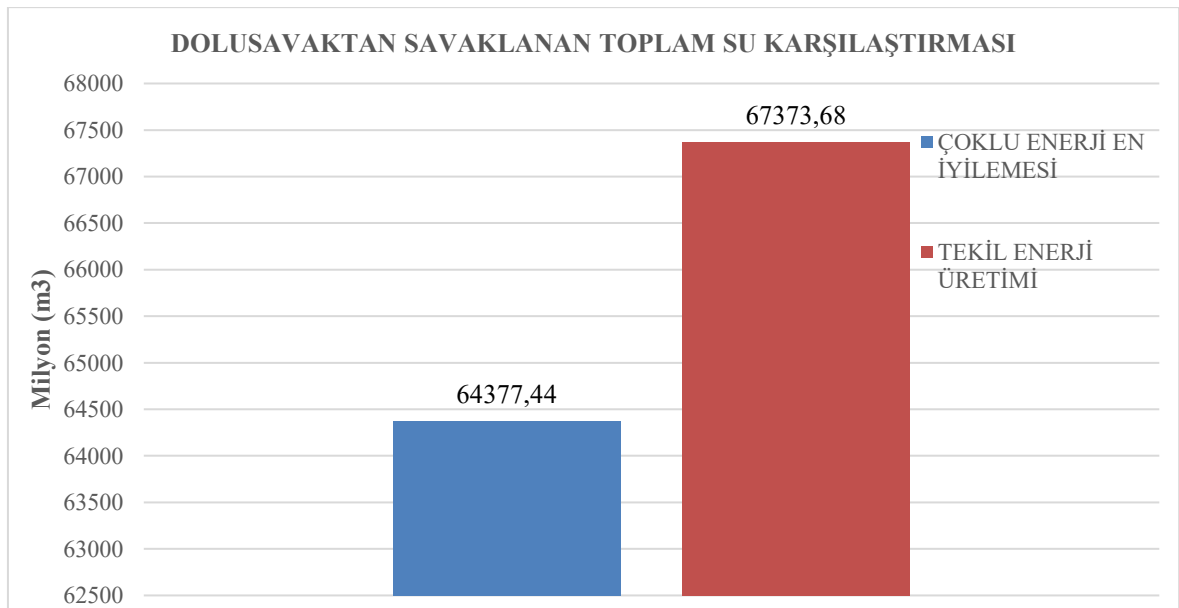


Şekil 7.41. 50 yıllık işletme sonucu barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları



Şekil 7.42. 50 yıllık işletme sonucu çoklu rezervuar sisteminin toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları

Şekil 7.42’de verilen toplam enerji üretimleri incelendiğinde çoklu enerji en iyilemesinde tekil enerji üretimine göre küçük miktarda enerji üretimi artışı elde edildiği görülmektedir. 10 yıllık akımlarla yapılan çalışmaya benzer şekilde Fiktif Baraj 3’ün enerji üretimi tekil üretime göre daha az olmakla birlikte Fiktif Baraj 2’nin üretimi daha yüksektir. Fiktif Baraj 1 ise en üst göl seviyesinde işletme yapmaktadır. İşletme süresi boyunca dolusavaktan bırakılan suların karşılaştırması şekil 7.43’te verilmiştir.



Şekil 7.43. 50 yıllık işletme sonucu dolusavaklardan atılan toplam su miktarının karşılaştırması

Şekil 7.43'te görüleceği üzere enerji üretimi artışının yanında yaklaşık 67373,68/64377,44 (%4,6) oranında dolusavaktan daha az su atılmıştır. Sonuç olarak toplamda çoklu rezervuar sisteminden daha verimli olarak istifade edilmiş, 10 ve 50 yıllık işletme sürelerinde enerji üretimi artışı elde edilmiştir.

7.7. Gerçek Çoklu Baraj Sistemi Üzerinde Yapılan Aylık Çalışma

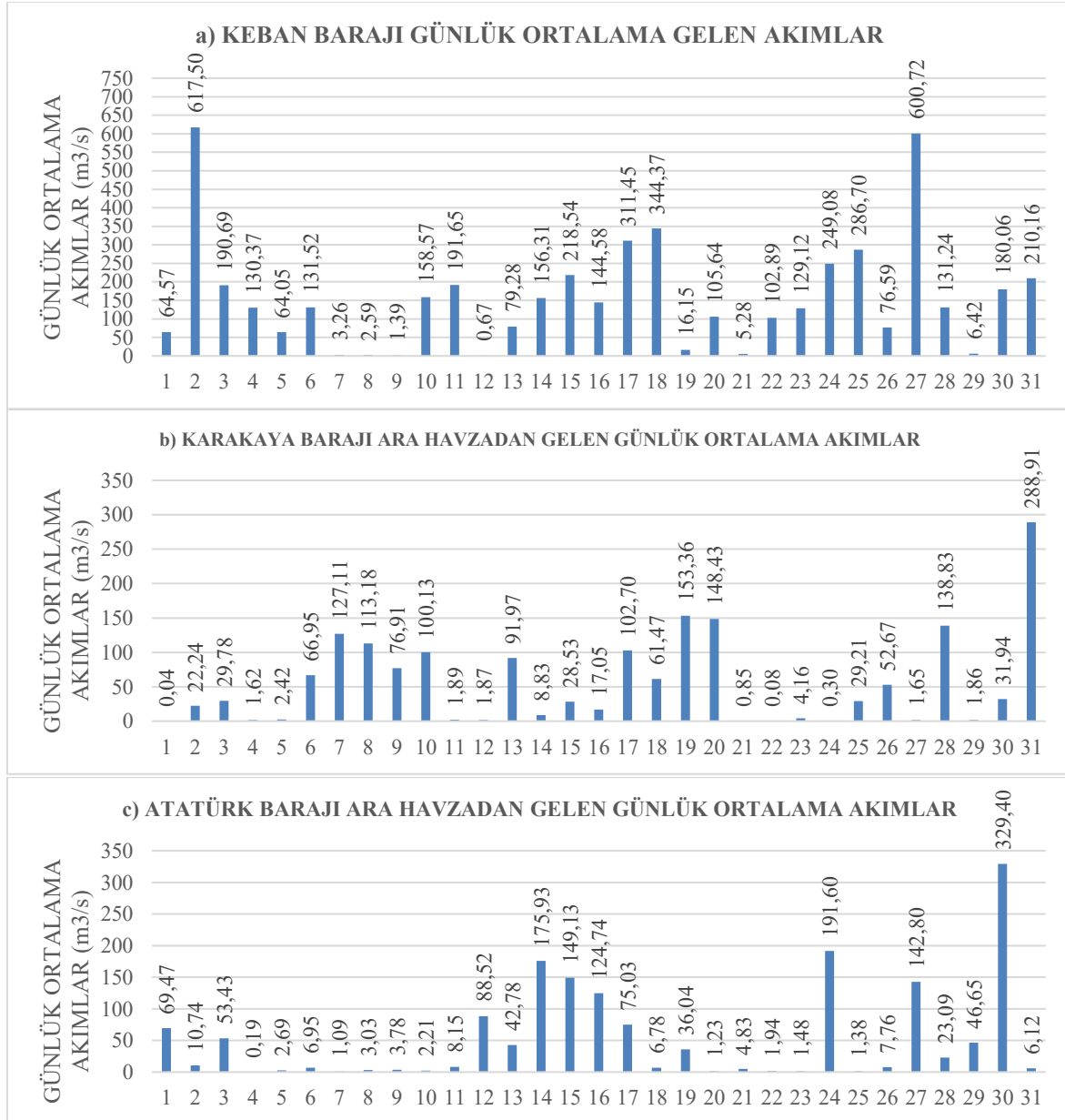
Tez kapsamında fiktif çoklu baraj sistemleri üzerinde yapılan çalışmalara ek olarak oluşturulan modelin uygulanışını incelemek amacıyla gerçek çoklu baraj sistemi üzerinde de çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda temin edilen veriler ışığında Keban, Karakaya ve Atatürk barajlarını içeren üçlü çoklu baraj sistemi üzerinde bir aylık işletme süresini içeren işletme çalışması yapılmıştır. Kullanılan veriler Ekim 2014 dönemine ait olup, barajlara giren ara havza akımları günlük olarak şekil 7.44a, b ve c'de verilmiştir. Şekil 7.45'te ise çoklu baraj sistemi şematik olarak verilmiş ve ay içerisinde gerçekleşmiş olan göl seviyeleri verilmiştir.

Gerçek baraj sisteminde yapılan çalışmada gerçekleşmiş ay sonu göl seviyeleri hedef seviye olarak belirlenerek bir aylık işletme süresinde aynı gelen su miktarı doğrultusunda yapılabilecek en yüksek enerji üretimi araştırılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında göl alanındaki buharlaşmalar dikkate alınmıştır.

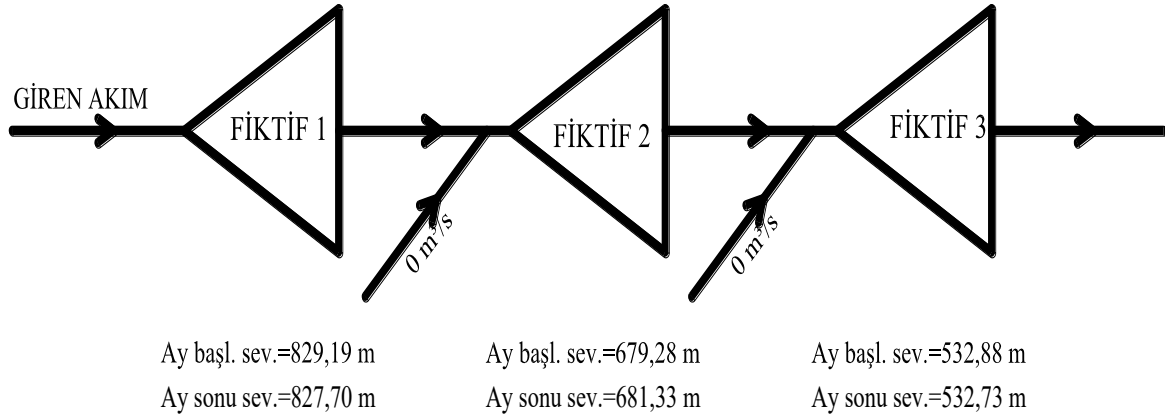
Ay içinde gerçekleşmiş enerji üretimleri incelendiğinde üçlü baraj sisteminde 2 gün hariç en düşük günlük 10 milyon kWh enerji üretimi yapıldığı izlenmiştir. Enerji üretimi en iyilemesi çalışmalarında enerji üretiminin zamanlama ve miktarı göz ardı edilmektedir. Bu durum önceki bölümlerde (Bölüm 7.1) şekil 7.2 incelendiğinde görülebilmektedir. Çoklu en iyilemede barajların tamamının üretim yapmadığı günler olabilmektedir. Gerçek barajların çalıştırılma koşulları üretim olmayan günü kabul etmemektedir. Bu nedenle enerji en iyilemesi çalışmalarının yanında ek olarak günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi yapılmak koşuluyla enerji en iyilemesi yapılması durumu da ayrıca çalışılmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen baraj seviye değişimleri şekil 7.46'da her baraj için sırasıyla verilmiştir.

Şekil 7.46'da görüleceği üzere çoklu enerji en iyilemesinde Keban Barajı, 15. güne kadar (360. saat) baraj seviyesini yükselterek düşü kazanmıştır. Bu süre zarfından sonra enerji

üretimini arttırarak göl seviyesini düşürmüştür. Ay sonunda ise hedef seviyeyi yakalamıştır. Keban Barajı'nın su tuttuğu ilk 15 günlük dönemde Karakaya Barajı'na yalnız ara havza akımları geldiğinden göl seviyesinde ciddi değişim olmamıştır. Bu süreçte Karakaya Barajı da fazla üretim yapmamaktadır. Keban Barajı'nın yüksek üretim yaptığı dönemde Karakaya Barajı gelen suları tutarak göl alanını arttırmış, 23. günden itibaren üretimi arttırıp hedef seviyeyi yakalayacak biçimde göl seviyesini düşürmüştür. Atatürk Barajı ise göl hacminin çok büyük olmasından dolayı aylık işletme süresi boyunca daha stabil olarak hareket etmekte olup, Karakaya Barajı'nın yüksek üretim yaptığı dönemde kendisine gelen suları mansaba türbinleyerek enerji üretimi yapmaktadır.



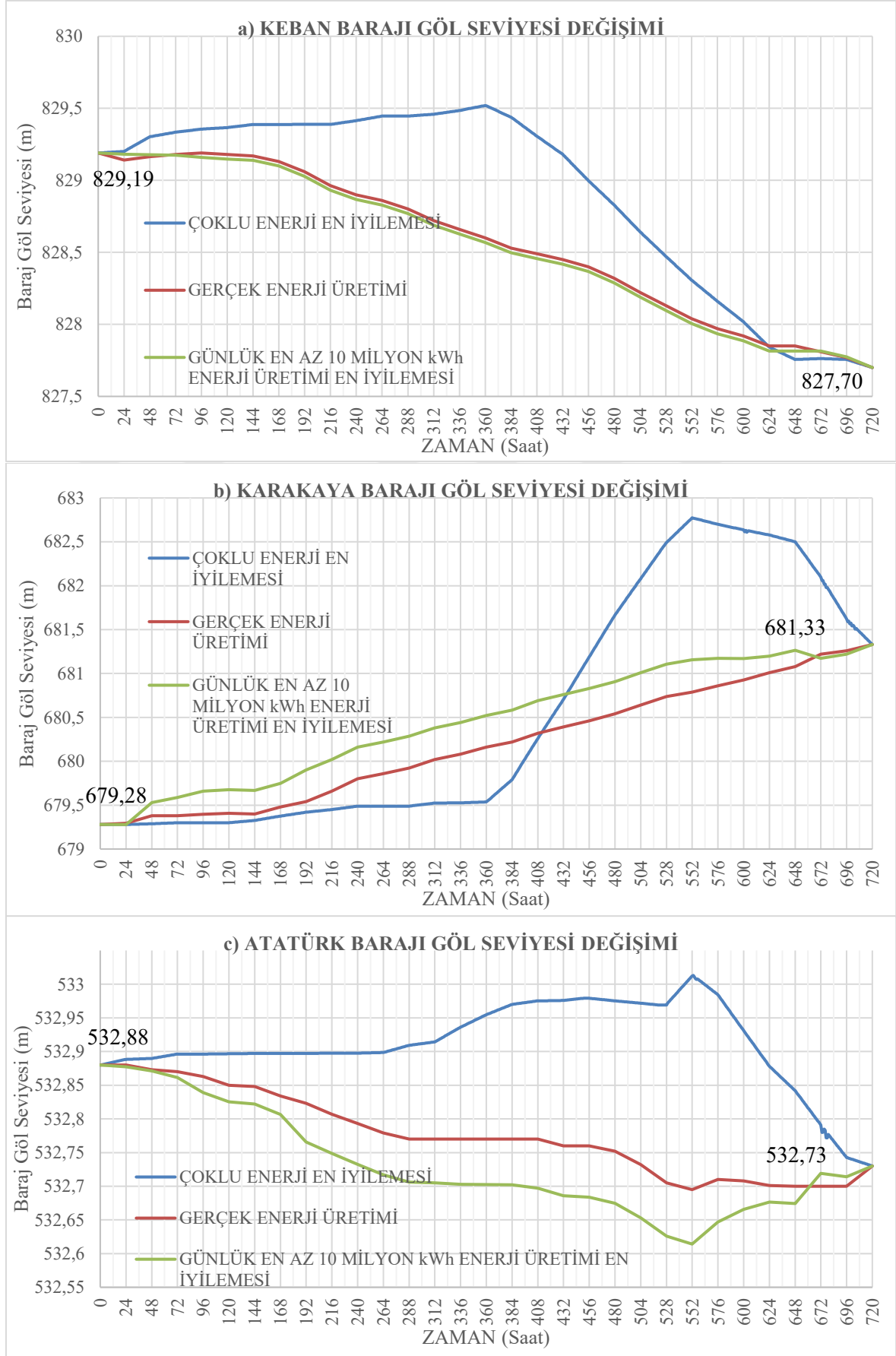
Şekil 7.44. Barajlara gelen günlük ortalama ara havza akımları



Şekil 7.45. Gerçek çoklu baraj sistemi şematik görünümü

Günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi yapılması koşulu dikkate alınarak yapılan enerji en iyilemesinde ise Keban Barajı, çoklu enerji en iyilemesindekinin aksine 7 güne (168. saat) kadar göl seviyesinde büyük değişim olmamıştır. Sonraki süreçte üretimi arttırıp hedef seviyeyi yakalamıştır. Karakaya Barajı ise Keban Barajı'ndan gelen akımlara bağlı olarak göl seviyesinde ilk 6 günde büyük değişimler olmamış, geriye kalan süreçte Keban Barajı'ndan gelen yüksek akımları büyük ölçüde göl alanında tutarak hedef seviyeyi yakalamıştır. Atatürk Barajı ise yaklaşık 23. güne (552. saat) kadar ihtiyaç olan üretimi sağlamak amacıyla mansaba su türbinleyerek göl seviyesini düşürmüştür. Sonraki süreçte hedef seviyeyi yakalayacak biçimde göl alanında gelen sular tutulmuştur.

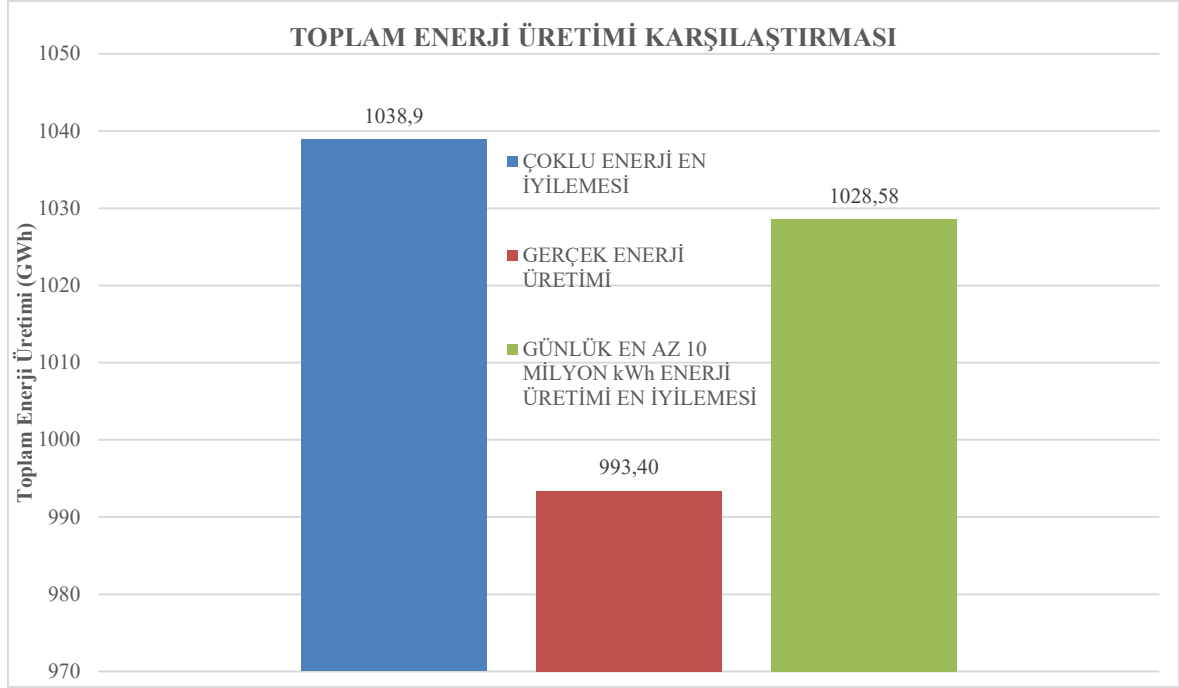
Seviye değişimlerine bağlı olarak elde edilen toplam enerji üretimleri her baraj için şekil 7.47'de verilmiştir. Baraj sisteminden elde edilen toplam enerji miktarları ise şekil 7.48'de verilmiştir. Şekil 7.47 ve 7.48'de görüleceği üzere çoklu enerji üretimi ve günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi koşuluna bağlı enerji üretimi en iyilemesinde gerçek üretime kıyasla toplamda yaklaşık 1038,9/993,4 (%4,6) ve 1028,58/993,4 (%3,5) oranlarında artış meydana gelmektedir. İki üretim incelendiğinde Keban ve Atatürk Barajları'na ait enerji üretimleri birbirine çok benzemekte, Karakaya Barajı'nda günlük enerji üretimi sınırlaması sonrası tekil olarak enerji en iyileme çözümünden daha büyük üretim elde edilmiştir. Şekil 7.46'daki Karakaya Barajı'na ait göl seviyesi değişimlerine bakıldığında göl seviyesinin Keban Barajı'na bağlı olarak yükseldiği gözlenmekle birlikte günlük enerji üretimi talebi durumunda Keban Barajı'ndan gelen daha fazla su, az miktarda Karakaya Barajı'nda tutulmakla birlikte çoğunlukla üretimde kullanılmıştır. Böylece günlük en az üretim talebi doğrultusunda enerji en iyilemesi yapılmasının aslında enerji en iyilemesinde oluşan davranıştan daha farklı sonuçlar elde edilmesine neden olduğu gözlenmektedir.



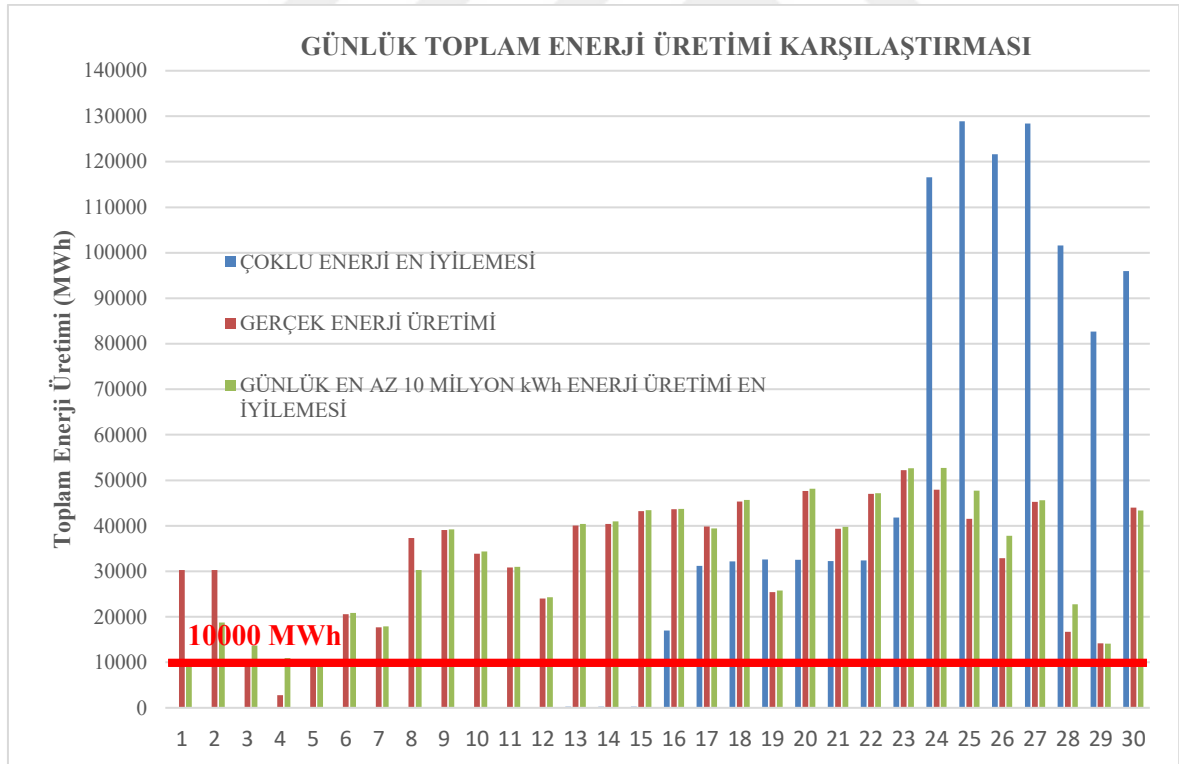
Şekil 7.46. Baraj seviye değişimleri karşılaştırması



Şekil 7.47. Barajların enerji üretimleri karşılaştırmaları



Şekil 7.48. Barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları



Şekil 7.49. Barajların toplam enerji üretimleri karşılaştırmaları

Enerji üretimi en iyilemesi çalışmalarında baz enerji talebi bulunması durumunu daha ayrıntılı inceleyebilmek için günlük yapılan toplam enerji üretimi miktarları karşılaştırmaları

şekil 7.49’da verilmiştir. Şekil 7.49’da görüleceği üzere enerji en iyilemesinde ilk 15 günlük süreçte barajların toplamında çok düşük miktarda üretim gerçekleştirilmiş olup, bu süreçte gelen akımlar daha çok rezervuarda tutularak göl seviyeleri arttırılmıştır. Sonraki günlerde ise daha yüksek miktarda üretimler yapılmıştır. Günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi yapılması koşulu barajları ilk 15 günlük dönemde üretime zorlayarak göl seviyelerinin daha az miktarda değişmesine sebebiyet vermiştir. Buna bağlı olarak toplamda daha az ama zamana göre daha düzenli dağılan enerji üretimi elde edilmektedir.

Gerçek baraj sistemi verileri üzerinden yapılan çalışmada 1038,9/993,4 (%4,6) ve 1028,58/993,4 (%3,5) gibi oranlarda enerji üretimi artışları elde edilmiştir. EÜAŞ’ın birlikte işletmekte olduğu hidroelektrik santraller, termik ve diğer santraller dikkate alındığında üretilmesi gereken talep miktarını bu sistemlere dağıtması doğrultusunda enerji üretimleri yapılmaktadır. İncelenen söz konusu zamanda gerçekleşmiş ay başı ve ay sonu göl seviyeleri ile gelen akımlar doğrultusunda enerji en iyilemeleri çalışılmış, söz konusu barajlardan enerji üretimi konusunda artış elde edilmiştir.

Ortalama olarak belirtilen günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi dışında program yardımı ile her gün üretilebilecek sürekli en yüksek üretim araştırılmıştır. Bu üretim 12,2 milyon kWh değerine yaklaşmıştır. Bir başka ifade ile verilen kotlar arasında Ekim 2014 ayı içinde fazlası ile üretilen günler ayrı tutulursa günlük en az 12,2 milyon kWh üretim mümkün gözükmektedir.

Yapılan çalışmalar, fiktif ve gerçek çoklu baraj sistemlerinde enerji üretimi artışlarının elde edildiğini ortaya koymaktadır. Oluşturulan model ile üç ardışık barajın yer aldığı çoklu baraj sisteminden altı barajın seri ve paralel şekilde bağlı bulunduğu sisteme kadar çok çeşitli sistemler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen enerji üretimi artış miktarları barajların başlangıç ve hedef seviyeleri doğrultusunda çoklu baraj sistemi içerisinde yüklendikleri oranlara bağlıdır. Enerji üretimi artışlarının yanı sıra su sarfiyatının dikkate alınması durumunda enerji üretimlerinin incelendiği çalışmalar da ayrıca yapılmıştır.

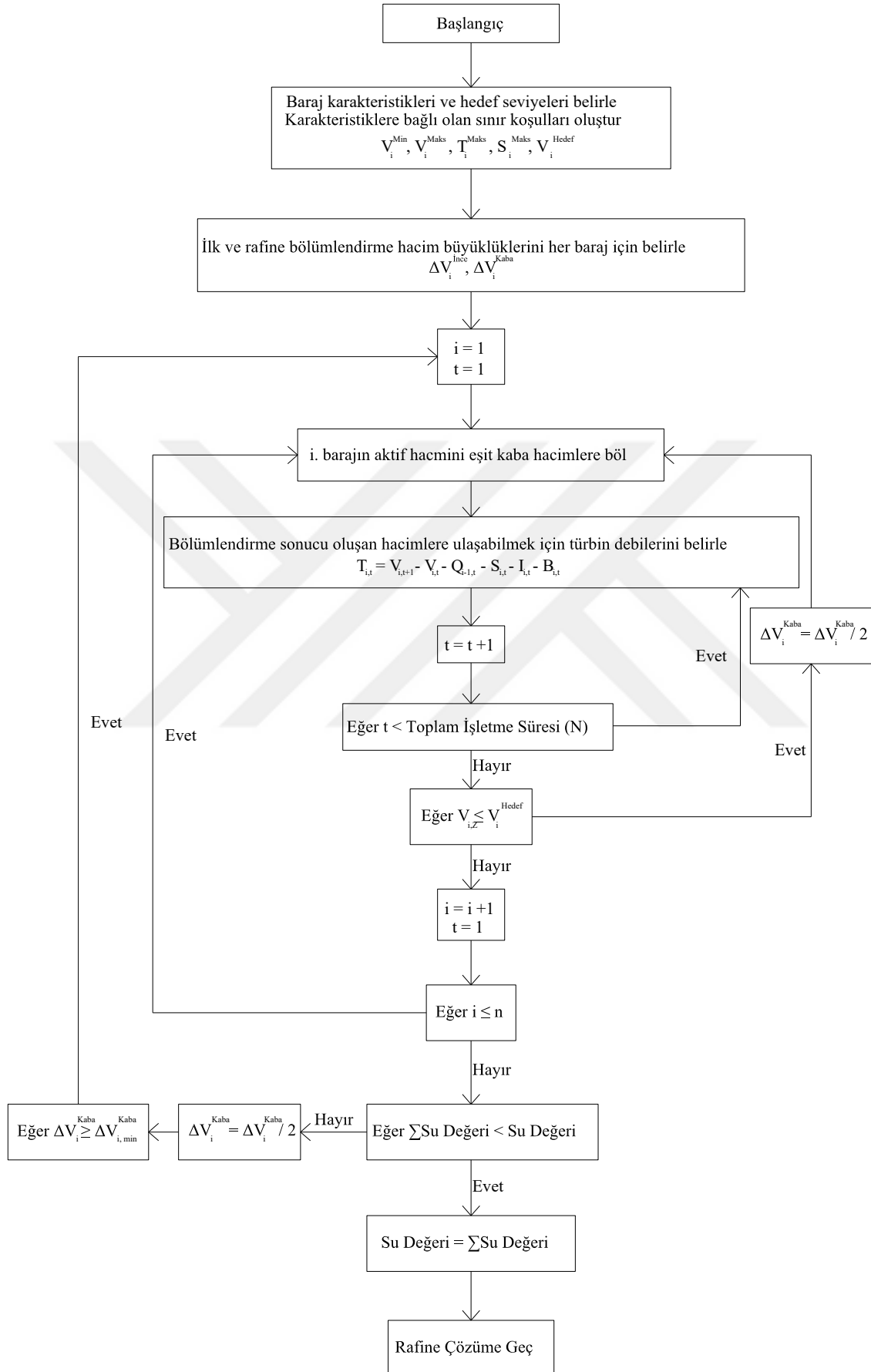


8. BİRİM ENERJİ BAŞINA EN AZ SU SARFIYATI İLE ENERJİ ÜRETİMİ YAPILAN ÇOKLU BARAJ SİSTEMLERİ

Çoklu barajlarda uzun dönemli işletmeler dikkate alındığında her zaman enerji ve geliri en yüksekte tutmanın tesisler için yapılabilecek iyi bir işletme biçimi olmayacağı durumlar söz konusu olabilmektedir. Örneğin incelenen işletme döneminin sonunda tesislerin kurak bir döneme denk gelmesi ve buna bağlı olarak işletme döneminde kurak dönemin varlığı düşüncesi ile barajların üretimini kısıarak rezervuarlardaki suyun tutulmasını tercih etmek uzun vadede daha anlamlı bir işletme elde edilmesine olanak verebilir. Bu amaçla yukarıda bahsi geçen çalışmalara ek olarak çoklu baraj sistemlerinde işletme süresi sonunda hedef seviyesi belli barajlar için en az talep edilen enerji kadar üretim yapılması kaydıyla mümkün olabilecek birim enerji başına en az su ile enerji üretiminin yapılması modeli çalışılmıştır.

Günümüzde küresel iklim değişikliklerinin günlük yaşamımızda hissedildiği, tartışıldığı ve çözümler arandığı bu dönemde suyun önemi her geçen gün daha artmaktadır. Baraj işletmeciliğinde enerji üretimini arttırmak kadar üretim için harcanacak su miktarını azaltmak da son derece önemlidir. Hidroelektrik enerji üretiminde kaynak, dere yataklarından gelen suya bağlı olduğundan, depolanan su miktarını verimli kullanmak son derece önemlidir. Bu anlamda enerji üretimi en iyilemesinin yanında türbinlenen su miktarının azaltılması da ayrıca önem arz etmektedir. Bu iki durumun ara çözümünü elde edebilmek amacıyla işletme süresi sonunda hedeflenen baraj seviyelerinin ve işletme süresince talep edilen en az üretim miktarının bilindiği bir model oluşturulmuştur.

En yüksek enerji üretiminin yanı sıra ayrıca su kullanımını dikkate almak amacıyla oluşturulmuş olan bu modelde işletme süresince talep edilen enerji miktarının bilinmesi esastır. Aksi takdirde söz konusu süre içerisinde suyun en az harcanmasına karşılık gelecek çözüm, baraj rezervuarlarının gelen sular karşısında en yüksek seviyelerine kadar dolmaları ve sonrasında gerektiğinde gelen su kadarını harcayarak baraj seviyelerini düşürmemeleri şeklinde olacaktır. Bu durum gerçek bir baraj işletmesine örnek olamayacağından söz konusu modelin çalışabilmesi amacıyla bir enerji talebi söz konusu olmalıdır. Bahsi geçen modelde enerji talebinden fazla enerji üretilmesi, birim enerji başına minimum su harcanması ile amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında birim enerjinin elde edilmesi için harcanması gereken su miktarına “su değeri” denilmiş ve en iyileme çalışmalarında çoklu baraj sistemindeki toplam su değerinin sınır koşulları çerçevesinde minimize edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 8.1. İnce çözümlemeye ait akış diyagramı

Çoklu baraj sistemlerinde birim enerji başına en az su sarfiyatının olması, dere yatağından gelen suyun mümkün olduğunca baraj göl alanında tutulması ve mansaba bırakılmaması ile mümkün olabilmektedir. Eğer baraj göl alanı doluyor ve daha fazla depolama kapasitesi bulunmuyor ise dere yatağındaki su miktarı kadar su türbinlenerek mümkün olduğunca fazla su depolanabilir. Ancak bu şekilde yapılan bir işletmede elde edilecek enerji üretimi gelecek akım büyüklüğü ile sınırlı olup, daha fazla enerji üretimi yapılamayacaktır. Bu durumun önüne geçmek amacıyla oluşturulan bilgisayar programında çoklu baraj sistemlerinden istenecek en az üretim miktarı girilmesi talep edilmektedir. Söz konusu üretim miktarının yalnızca gelen akımın bırakılması ile üretilecek enerji miktarından fazla, enerji en iyilemesi sonucundan ise az olması gerekmektedir. Önceki bölümlerde ifade edilen sınır koşullarının yanında yapılması istenilen en az enerji üretimi talebi de girilerek enerji en iyilemesinin yanında türbinlenecek birim enerji başına su miktarının da en az olması problemi çözülebilir hale gelmektedir. Eğer gelen akım miktarından az bir enerji üretimi talebi yapılırsa, elde edilecek üretim sonucu yukarıda ifade edildiği gibi barajların göl seviyelerini olabildiğince doldurup yalnızca gelen su kadar mansaba su bırakılan işletmeler olacaktır. Eğer enerji en iyilemesinden fazla talep olur ise bu üretimin karşılanamamasından ötürü sonuç elde edilemeyecektir.

Matematiksel olarak ifade edildiği takdirde su değeri ile yapılan en iyileme çalışmalarında amaç fonksiyonu Eş. 4.7'den farklı olarak yalnızca enerjinin maksimize edilmesi yerine çoklu baraj sistemindeki toplam su değerinin minimize edilmesini kapsamaktadır. Çoklu baraj sistemindeki toplam su değeri hesaplaması şu şekilde yapılmaktadır:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^N Su \text{ Değeri} = \frac{T_{i,t} \times t}{Enerji_{i,t}} \quad (8.1)$$

Eş. 8.1'de toplamda n barajlı çoklu baraj sisteminde N süresindeki toplam işletme periyodu boyunca karar verilen türbinlenecek su hacmi ile elde edilecek enerji üretimlerinin birbirine oranlanması ile hesaplanmaktadır. $T_{i,t}$ ifade t zamanında i nolu barajda enerji üretimi için türbinlenen su hacmini, $Enerji_{i,t}$ ifade ise aynı zamanda üretilen enerji miktarını ifade etmektedir. Bölüm 5'te verilen sınır koşullarına ek olarak toplam enerji üretimi için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$Talep \leq \sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^N Enerji_{i,t} \quad (8.2)$$

Eş. 8.2’de verilen enerji talebi için Eş. 8.3 yazılabilir.

$$0 < Talep < Enerji_{maks} \quad (8.3)$$

$Enerji_{maks}$ ifadesi, enerji en iyilemesi ile çoklu baraj sisteminden elde edilen toplam enerji üretimi miktarını göstermektedir.

Eş. 8.1’de görüleceği üzere toplam su değerinin azaltılması, enerji üretimi için kullanılacak su hacminin azaltılması ve/veya enerji üretiminin arttırılması ile mümkün olabilmektedir. Türbinlenecek su hacminin azalmasına karşılık enerji üretiminde artış olabilmesinin tek yolu enerjiye esas düşünün artmasıdır. Barajlarda enerjiye esas düşünün çoğunlukla göl seviyesinden kaynaklandığı önceki bölümde bahsedilmiştir. Dolayısı ile su değerinin minimize edilebilmesi için türbinlenecek toplam su hacmi azaltılırken, daha yüksek baraj göl seviyelerinde üretim yapılarak hedef seviyelerin yakalanması amaçlanmıştır. Bu koşullar altında söz konusu emele ulaşılabilmesi için enerji en iyilemesinde yer alan amaç fonksiyonunun da değiştirilmesi gerekmektedir. Oluşturulan bu modeldeki amaç fonksiyonu şu şekildedir:

$$Min. Su Değeri = \sum_{i=1}^n \sum_{t=0}^N Su Değeri = \frac{T_{i,t} \times t}{Enerji_{i,t}} \quad (8.4)$$

Eş. 8.4’te elde edilen toplam su değerlerinin minimize edilmesi ile aynı hedef seviyelerine karşılık türbinlenecek suların daha akılcı kullanımı ile en az enerji talebi kadar enerji üretimi yapılmaktadır. Bu şekilde elde edilen toplam enerji üretimi, enerji üretimi en iyilemesinde elde edilen üretimlerden düşük olmakla birlikte barajların uzun vadede daha etkin işletilmelerine olanak sağlamaktadır.

Oluşturulan modelde enerji en iyilemesinde olduğu gibi kaba ve ince çözümleme olmak üzere iki bölüm bulunmaktadır. Kaba çözümlemede enerji en iyilemesi yerine su değeri minimizasyonu yapılırken, ince çözümlemede ise yine gelir en iyilemesi yapılarak en az su harcanmasına karşılık en yüksek gelir elde edilmesi amaçlanmıştır. Bundan ötürü ince çözümleme, enerji en iyilemesi ile aynı formülasyonda çalışmaktadır. Kaba çözümlemeye ait akış diyagramı Şekil 8.1’de verilmiştir.

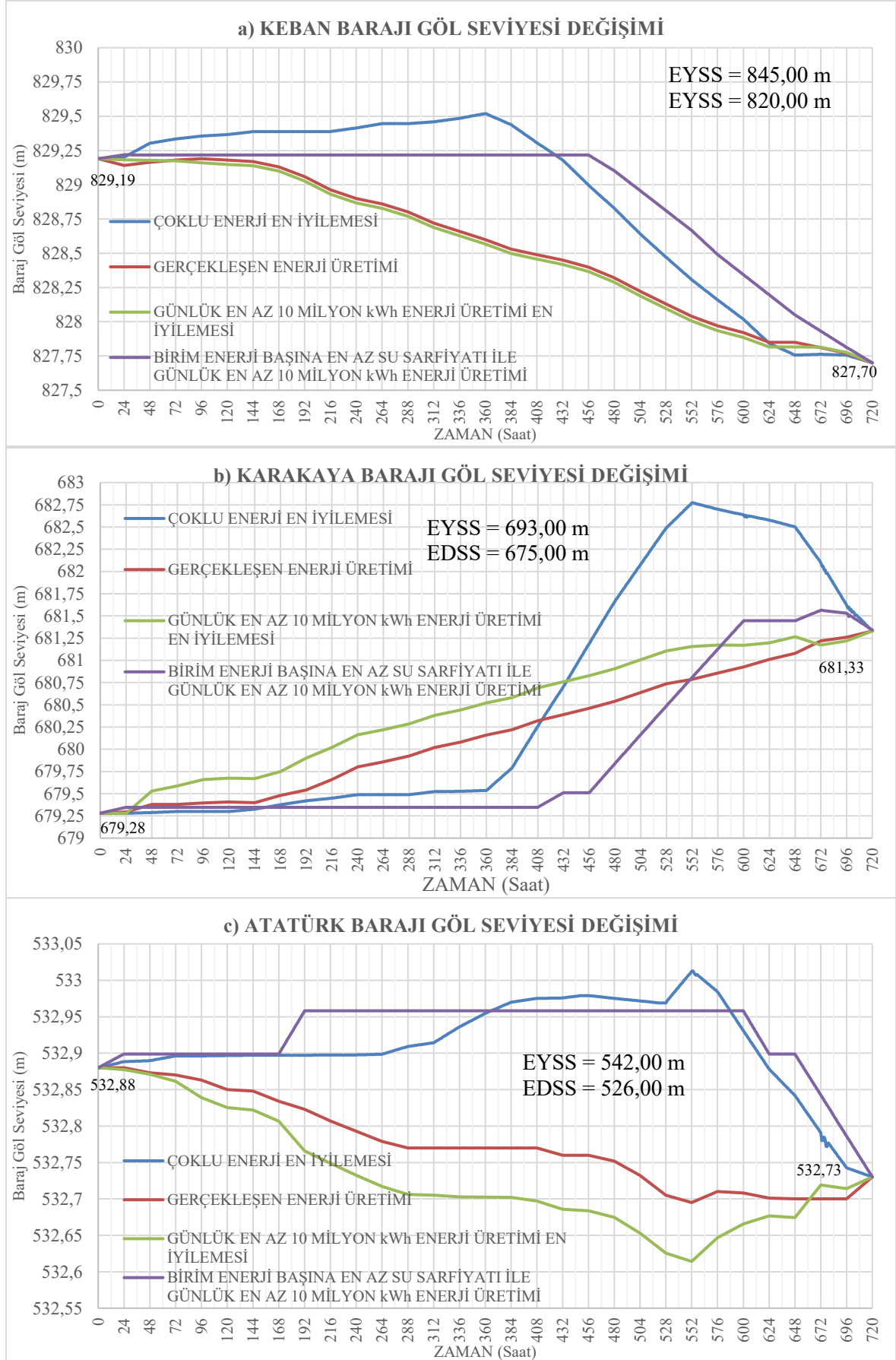
Çoklu baraj sisteminde toplam birim enerji başına su sarfiyatının en az, enerji üretiminin ise en çok olduğu üretim şeklini belirleyebilmek amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Söz konusu çalışma üçlü gerçek baraj sistemi üzerinde yapılmış olup, bölüm 8.1’de ayrıntıları ile verilmiştir.

8.1. Üçlü Baraj Sisteminde Birim Enerji Başına En Az Su Sarfiyatı Çalışması

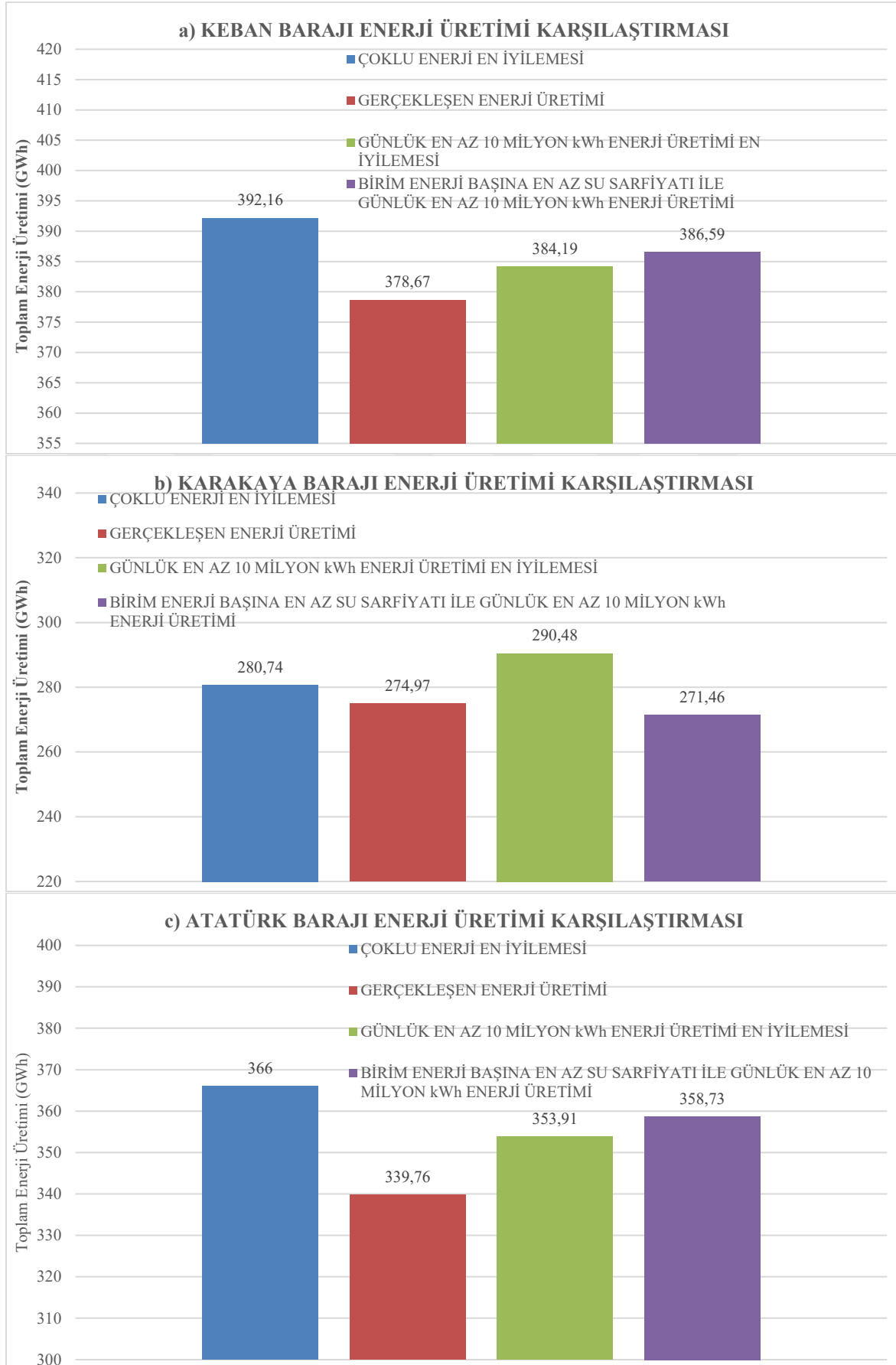
Birim enerji başına su sarfiyatı minimizasyonuna ilişkin yapılan çalışma daha önce şekil 7.45’te verilen üç seri bağlantılı barajdan oluşan çoklu baraj sistemi üzerinde çalışılmıştır. Keban, Karakaya ve Atatürk baraj sisteminde bölüm 7.7’de yapılan çalışmada enerji en iyilemesi ve günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi yapılması durumunda enerji iyilemesi yapılarak bir aylık süre zarfında baraj sisteminden toplam sırasıyla 1038,9 ve 1028,58 GWh enerji elde edilmiştir. Birim enerji başına su sarfiyatının azaltılması ile üretilebilecek enerji üretiminin bu değerden daha az olması beklenmektedir.

Yapılan çalışma neticesinde baraj göl seviyeleri değişimleri şekil 8.2’de verilmiştir. Şekil 8.2’de bölüm 7.7’de elde edilen enerji en iyilemesi çözümü ve elde edilen rafine çözümler (Birim enerji başına en az su sarfiyatı) birlikte verilmiştir. Şekil 8.2’de verilen göl seviyeleri incelendiğinde su değeri çözümü ile günlük en az 10 milyon kWh üretim olması durumundaki enerji en iyilemesi sonuçları arasında Keban Barajı’ndaki seviye değişimi tamamen farklıdır. Günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi olması çalışmasında işletme süresi boyunca baraj seviyesinin azalarak hedef seviyeye ulaştığı görülmektedir. Su sarfiyatı minimizasyonunda ise baraj göl seviyesi belli bir süre boyunca (456. saate kadar) seviyesini koruyup sonradan hedef seviyeyi yakalamaktadır. Karakaya Barajı’nda ise Keban Barajı’nın üretimlerine bağlı olarak su değeri çözümündeki göl seviyeleri diğer çözüme kıyasla daha aşağı kottlarda yer almaktadır. Atatürk Barajı’nda ise Keban Barajı’na benzer biçimde su değeri çözümündeki göl seviyeleri belli bir süre aynı kotta gidip sonradan hedef seviyeyi işletme sonunda yakalamıştır. Tüm çözümlere ait enerji üretimleri karşılaştırmaları şekil 8.3’de verilmiştir.

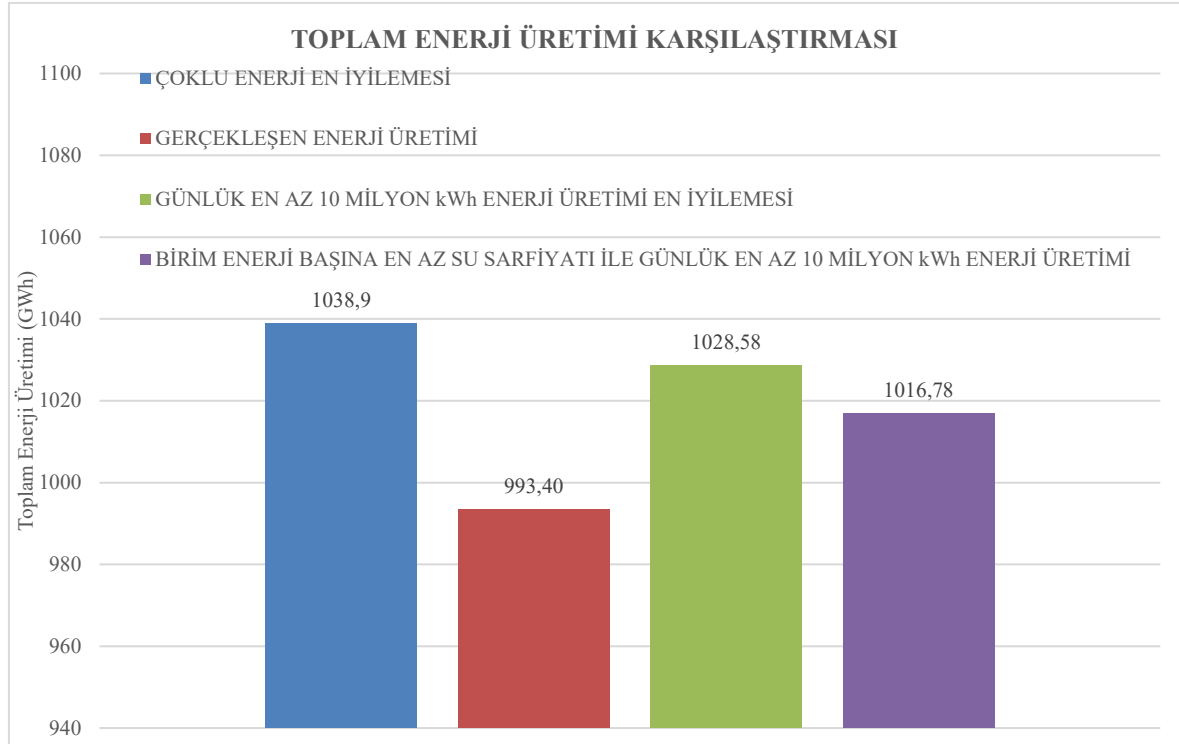
Şekil 8.3’de görüleceği üzere Keban ve Atatürk Barajları günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi en iyilemesi çözümündekinden daha yüksek enerji üretimleri yapmakla birlikte Karakaya Barajı daha düşük üretim yapmaktadır. Burada aradaki en büyük fark Karakaya Barajı’nda meydana gelmektedir.



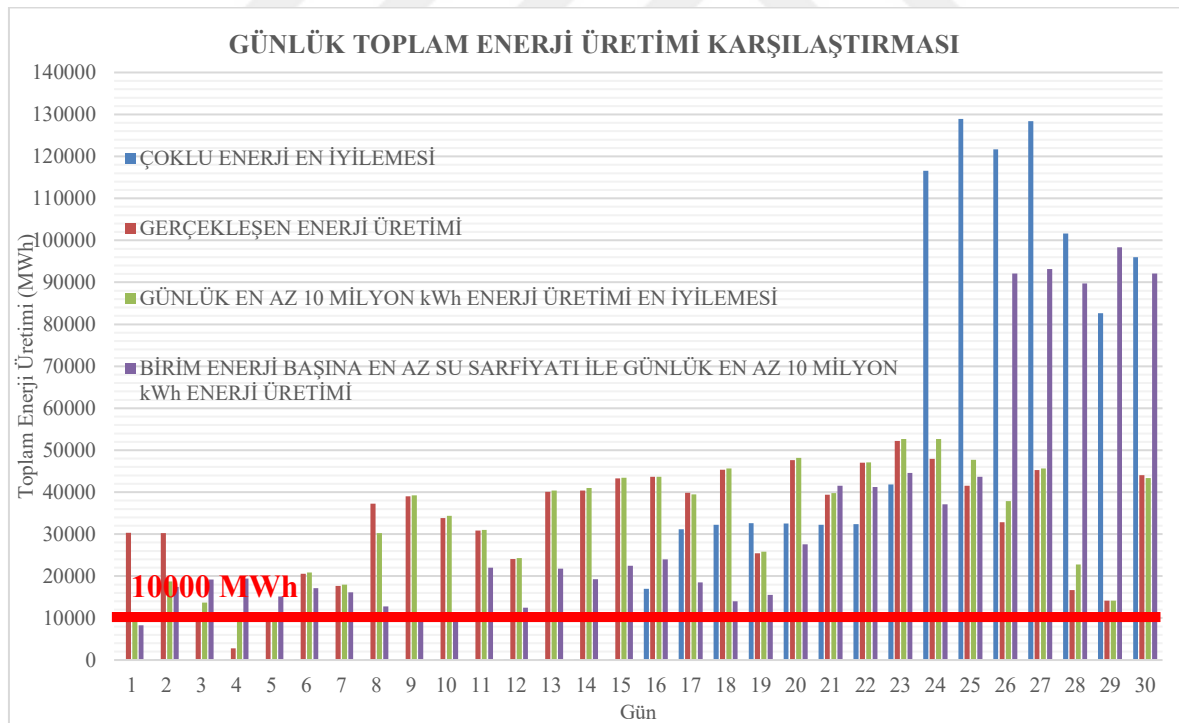
Şekil 8.2. Çoklu gerçek baraj sisteminde zamana bağlı baraj göl seviye değişimleri



Şekil 8.3. Barajların enerji üretimi karşılaştırmaları



Şekil 8.4. Barajların toplam enerji üretimi karşılaştırmaları



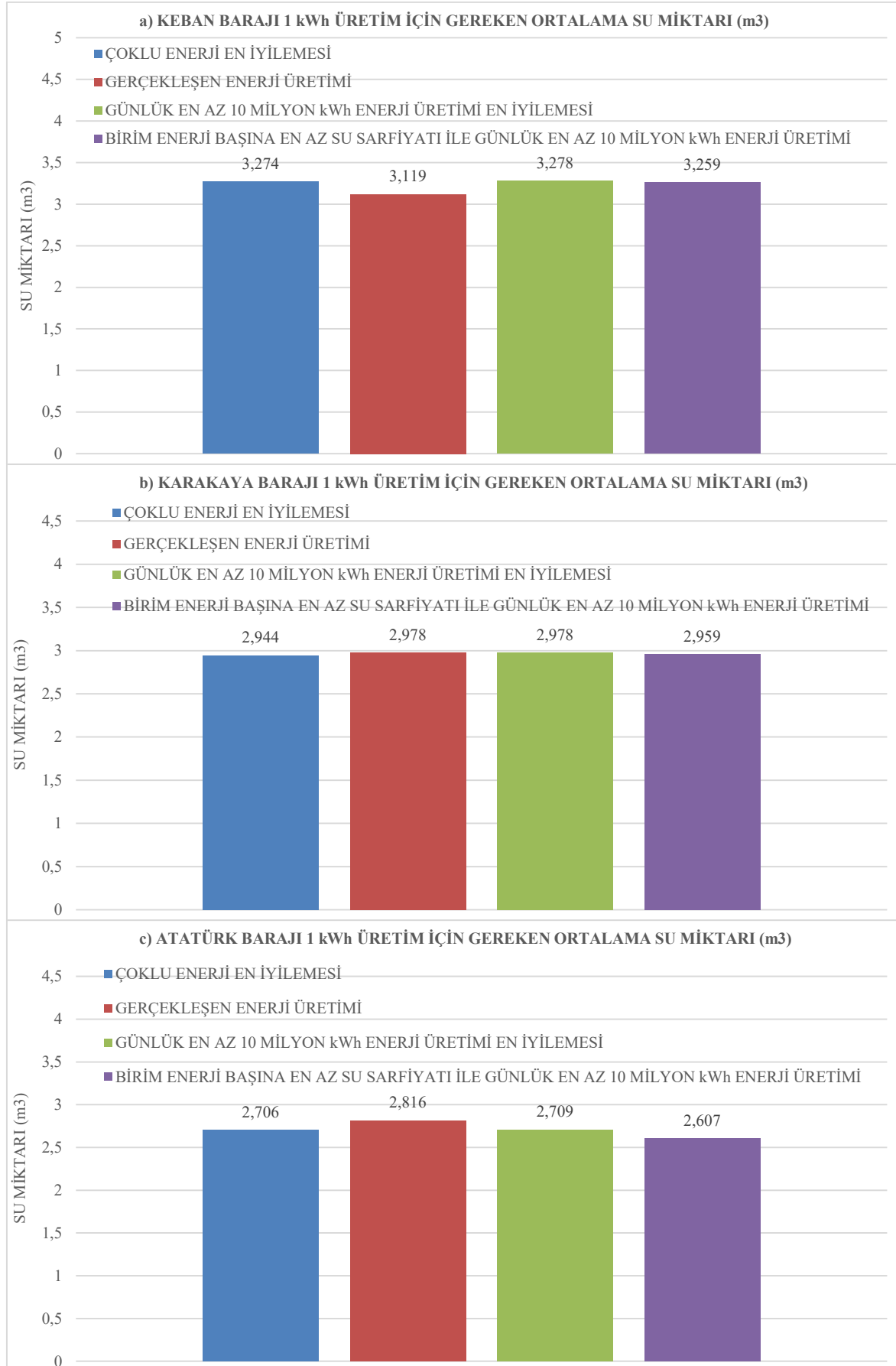
Şekil 8.5. Barajların günlük toplam enerji üretimi karşılaştırmaları

Şekil 8.4’de verilen tüm barajlara ait toplam enerji üretimlerinde su değeri çözümünün gerçek enerji üretiminden yaklaşık 1016,78/993,40 (%2,35) oranında fazla olduğu görülmektedir. Su değeri çözümü günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi en iyilemesi

çözümünden ise yaklaşık 1028,58/1016,78 (%1,18) daha azdır.



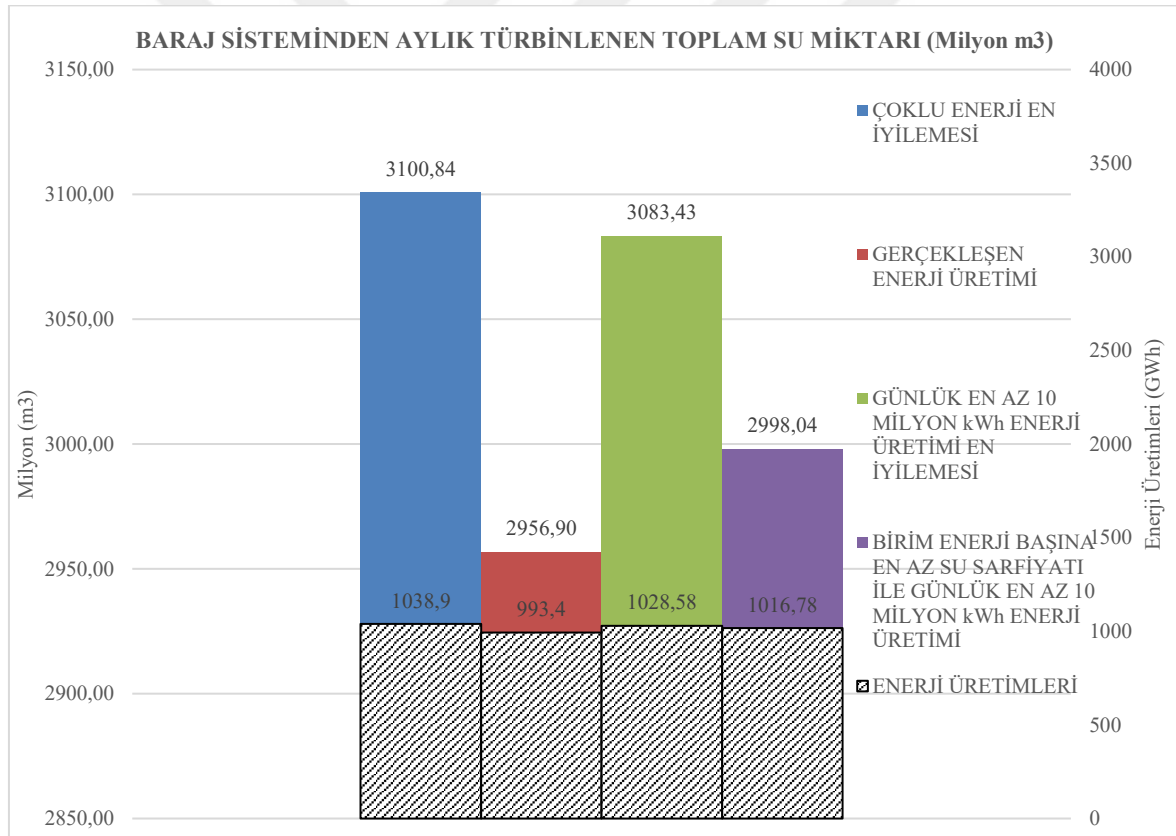
Şekil 8.6. Barajların aylık türbinlenen toplam su miktarı karşılaştırmaları



Şekil 8.7. Barajların ortalama su değeri karşılaştırmaları

Enerji üretimi ve seviye değişimlerinde yaşanan değişimin temeli harcanan toplam su miktarlarına bağlıdır. Günlük enerji üretimi miktarlarının karşılaştırması şekil 8.5’de, tüm barajların harcanan toplam su miktarları ise şekil 8.6’da verilmiştir. Barajlara ait su değerleri şekil 8.7’de, toplam harcanan su miktarları şekil 8.8’de, toplam su değerleri ise şekil 8.9’da verilmiştir.

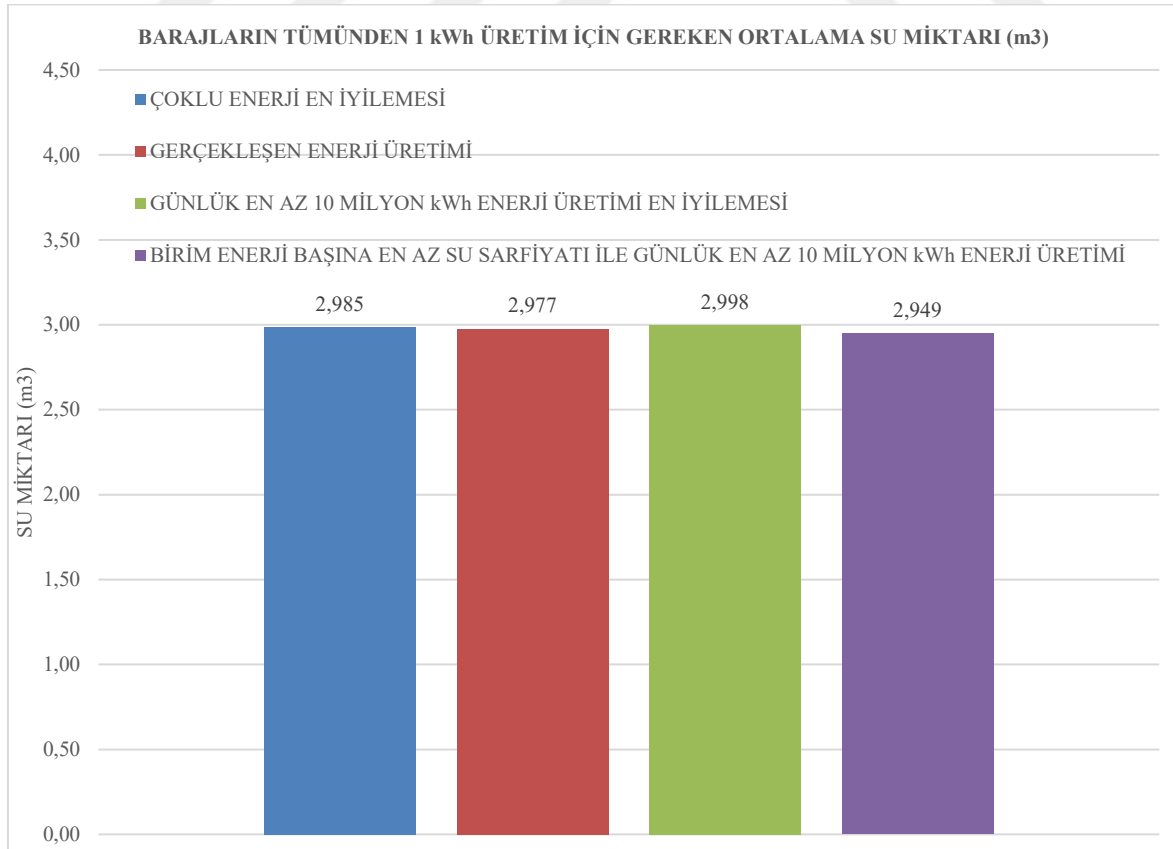
Şekil 8.5’te verilen enerji üretimlerinde görüleceği üzere çoklu enerji en iyilmesi ve gerçekleşen enerji üretiminde günlük 10 milyon kWh’ten az enerji üretimi yapılan günler mevcuttur. Buna bağlı olarak enerji en iyilemesinde işletme sonuna doğru çok yüksek üretimler olduğu görülmektedir. Diğerler çalışmalarda ise daha dengeli üretim dağılımı bulunmaktadır.



Şekil 8.8. Barajların toplam harcanan su miktarı karşılaştırmaları

Şekil 8.6’da görüleceği üzere Keban Barajı’nda su sarfıyatı çözümünde türbinlenen toplam su miktarı, gerçekleşen enerji üretiminden fazla olup, diğer barajlarda tersi bir durum söz konusudur. Keban Barajı’nda gerçek üretime kıyasla yaklaşık 1259,71/1181,10 (%6,66) daha fazla su kullanılmakta olup, Karakaya Barajı’nda 818,89/803,22 (%1,95), Atatürk

Barajı'nda ise yaklaşık 956,91/935,11 (%2,33) oranında daha az su kullanılmaktadır. Günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi en iyilemesi sonuçlara kıyasla ise Keban Barajı dışında (şekil 8.6a) harcanan su miktarlarında azalma olduğu görülmektedir. Şekil 8.6a'da görüleceği üzere Keban Barajı'nda 1259,71/1259,56 (%0,01) gibi çok düşük bir oranda daha fazla su türbinlendiği görülmektedir. Karakaya Barajı'nda ise şekil 8.6b'de görüleceği üzere 865,09/803,22 (%7,7), Atatürk Barajı'nda ise şekil 8.6c'de görüleceği üzere 958,78/935,11 (%2,53) oranlarında daha az su türbinlendiği görülmektedir. Toplam azalma oranı ise şekil 8.8'de görüleceği üzere yaklaşık 3083,43/2998,04 (%2,84) mertebesindedir. Buna karşılık enerji üretimlerinde ise şekil 8.3a'da görüleceği üzere Keban Barajı'nda 386,59/384,19 (%0,62) oranda üretim artışı elde edilirken, Karakaya Barajı için şekil 8.3b'de görüleceği üzere 290,48/271,46 (%7) üretim azalışı görülmektedir. Atatürk Barajı için şekil 8.3c'de görüleceği üzere 358,73/353,91 (%1,36) oranlarında üretim artışı elde edilmektedir. Toplam enerji üretimindeki azalış ise şekil 8.4'te görüleceği gibi 1028,58/1016,78 (%1,16) mertebesindedir. Su sarfiyatı çözümü ile günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi en iyilemesi çözümüne göre tüm barajlardan harcanan toplam su miktarında yaklaşık %2,84 oranında azalma olmasına rağmen enerji üretimi yalnızca %1,16 oranında azalmıştır.



Şekil 8.9. Barajların ortalama toplam su değeri karşılaştırmaları

Barajlarda 1 kWh enerji üretimi için gereken ortalama su miktarlarına (su değeri) bakıldığında da benzer bir sonuç görülmektedir. Şekil 8.7a, b ve c’de verilen ortalama su değerlerine bakıldığında her üç baraj için en düşük ortalama su değerleri birim enerji başına en az su sarfıyatı ile günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi yapılması durumunda elde edilmektedir. Barajların toplam üretimleri ve toplam türbinlenen su miktarına göre şekil 8.9’da verilen toplam su değerleri tablosunda da bu durum görülmektedir.

Şekil 8.9, 8.8 ve 8.4’e bakıldığında çoklu enerji en iyilemesi ve günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi en iyilemesi çözümlerinde gerçek üretime kıyasla daha fazla enerji üretilbildiği görülmektedir. Daha fazla enerji üretilirken aynı zamanda gerçekleşen üretime kıyasla daha fazla su türbinlenmektedir. Şekil 8.9’da çoklu enerji en iyilemesi ve günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi en iyilemesi çözümlerinde su değerleri gerçek üretime kıyasla daha fazladır. Dolayısı ile bu iki çözümde gerçeğe kıyasla daha çok enerji üretilirken daha fazla su harcanmaktadır. Bu durum daha çok enerji üretimi yapılırken harcanmakta olan suyun daha verimsiz kullanıldığını göstermektedir. Su değeri çalışmasında ise gerçek üretime göre daha fazla enerji üretimi yapılmakta iken, üretilen enerji için harcanan birim su miktarı daha azdır. Su değerine bakılarak baraj işletmeciliğinde suyu daha verimli kullanarak enerji üretimi artışı sağlamak mümkün olmakla birlikte, elde edilen artış yalnızca enerji en iyilemesi yapılmasına kıyasla daha azdır.

Yapılan bu modelde daha önce bahsedildiği üzere problem çözümünün başlangıcında çoklu baraj sisteminden talep edilen en az enerji üretimi miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Problem çözümünde fiktif baraj sisteminde olabilecek en yüksek enerji üretimi bilgisayar programı tarafından bilinmemektedir. Günlük en az 10 milyon kWh enerji üretimi talebi esas alınarak birim enerji için su sarfıyatı (su değeri) ince çözümleme aşamasında minimize edilerek bölüm 7.7’de elde edilmiş olan en yüksek enerji üretimine kıyasla daha düşük enerji üretimi elde edilmesine rağmen daha az su kullanılması sağlanmıştır.

Sonuç itibarıyla çoklu baraj sistemlerinde enerji en iyilemesi ile en yüksek enerji üretimi hesaplanırken, harcanacak su miktarı dikkate alınmamaktadır. Suyun günümüz hayattaki değeri ve önemi dikkate alındığında enerji üretimini her zaman en yüksek elde etmek yerine suyu daha verimli kullanarak en yüksek enerji üretimini elde etmek mümkündür.



9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye'nin enerji ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmekte olduğu ve uyguladığı politikalar doğrultusunda enerji verimliliği konusu çok önem arz etmektedir. Gittikçe özelleşme oranı artmakta olan hidroelektrik enerji üretimi dalında yeni projelerin devreye alınarak enerji üretimlerinin artması, ülkemiz enerji ihtiyacının çeşitlenmesini sağlayacaktır. Gün geçtikçe artmakta olan toplam enerji üretimi içindeki hidroelektrik üretim payı, su kaynaklarının daha verimli kullanılması ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. İşletilen hidroelektrik santrallerde enerji üretimini yüksek tutmak önemli olmakla beraber, enerji üretimi esnasında harcanacak su miktarının da işletme sürekliliği göz önüne alındığında önemi ortaya çıkmaktadır. Ayrıca günümüzde küresel ısınma sonucu iklim değişikliklerinin hissedilir ölçüde meydana gelmesi, bilinen yağış rejimlerinin değişmesi sonucunu doğurmuştur. Bu amaçlarla tez kapsamında çoklu baraj sistemleri için öncelikle barajların tekil veya çoklu olarak karar alabilmesinin farklılıkları incelenmiştir. Elde edilen çeşitli enerji üretimlerinde barajların çoklu sistem olarak ele alınıp beraber enerji üretimleri planlaması yapmalarının toplam enerji üretimini arttırdığı görülmüştür.

Enerji üretimi artışı dışında hem enerji üretiminin mümkün olduğunca fazla olması hem de birim enerji üretimi için harcanan su miktarının olabildiğince azaltılmasına dönük çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda gerçek baraj sistemi üzerinde gerçekleşen su sarfiyatları neticesinde daha az miktarda enerji kayıpları elde edilebildiği görülmüştür. Bu şekilde birim suyla üretilen toplam enerji üretimi miktarı arttırılmıştır. Suyun daha verimli kullanılması sağlanmıştır.

Enerji üretimi ve su sarfiyatı çalışmaları dışında günümüzde özel işletmeler tarafından inşa edilip devreye giren tesislerin enerji üretimlerinde işletme karar mekanizmasında önemli rolü olarak enerji geliri de dikkate alınmıştır. Enerji üretimini en yüksek noktaya taşıırken zamana bağlı olarak değişen birim enerji geliri dikkate alınarak toplam enerji gelirinin de en iyilemesi yapılmıştır. Enerji geliri saat bazlı olarak değişim gösterdiğinden saatlik bazda enerji geliri dikkate alındığında göl seviyelerinde değişimler meydana geldiği gözlenmiştir.

Suyun kullanımı konusunda artması ile hem enerjideki dışa bağımlılık azalacak, hem de ülkemiz kaynaklarının daha ileri nesillere aktarımı sağlanacaktır. Yıllık devlet

harcamalarında çok önemli bir yeri olan enerji harcamaları azalacağı için genel refaha çok büyük ekonomik katkı sağlanmış olacaktır. Bu hususta özellikle son yıllarda ülke enerji üretiminde önemi artmakta olan hidroelektrik santrallerinin daha verimli kullanılması amacıyla çoklu rezervuar sistemlerinin tek bir noktadan yönetimine bağlı olarak dinamik programlama ile model geliştirilmiştir. Bir havzanın tamamındaki depolamalı hidroelektrik tesislerin bir arada düşünülerek tek bir merkezden kontrol edilmesi ile elde edilebilecek enerji üretimleri irdelenmiştir. Söz konusu çalışmayı yapabilmek için Fortran 95 dilinde bilgisayar programı hazırlanmış ve çok çeşitli karakteristik özelliklere sahip fiktif havzalar üzerinde test edilmiştir. Fiktif havzalar, gerçek havzalara benzeyecek biçimde oluşturulduğundan tesis sayısı, büyüklüğü açısından herhangi bir fark bulunmamaktadır. Oluşturulan bilgisayar programı toplamda altı baraj içeren çoklu baraj sistemini çözebilecek kapasitede oluşturulmuştur.

Yapılan model genel olarak baraj hacimlerinin eşit hacim aralıklarına bölünüp, koridor oluşturulması ve koridorun çözüme göre küçültülüp, kaydırılması işlemlerini barındırmaktadır. Bu işlemler dinamik programlama yöntemiyle son derece karmaşık çoklu rezervuar sistemlerinde bile en iyi çözümün hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır. Günlük üretim planlamalarına son derece hızlı biçimde karar verilmesi gerekmekte olup, yapılan model eş zamanlı verilen günlük üretim kararının aynı zamanda ay sonunda olacak etkilerinin de aynı zamanda görülmesine olanak sağlamaktadır. Fiktif çoklu rezervuar sistemleri üzerinde yapılan çeşitli çalışmalarda günlük, aylık ve yıllık yapılan işletmelerde enerji üretimi en iyilemesi yapılmıştır. Enerji üretimi miktarlarını karşılaştırmak amacıyla barajların tekil olarak en yüksek üretimleri üretme durumları ile çoklu olarak en yüksek üretimi elde etme durumları incelenmiştir. İşletme süresi başı ve işletme süresi sonu baraj göl seviyeleri bilinen ve işletme süresince baraja gelen su miktarının belli olduğu sistemlerde enerji üretiminde elde edilen artış miktarı, incelenen gerçekleşmiş üretimin en iyi sonuca yakınlığına göre değişkenlik göstermektedir. İncelenen fiktif çoklu rezervuar sistemlerinde baraj sistemlerine bağlı olarak ~%5'e kadar aylık enerji üretimi artışı elde edilmiştir. Elde edilen enerji üretimleri ışığında günlük çözümlenen barajlar, saatlik olarak işletilmiş ve enerji gelirleri maksimize edilmiştir. Bu şekilde enerji fiyatlarının büyüklüklerine bağlı olarak ~%6 civarında gelir artışı sağlanmıştır. Yapılan çalışma neticesinde aynı koşullar altında çoklu rezervuar sistemi, tek merkezden yönetilerek sistem verimliliği arttırılmıştır.

Model kapsamında yapılan bir diğer çalışma ise özellikle uzun yıllar işletmesi mevcut olan

barajlara yöneliktir. Bu tip barajların uzun dönem işletme verileri dikkate alınarak barajların işletme kural eğrilerinin tüm havza düşünülerek oluşturulmasına çalışılmıştır. Bu amaçla bir yıllık bir periyot için yıl başı ve yıl sonu hedeflenen baraj seviyeleri ile yıllık ortalama akımları bilinen çoklu rezervuar sisteminde enerji üretimini havzanın tamamı dikkate alınarak en yüksek seviyeye çıkaracak üretim patterni belirlenmiştir. Bu şekilde barajların aylık olarak işletmeleri ve bırakmaları gereken su miktarları belirlenmiştir.

Sonuç olarak tez kapsamında oluşturulan bilgisayar programı ile hem enerji üretimleri en iyilemesi yapılmış, hem de işletmeci düşünülerek bu enerji üretimine bağlı en yüksek getirinin olduğu üretim planlamasının belirlenmesine çalışılmıştır. Bu çalışmalarla birlikte enerji üretiminde harcanan su miktarının daha verimli kullanılması da sağlanarak üretim planlaması yapmaya olanak verecek şekilde ülkemizdeki son yıllarda oluşan gelişmeler dikkate alınarak elektrik piyasasının önümüzdeki yıllarda kullanabileceği, yol gösterici olabilecek bir model geliştirilmiştir.

Mevcut halde işletilmekte olan barajlar ile planlama aşamasında bulunan barajların işletmelerine dönük oluşturulmuş olan model, barajların tekil olarak değil havza bazında bütünsel olarak düşünülmesi esasına dayanmaktadır. Elde edilen sonuçlar bu düşüncenin söz konusu tesislerden daha fazla verim ve yarar sağlanacağını göstermektedir. Ayrıca bu şekilde özellikle son yıllarda küresel ısınma etkisiyle değişiklik göstermekte olan yağış rejimlerine daha uygun işletme kuralları oluşturulabilir. Ayrıca gün geçtikçe artmakta olan enerji yatırımları neticesinde artmakta olan enerji kaynakları, ortaya konan çalışmanın diğer enerji kaynaklarındaki üretim bilgileri ile harmanlanarak yalnızca havza bazında olmayıp, ülke üretimi bazında ilgili yöneticilere yol gösterebilecek biçimde bir çalışma yapılabilceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Afshar, M., Shahidi, M. (2009). Optimal solution of large-scale reservoir operation problems: Cellular-automata versus heuristic-search methods. *Engineering Optimization*, 275-367.
- Altınbilek, D., Çalapöver, H. M. (1978, Eylül-Ekim). Baraj İşletmesinin Değer Yineleme Yoluyla En İyilemesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 7-12.
- Azamathulla, H. M., Wu, F., Ghani, A. A., Narulkar, S. M., Zakaria, N. A., Chang, C. K. (2008). Comparison between Genetic Algorithm and Linear Programming Approach for Real Time Operation. *Journal of Hydro-Environment Research*, 172-181.
- Barros, M. T. L., Lopes, J. E. G., Yang, S., Yeh, W. (2001). Large-Scale Hydropower System Optimization. *Integrated Water Resources Management*, 263-268.
- Barros, M. T. L., Tsai, F. T-C., Yang, S., Lopes, J. E. G., Yeh, W. (2003, May-June). Optimization of Large-Scale Hydropower System Operations. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 178-188.
- Becker, L., Yeh, W. (1974, December). Optimization of Real Time Operation of A Multiple Reservoir System. *Water Resource Research*, 1107-1112.
- Braga, B. P. F., Yeh, W., Becker, L., Barros M. L. (1991). Stochastic Optimization of Multiple-Reservoir System Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 471-481.
- Chandramouli, V., Kuppusamy, K. A., Manikandan, K. (2002). Study on Water Sharing in a Multi-Reservoir System using a Dynamic Programming - Neural Network Model. *Water Resources Development*, 425-438.
- Cheng, C. T., Wang, W. C., Xu, D. M., Chau, K. (2008). Optimizing Hydropower Reservoir Operation Using Hybrid Genetic Algorithm and Chaos. *Water Resources Management*, 895-909.
- Crawley, P. D., Dandy, G. C. (1993). Optimal Operation of Multiple Reservoir System. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 1-17.
- Ehteram, M., Karami, H., Mousavi S. F., El-Shafie, A., Amini, Z. (2017), Optimizing Dam and Reservoirs Operation Based Model Utilizing Shark Algorithm Approach. *Knowledge-Based Systems*, 26-38.
- Güner, Y. (2011). *Dinamik Programlama ile Baraj İşletim Çalışması, Sır ve Berke Barajı Örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 14-56.
- Heydari, M., Othman, F., Qaderi K. (2014, July). Developing Optimal Reservoir Operation for Multiple and Multipurpose Reservoirs Using Mathematical Programming. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, 1-11.
- Heydari, M., Othman F., Taghieh M. (2016, June). Optimization of Multiple and

- Multipurpose Reservoir Systems Operations by Using Matrix Structure (Case Study: Karun and Dez Reservoir Dams). *Plos One*, 1-16.
- Hınçal, O., Sakarya, A. B. A., Ger, A. M. (2010). Optimization of Multireservoir Systems by Genetic Algorithm. *Water Resource Management*, 1465-1487.
- Karamouz, M., Houck, M. H., Delleur, J. W. (1992). Optimization and Simulation of Multiple Reservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 71-81.
- Kumar, D. N., Baliarsingh, F. (2003). Folded Dynamic Programming for Optimal Operation of Multireservoir System. *Water Resources Development*, 337-353.
- Labadie, J. W. (2004). Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 93-111.
- Martin, Q. W. (1983). Optimal Operation of Multiple Reservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning And Management*, 58-74.
- Marino, M. A., Mohammadi, B. (1983). Reservoir Operation By Linear and Dynamic Programming. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 303-319.
- Mclaughlin, D., Velasco, H. L. (1990, April). Real-Time Control of a System of Large Hydropower Reservoirs. *Water Resource Research*, 623-635.
- Moeini, R., Afshar A., Afshar M. (2011), Fuzzy rule-based model for hydropower reservoirs operation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 171-179.
- Mori, N. (2018, February). *Using Dams Effectively and Efficiently through Dam Optimization*. Paper presented at the Dam Optimization for Managing Water-related Climate Risks, Philippines.
- Mousavi, H., Ramamurthy, A. S. (2000). Optimal Design of Multi-Reservoir Systems for Water Supply. *Advances in Water Resources*, 613-624.
- Mousavi, S. J., Zanoosi, A. G., Afshar, A. (2004). Optimization and Simulation of a Multiple Reservoir System Operation. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 409-424.
- Oliveira, R., Loucks, D. P. (1997). Operating Rules of Multireservoir Systems. *Water Resource Management*, 839-852.
- Opan, M. (2011). Çok Barajlı Sistemde Gerçek Zamanlı Optimal İşletme. *İMO Teknik Dergi*, 5359-5385.
- Pekçağlıyan, M. D. (1998). Hidroelektrik Santrallerin Firm ve Sekonder Enerji Üretimlerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu. *Dolsar Mühendislik Limited Şirketi*. Ankara.
- Reznicek, K. K., Simonovic, S. P. (1992). Issues in Hydropower Modeling Using GEMSLP

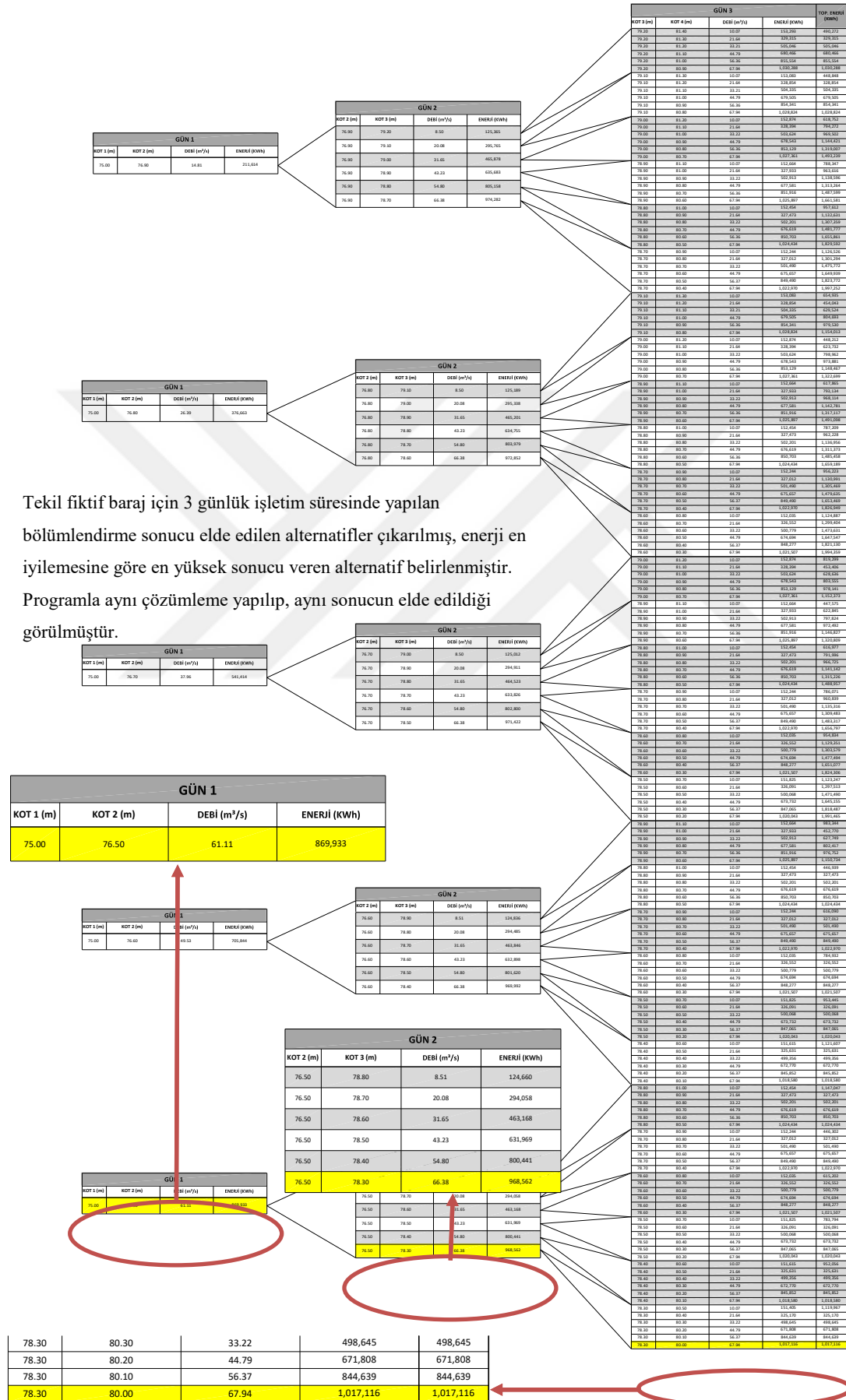
- Algorithm. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 54-70.
- Sharif, M., Wardlaw, R. (2000). Multireservoir Systems Optimization Using Genetic Algorithms: Case Study. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 255-263.
- Tao, T., Lennox, W. C. (1991). Reservoir Operations by Successive Linear Programming. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 274-280.
- Tilmant, A., Faouzi, E. H., Vanclooster M. (2002). Optimal Operation of Multipurpose Reservoirs Using Flexible Stochastic Dynamic Programming. *Applied Soft Computing*, 61-74.
- Uran, M. Ayhan, (1980). *Firm Energy Production Optimization and Monthly Operation of Multi-Reservoir Hydroelectric Systems*. Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Wurbs, R. (1993). Reservoir-system simulation and optimization models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 455-526.
- Yakowitz, S. (1982). Dynamic Programming Applications in Water Resources. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 673-696.
- Yeh, W. W. G. (1985). Reservoir Management and operations models: a state-of-art review, *Water Resources Research*, 1797-1818.
- Yoo, J. (2009). Maximization of Hydropower Generation Through The Application of A Linear Programming Model. *Journal of Hydrology*, 182-187.



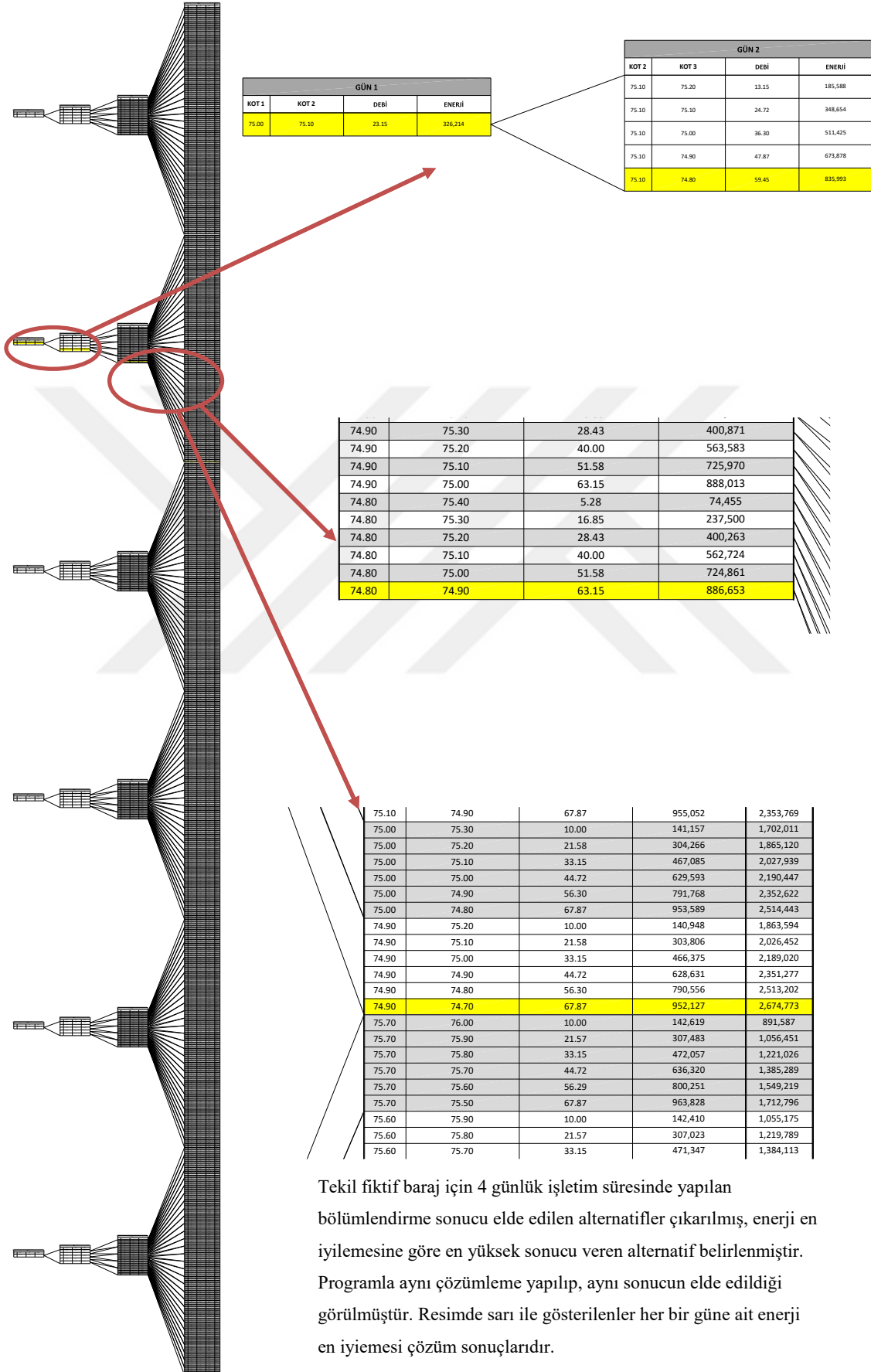


EKLER

EK-1. Yapılan program çıktıları kontrol çalışmaları



Ek-1 (devam). Yapılan program çıktıları kontrol çalışmaları



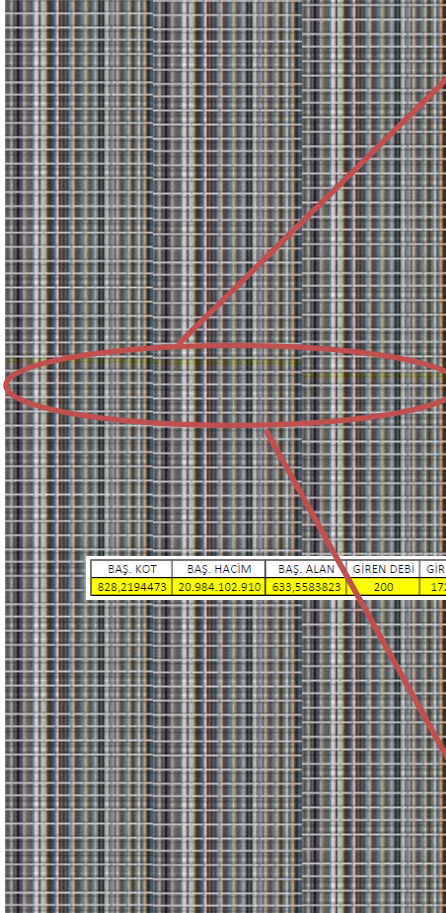
Ek-1 (devam). Yapılan program çıktıları kontrol çalışmaları

3 BARAJLI ÇOKLU BARAJ SİSTEMİ FİKTİF BARAJ 1 AYLIK İŞLETME SONUÇLARI



İLK 10 GÜN

BAŞ. KOT	BAŞ. HACİM	BAŞ. ALAN	GİREN DEBİ	GİREN HACİM	GİDİLECEK KOT (m3)	GİDİLECEK KOT	ALAN ORT.	HACİM	DEBİ	KSK	BRÜT DÜŞÜ	NET DÜŞÜ	VERİM	ENERJİ
829.19	21.483.595.820	635.5214766	200	172.800.000	20.984.102.910	828.2194473	317.7607383	672.292.910	778.12	694.5	134.2047236	134.2047236	0.92	226.055.440



İKİNCİ 10 GÜN

BAŞ. KOT	BAŞ. HACİM	BAŞ. ALAN	GİREN DEBİ	GİREN HACİM	GİDİLECEK KOT (m3)	GİDİLECEK KOT	ALAN ORT.	HACİM	DEBİ	KSK	BRÜT DÜŞÜ	NET DÜŞÜ	VERİM	ENERJİ
828.2194473	20.984.102.910	633.5583823	200	172.800.000	20.534.102.910	827.3299206	316.7791911	622.800.000	720.83	694.5	133.2746839	133.2746839	0.92	207.962.435

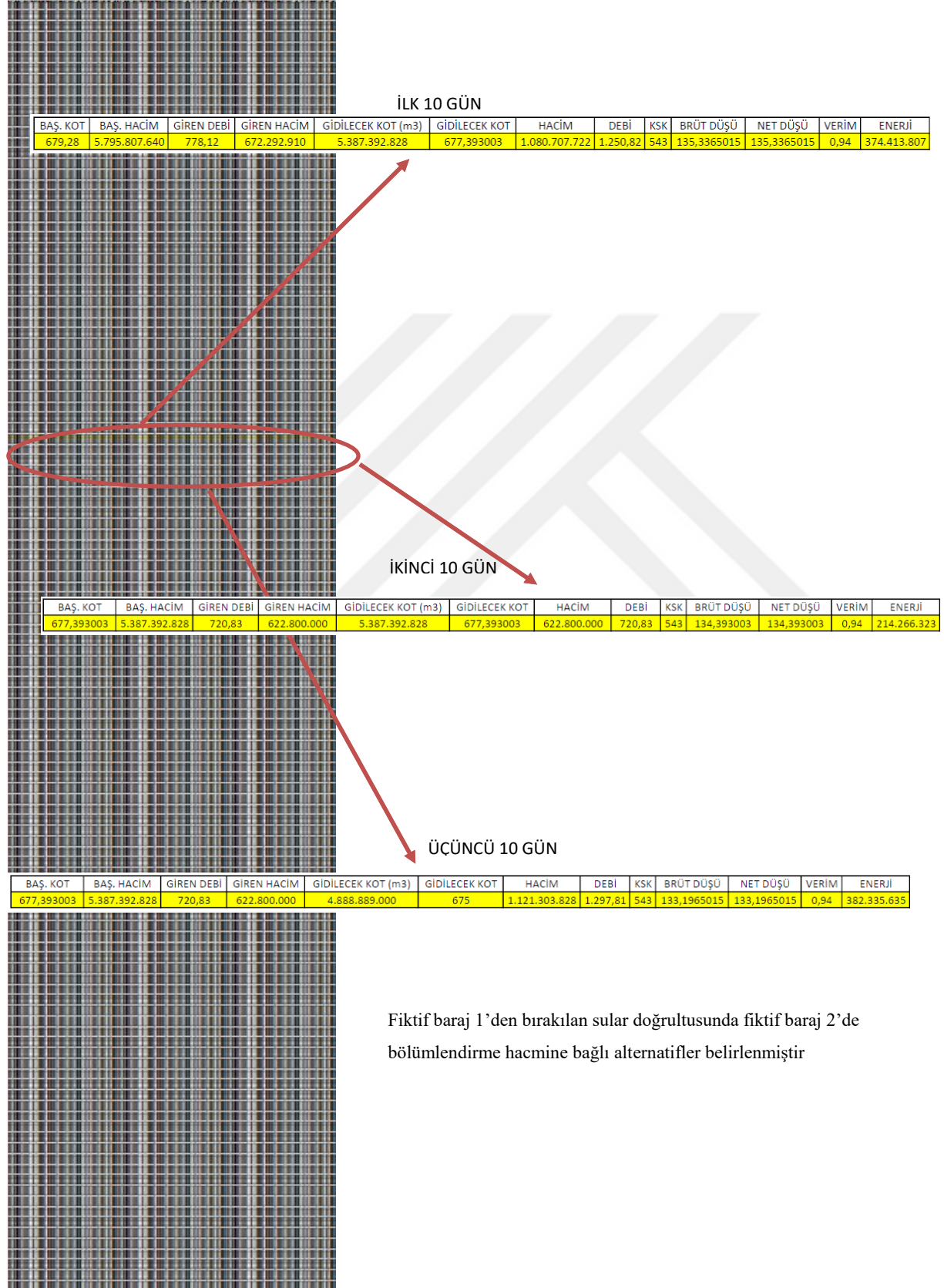
ÜÇÜNCÜ 10 GÜN

BAŞ. KOT	BAŞ. HACİM	BAŞ. ALAN	GİREN DEBİ	GİREN HACİM	GİDİLECEK KOT (m3)	GİDİLECEK KOT	ALAN ORT.	HACİM	DEBİ	KSK	BRÜT DÜŞÜ	NET DÜŞÜ	VERİM	ENERJİ
827.3299206	20.534.102.910	631.7624236	200	172.800.000	20.084.102.910	826.4260885	315.8812118	622.800.000	720.83	694.5	132.3780045	132.3780045	0.92	206.563.253

3 barajlı çoklu fiktif baraj sistemi üzerinde toplamda 1 aylık işletme süresi için program sonuçlarının kontrolü yapılmıştır. Barajlar göl hacimleri eşit hacimlere bölünerek alternatifler belirlenmiştir. Kontrol esnasında oluşacak alternatif sayısını azaltmak için 30 günlük toplam işletme süresi 10'ar günlük 3 aşamada incelenmiştir. Başka bir ifade ile karar değişkenlerinin süre aralığı 10 gün olarak verilmiştir. Buna rağmen üç barajlı fiktif çoklu baraj sisteminde toplam 31648 adet işletme alternatifi elde edilmiştir. Enerji en iyilemesine göre bu alternatiflerden en yüksek enerji üretimini veren çözüm belirlenmiş ve sarıyla ifade edilmiştir. Program çalıştırılarak aynı sonuçlar ayrıca elde edilmiştir.

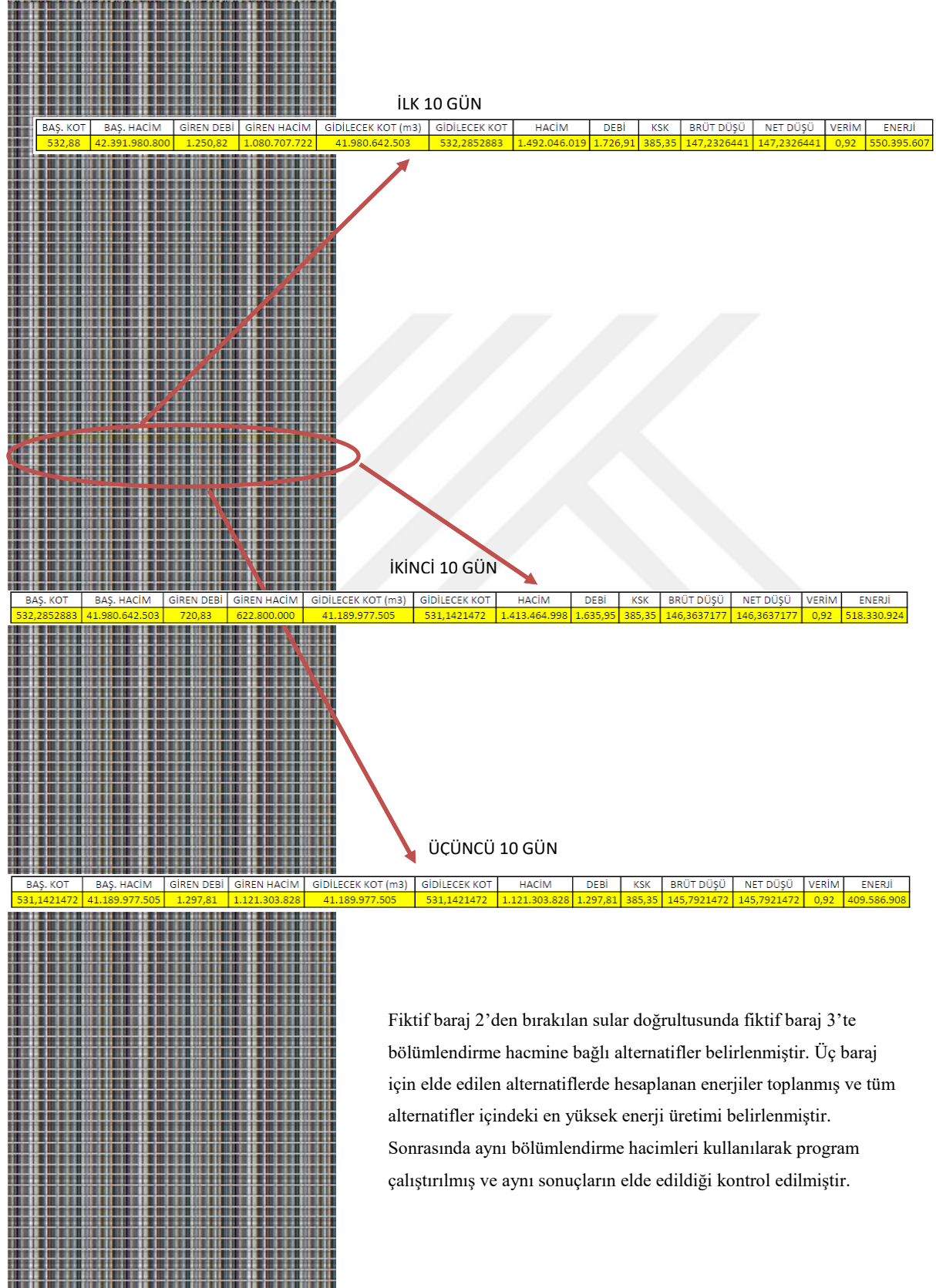
Ek-1 (devam). Yapılan program çıktıları kontrol çalışmaları

3 BARAJLI ÇOKLU BARAJ SİSTEMİ FİKTİF BARAJ 2 AYLIK İŞLETME SONUÇLARI



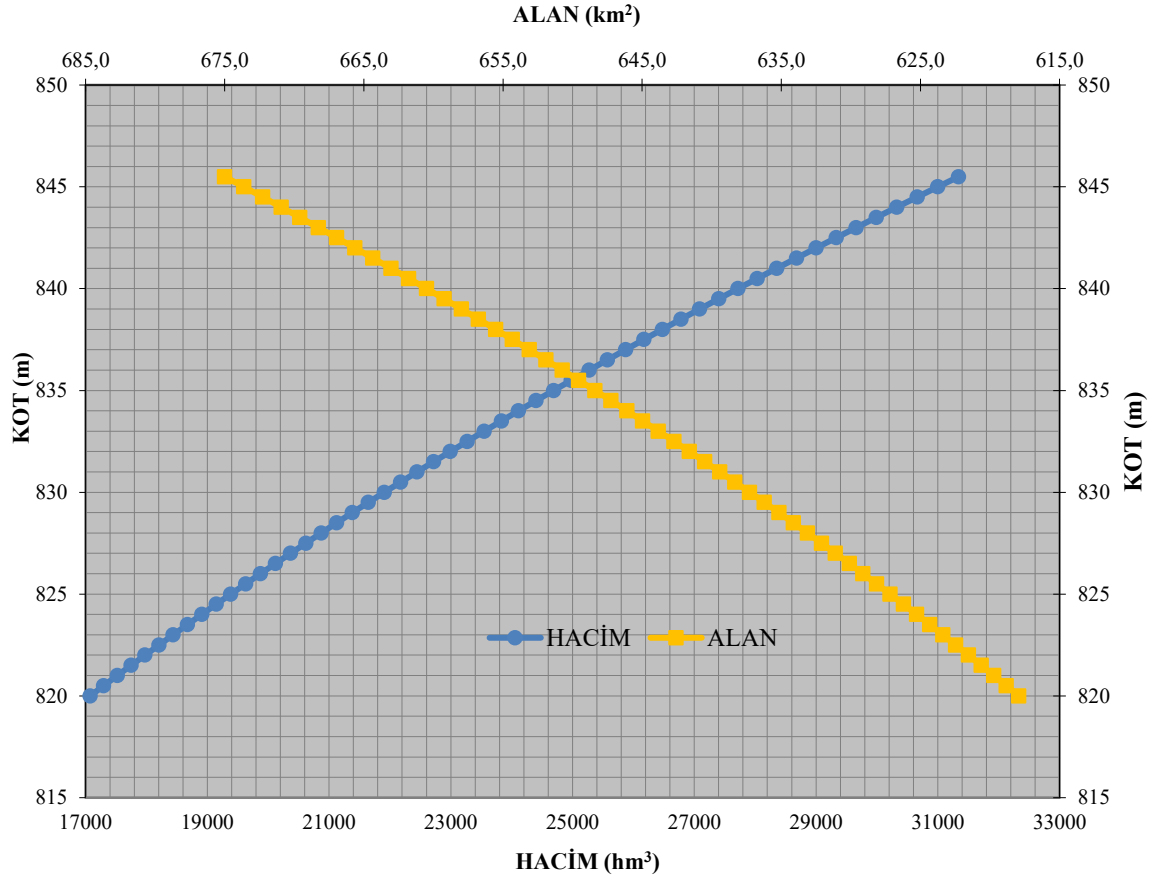
Ek-1 (devam). Yapılan program çıktıları kontrol çalışmaları

3 BARAJLI ÇOKLU BARAJ SİSTEMİ FİKTİF BARAJ 3 AYLIK İŞLETME SONUÇLARI



EK-2. Bölüm 7.1, 7.2 ve 8.1’de verilen çözümdeki barajlara ait kot-alan-hacim grafikleri ve baraj karakteristik verileri

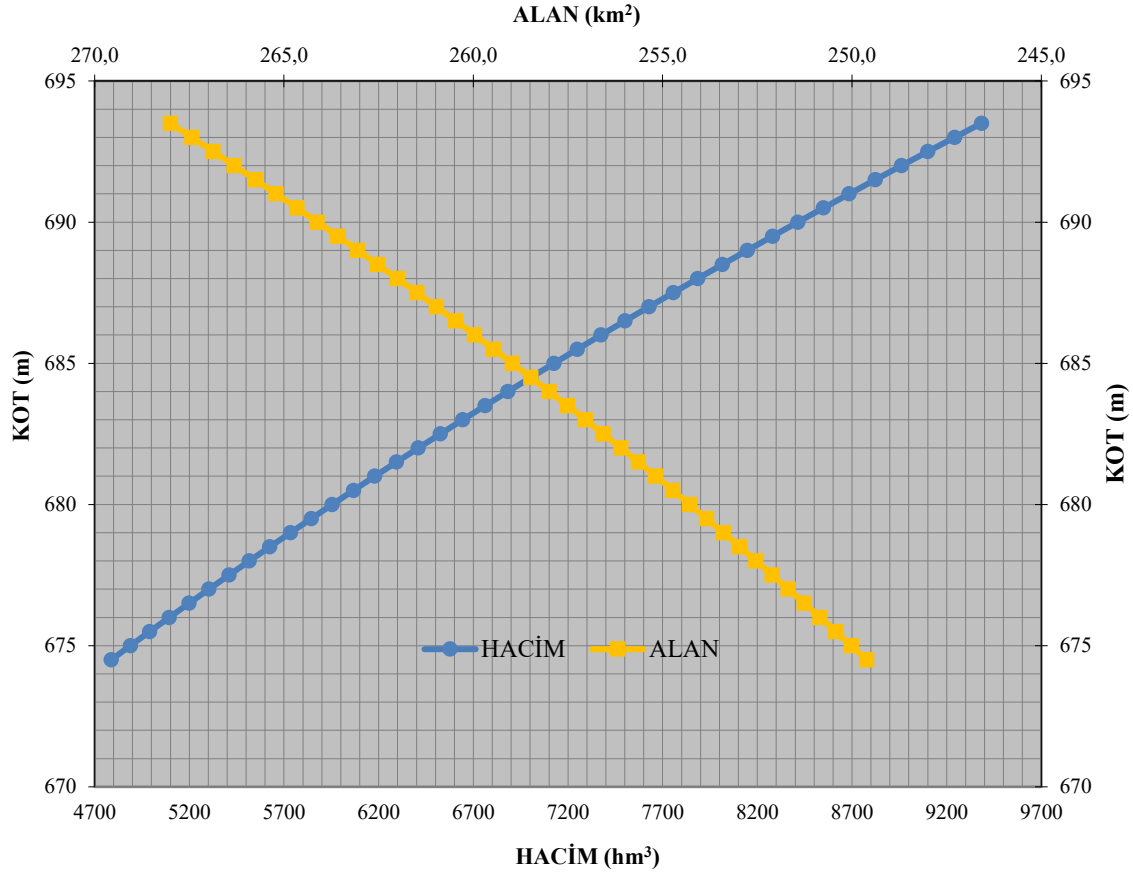
FİKTİF 1 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF1
MEMBADAKİ BARAJ	YOK
MANSAPTA Kİ BARAJ	FİKTİF2
KRET KOTU (m)	850,00
EYSS (m)	845,00
EDSS (m)	820,00
TALVEG KOTU (m)	810,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	1120,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	694,50
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	829,19
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

EK-2 (devam). Bölüm 7.1, 7.2 ve 8.1’de verilen çözümdeki barajlara ait kot-alan-hacim grafikleri ve baraj karakteristik verileri

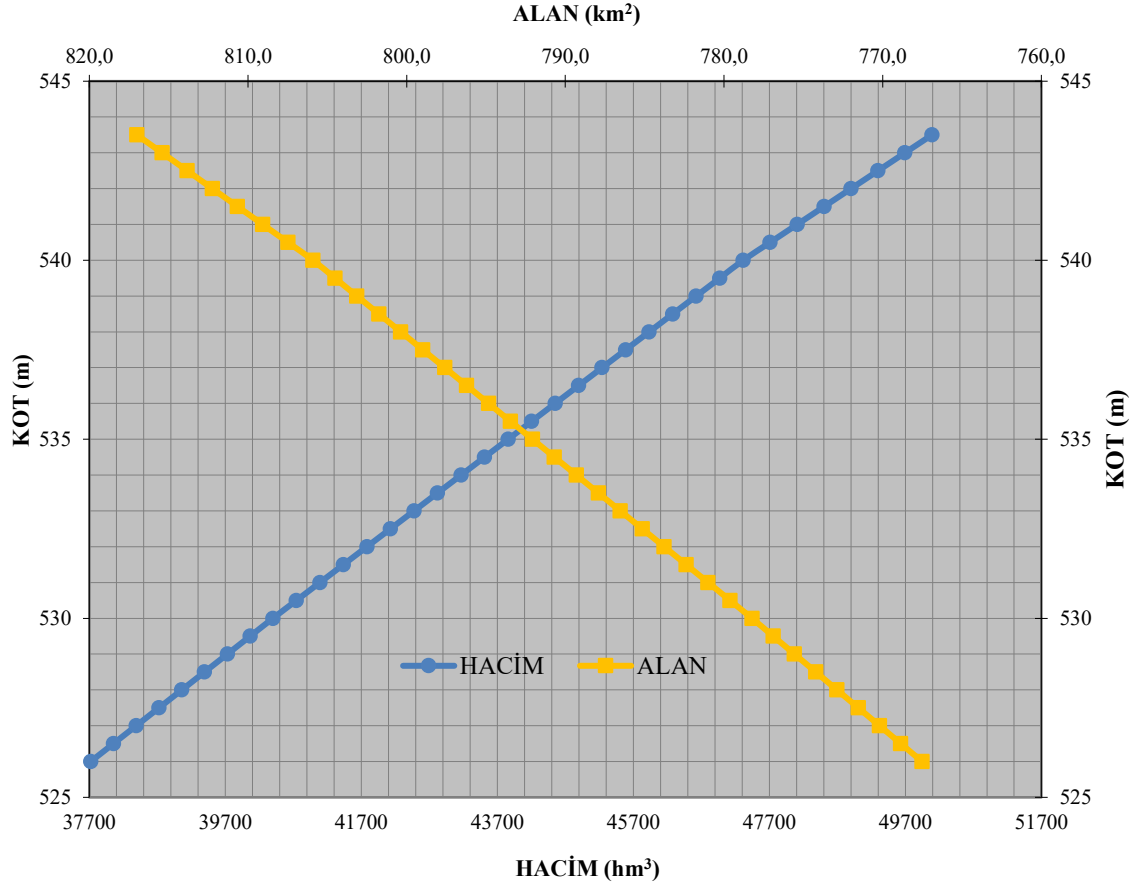
FİKTİF 2 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF2
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF1
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF3
KRET KOTU (m)	695,00
EYSS (m)	693,00
EDSS (m)	675,00
TALVEG KOTU (m)	655,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	1320,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	543,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	679,28
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,94
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

EK-2 (devam). Bölüm 7.1, 7.2 ve 8.1’de verilen çözümdeki barajlara ait kot-alan-hacim grafikleri ve baraj karakteristik verileri

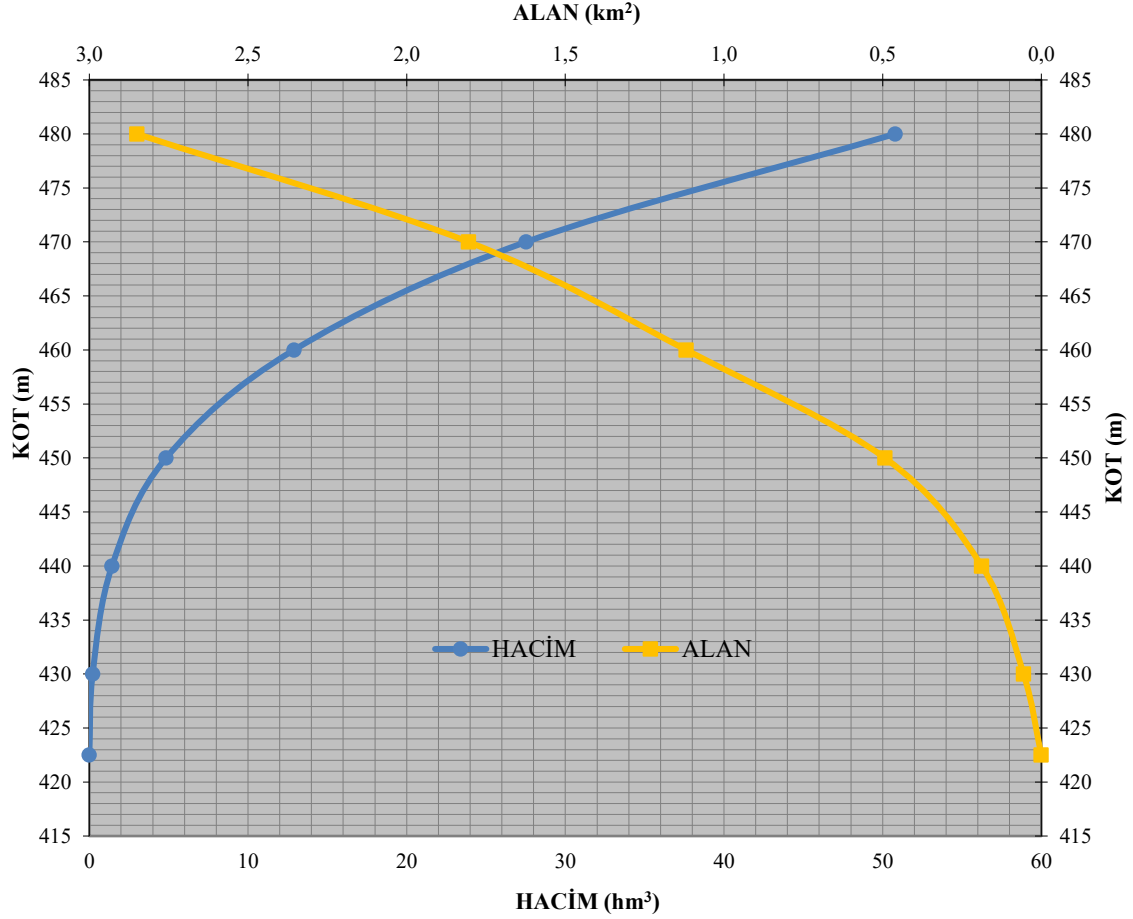
FİKTİF 3 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF3
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF2
MANSAPTAĞI BARAJ	YOK
KRET KOTU (m)	550,00
EYSS (m)	542,00
EDSS (m)	526,00
TALVEĞ KOTU (m)	385,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	1750,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	385,35
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	532,88
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

EK-3. Bölüm 7.3 ve 7.4'te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

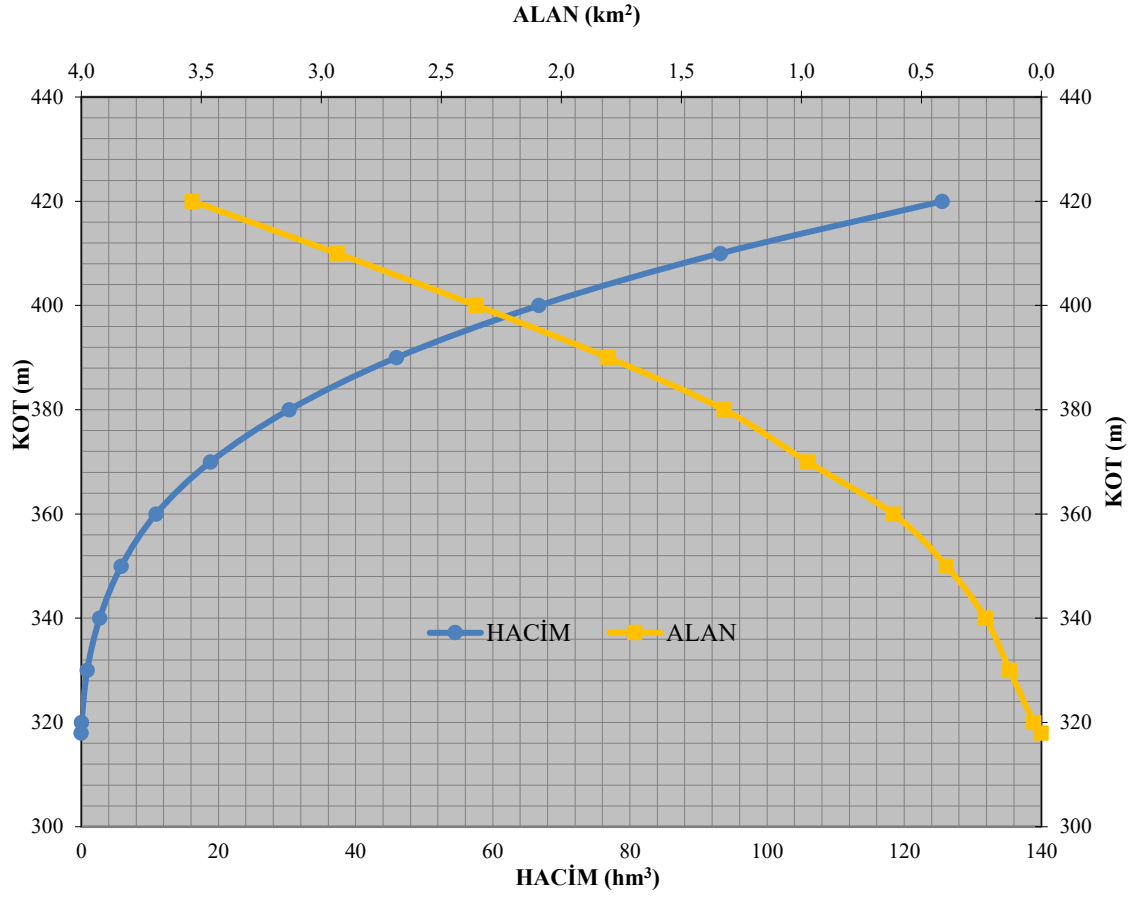
FİKTİF 1 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF1
MEMBADAĞI BARAJ	YOK
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF2
KRET KOTU (m)	483,00
EYSS (m)	480,00
EDSS (m)	470,00
TALVEG KOTU (m)	422,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	180,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	422,50
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	475
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-3 (devam). Bölüm 7.3 ve 7.4'te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

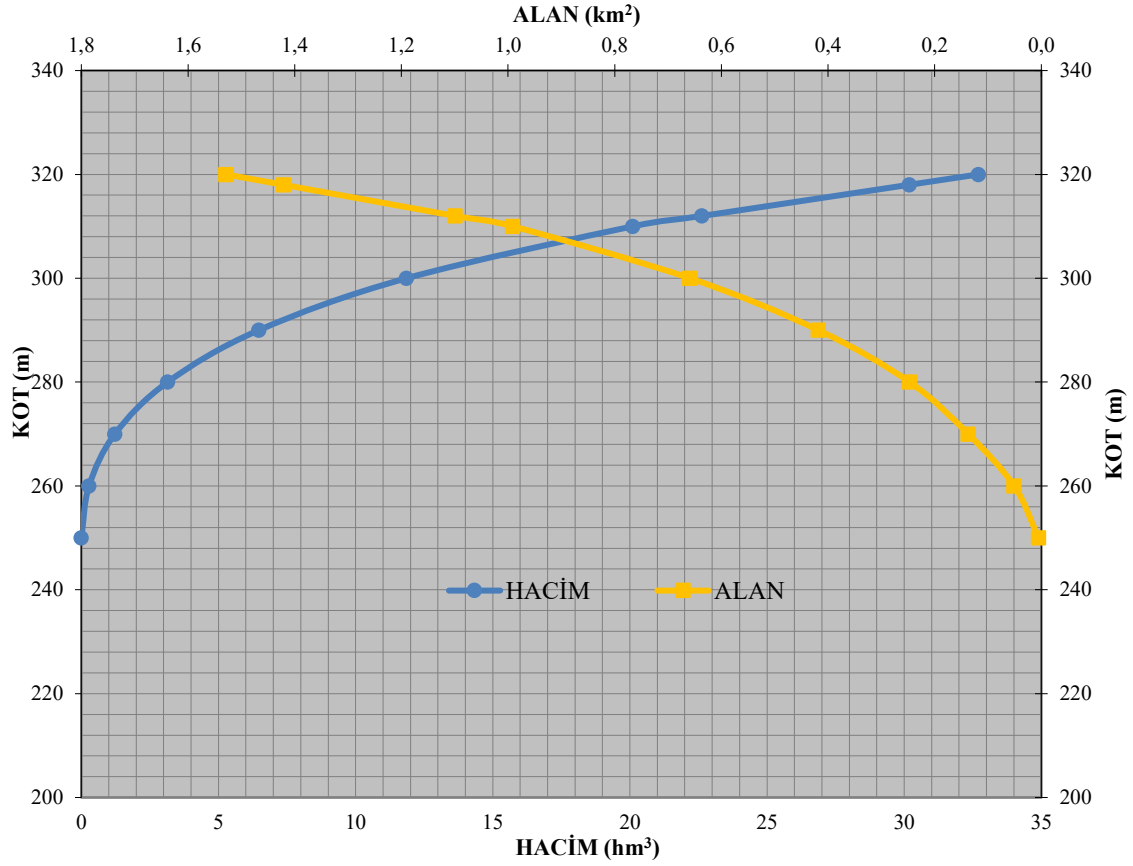
FİKTİF 2 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF2
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF1
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF3
KRET KOTU (m)	415,00
EYSS (m)	410,00
EDSS (m)	390,00
TALVEG KOTU (m)	315,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	190,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	318,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	400,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-3 (devam). Bölüm 7.3 ve 7.4'te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

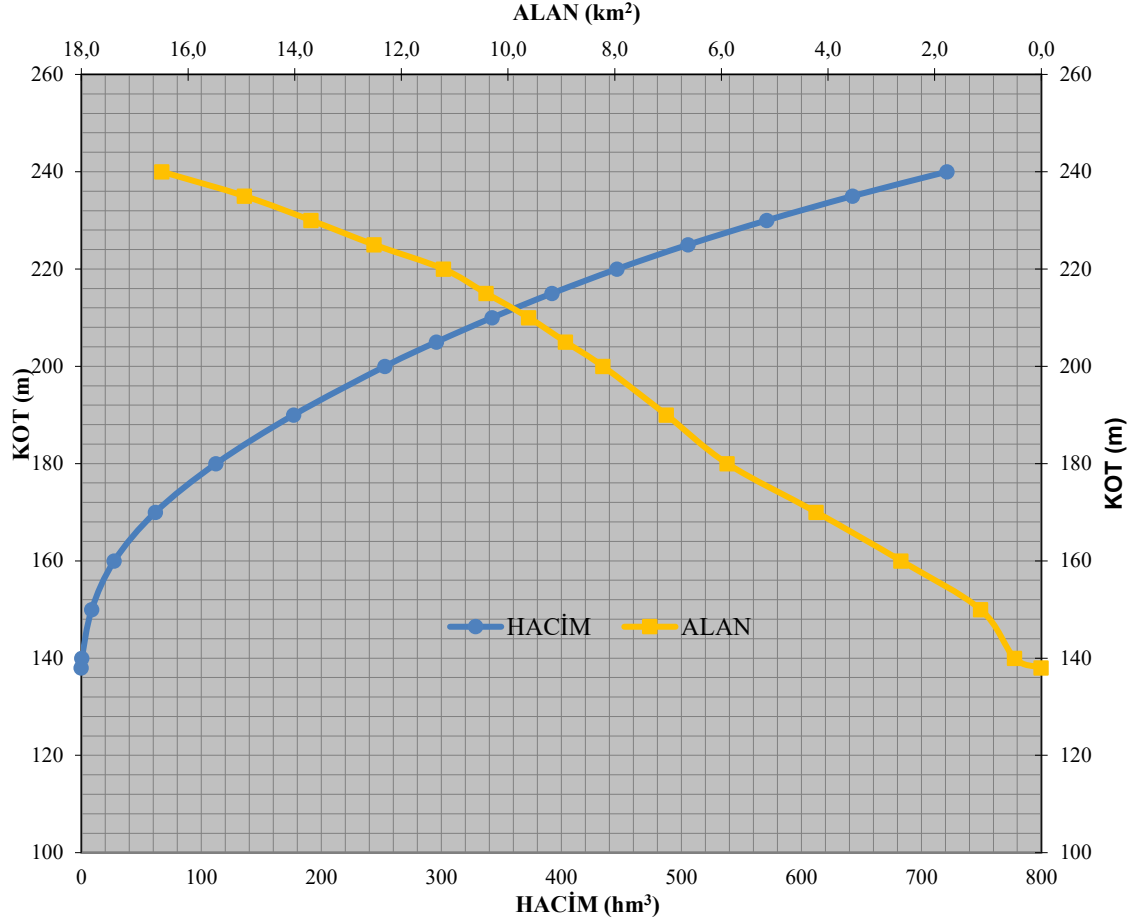
FİKTİF 3 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF3
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF2
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF4
KRET KOTU (m)	323,00
EYSS (m)	318,00
EDSS (m)	312,00
TALVEG KOTU (m)	250,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	260,70
KUYRUKSUYU KOTU (m)	250,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	315,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-3 (devam). Bölüm 7.3 ve 7.4'te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

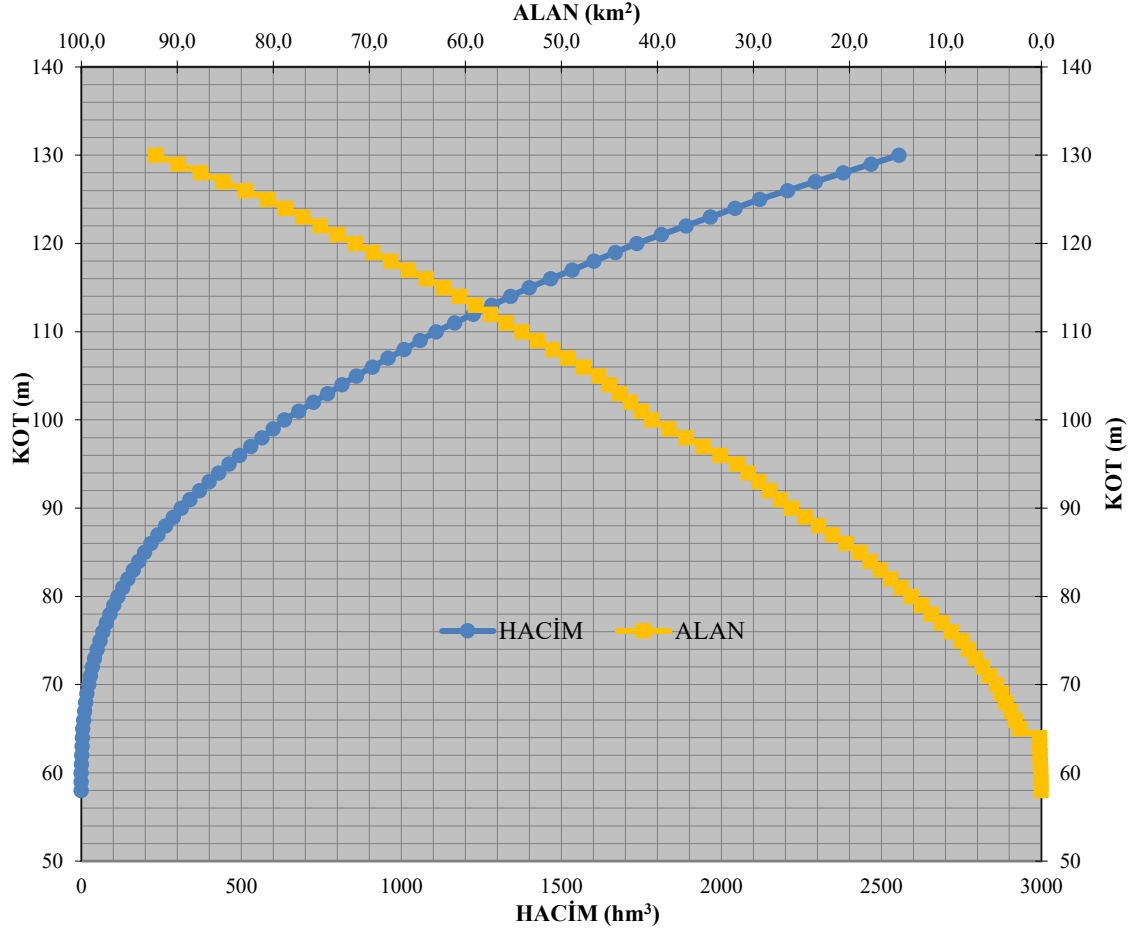
FİKTİF 4 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF4
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF3
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF5
KRET KOTU (m)	240,00
EYSS (m)	235,00
EDSS (m)	210,00
TALVEĞ KOTU (m)	135,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	380,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	139,40
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	230,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-3 (devam). Bölüm 7.3 ve 7.4'te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

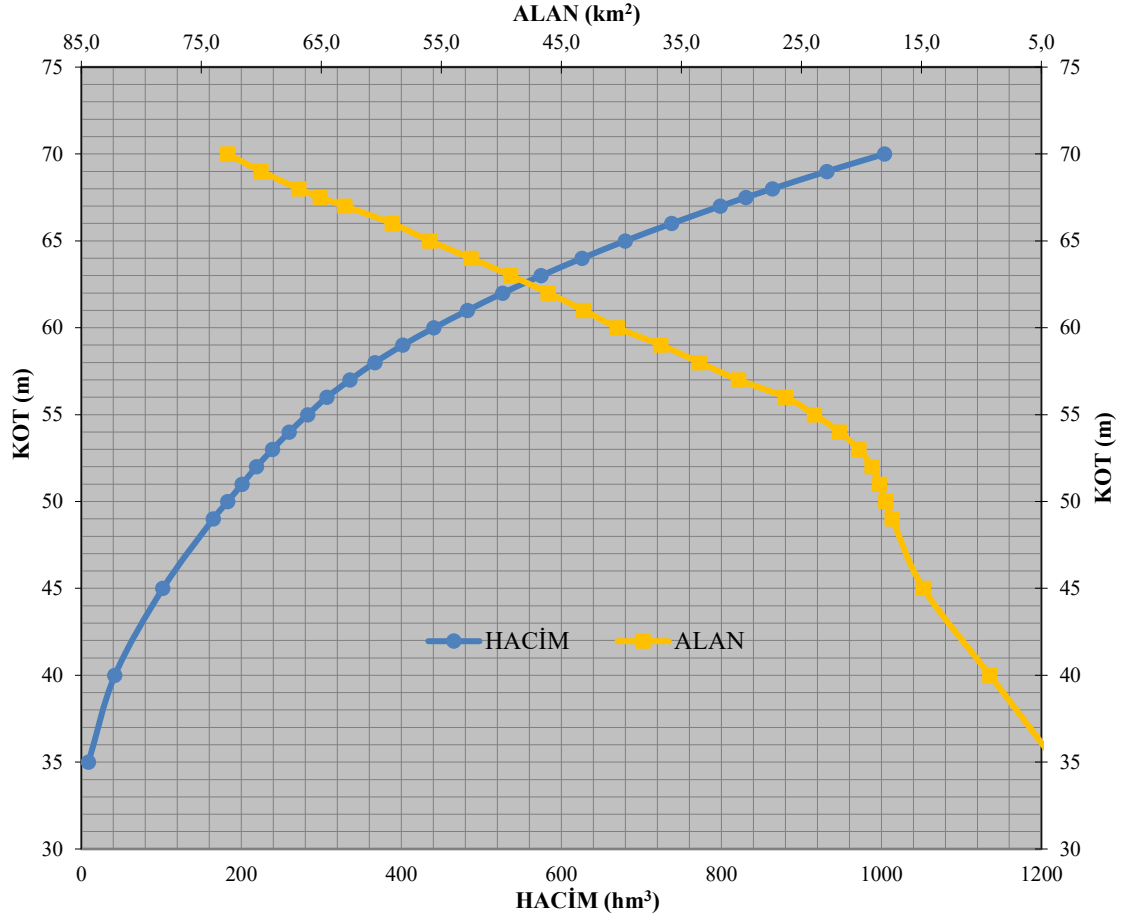
FİKTİF 5 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF5
MEMBADAKİ BARAJ	FİKTİF4
MANSAPTA Kİ BARAJ	FİKTİF6
KRET KOTU (m)	130,00
EYSS (m)	125,00
EDSS (m)	115,00
TALVEG KOTU (m)	60,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	360,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	64,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	120,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-3 (devam). Bölüm 7.3 ve 7.4'te yer alan barajlara ait kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

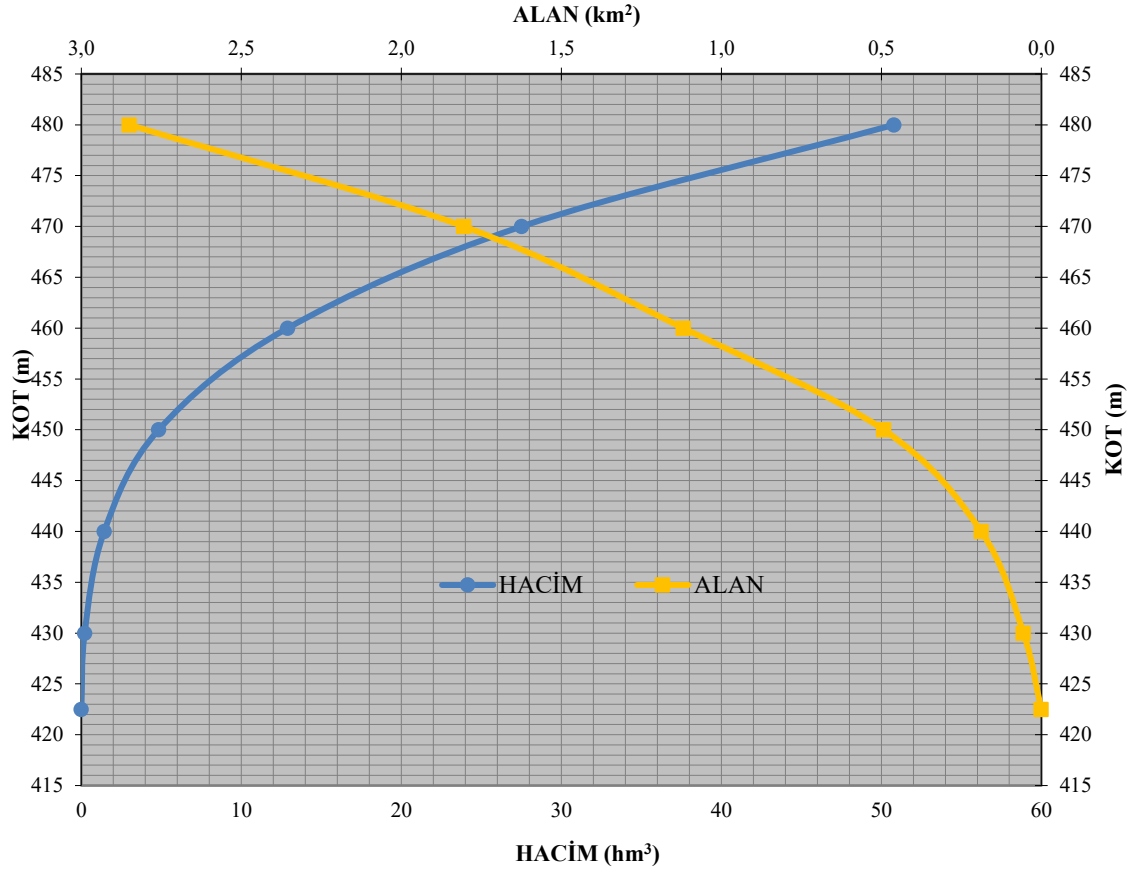
FİKTİF 6 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF6
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF5
MANSAPTAĞI BARAJ	YOK
KRET KOTU (m)	72,70
EYSS (m)	67,50
EDSS (m)	49,00
TALVEĞ KOTU (m)	22,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	231,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	27,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	65,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

EK-4. Bölüm 7.5'te yapılan çözümlere ait barajların kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

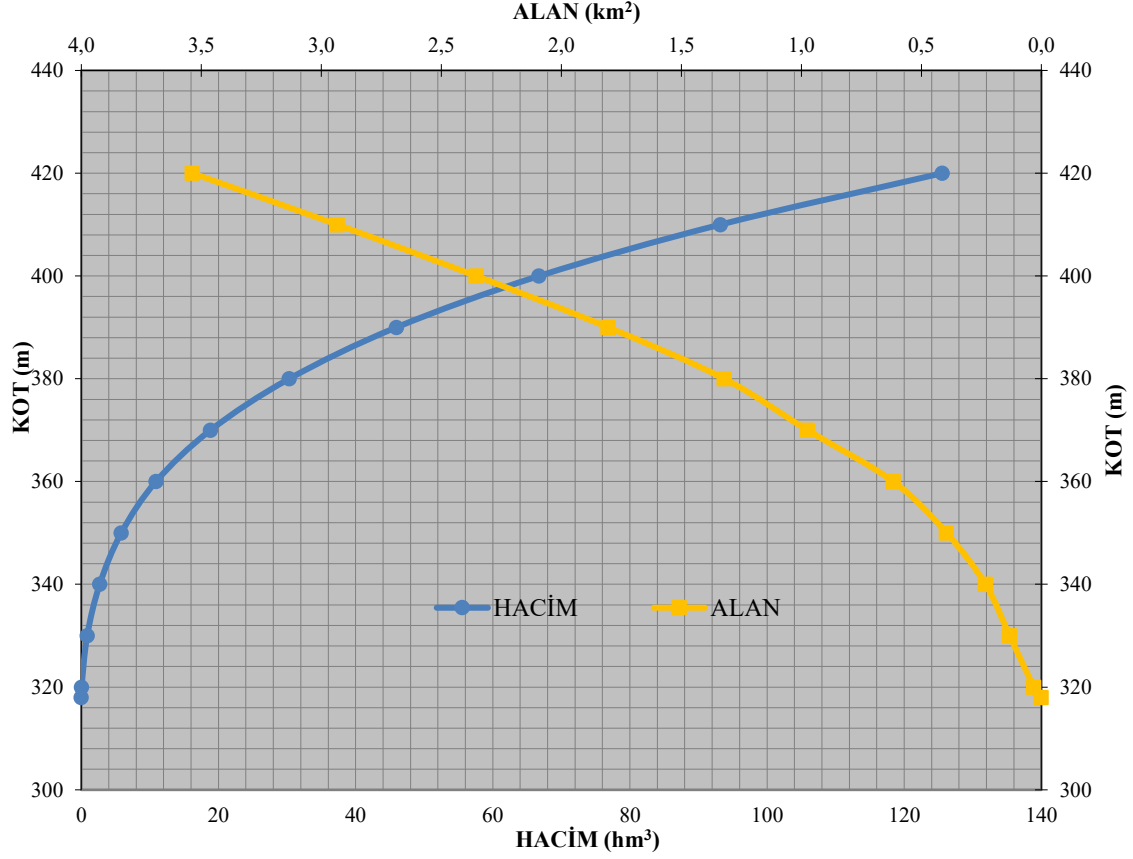
FİKTİF 1 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF1
MEMBADAKİ BARAJ	YOK
MANSAPTAKİ BARAJ	FİKTİF2
KRET KOTU (m)	483,00
EYSS (m)	480,00
EDSS (m)	470,00
TALVEG KOTU (m)	422,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	180,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	422,50
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	475
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-4 (devam). Bölüm 7.5'te yapılan çözümlere ait barajların kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

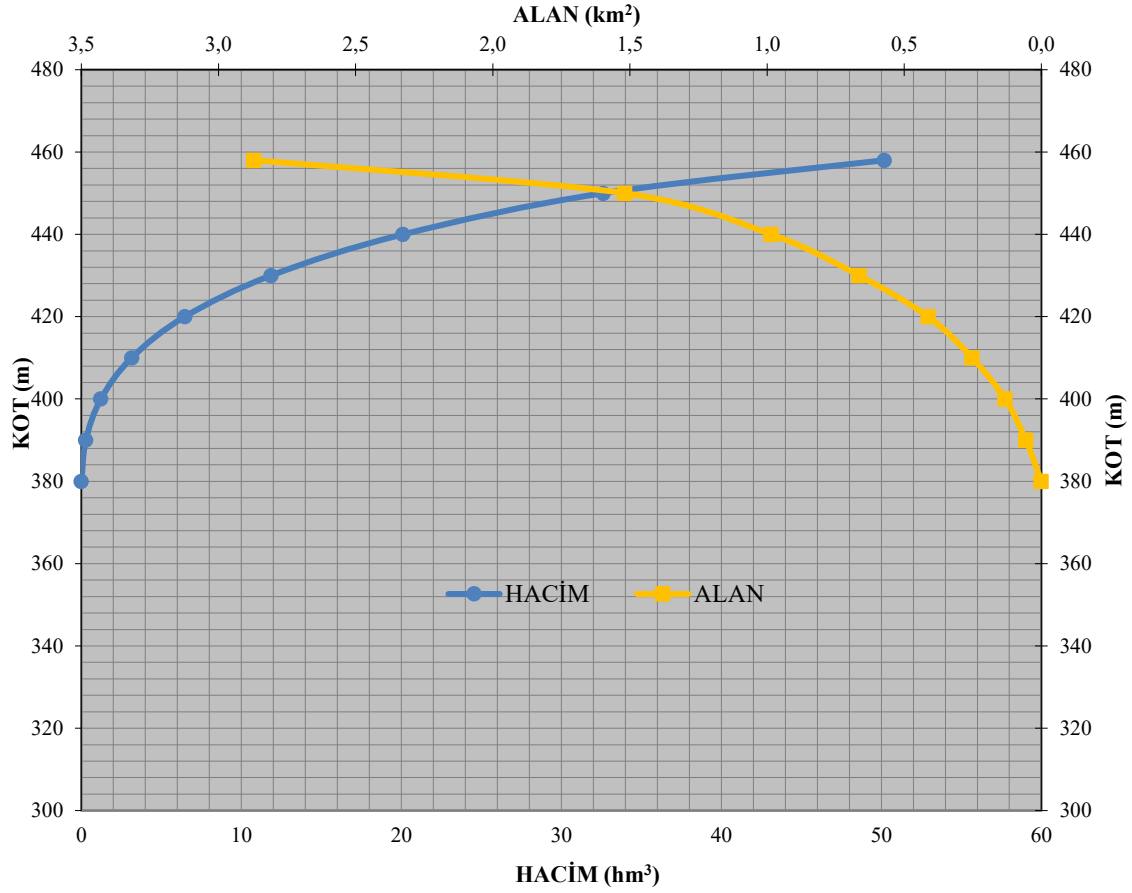
FİKTİF 2 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF2
MEMBADAKİ BARAJ	FİKTİF1
MANSAPTAKİ BARAJ	FİKTİF6
KRET KOTU (m)	415,00
EYSS (m)	410,00
EDSS (m)	390,00
TALVEG KOTU (m)	315,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	190,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	318,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	400,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-4 (devam). Bölüm 7.5'te yapılan çözümlere ait barajların kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

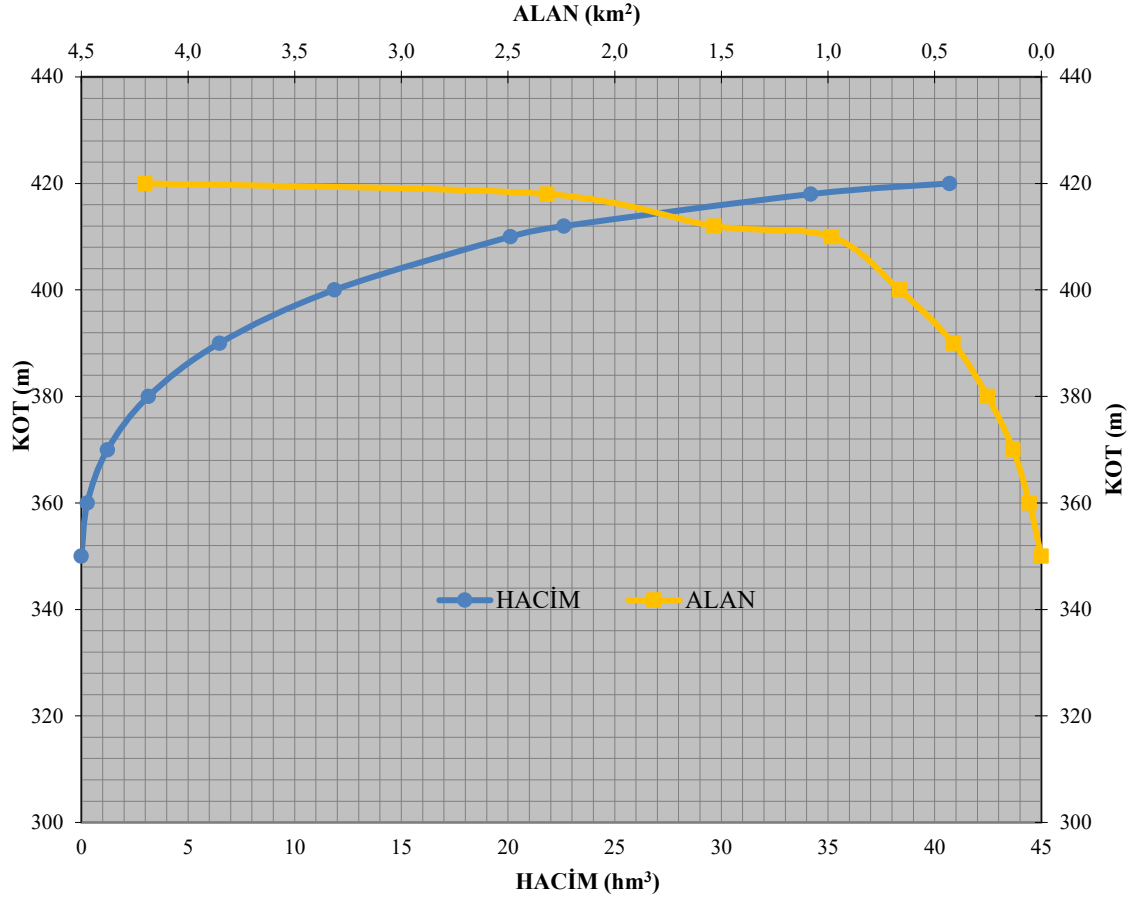
FİKTİF 3 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF3
MEMBADAĞI BARAJ	YOK
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF5
KRET KOTU (m)	458,00
EYSS (m)	455,00
EDSS (m)	445,00
TALVEĞ KOTU (m)	380,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	100,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	380,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	450,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-4 (devam). Bölüm 7.5'te yapılan çözümlere ait barajların kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

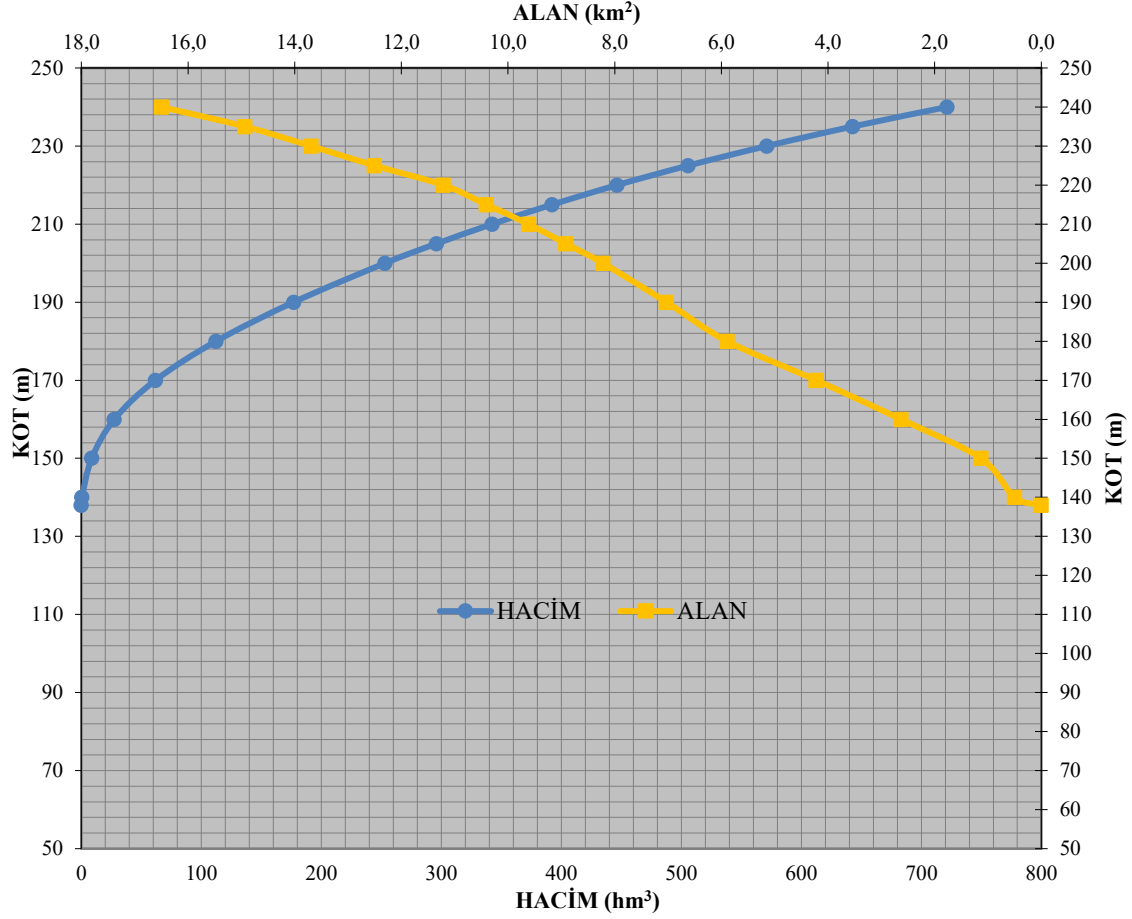
FİKTİF 4 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF4
MEMBADAKİ BARAJ	YOK
MANSAPTAKİ BARAJ	FİKTİF5
KRET KOTU (m)	423,00
EYSS (m)	418,00
EDSS (m)	412,00
TALVEG KOTU (m)	350,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	260,70
KUYRUKSUYU KOTU (m)	350,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	415,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-4 (devam). Bölüm 7.5'te yapılan çözümlere ait barajların kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

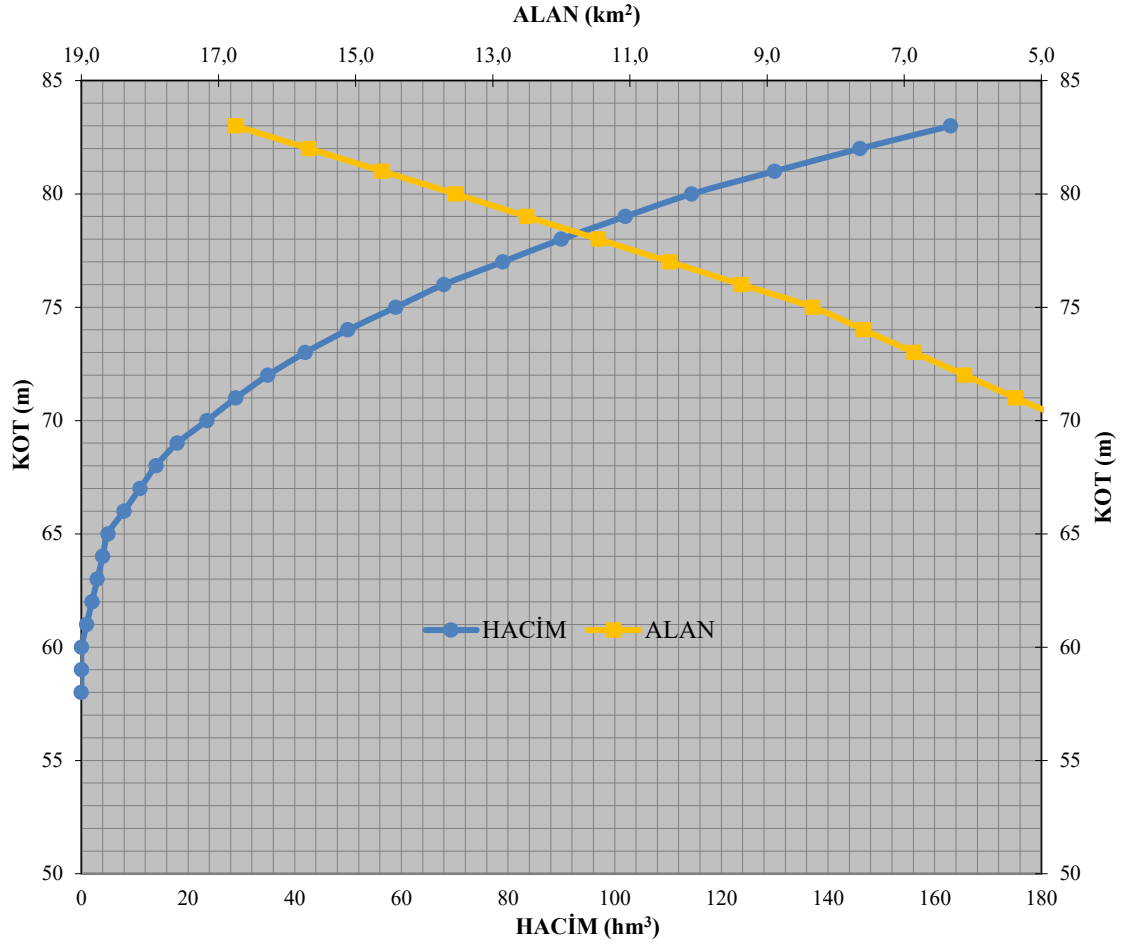
FİKTİF 5 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF5
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF3, FİKTİF4
MANSAPTAĞI BARAJ	FİKTİF6
KRET KOTU (m)	240,00
EYSS (m)	235,00
EDSS (m)	210,00
TALVEĞ KOTU (m)	135,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	380,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	139,40
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	230,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-4 (devam). Bölüm 7.5’te yapılan çözümlere ait barajların kot-alan-hacim eğrileri ve barajların karakteristik özellikleri

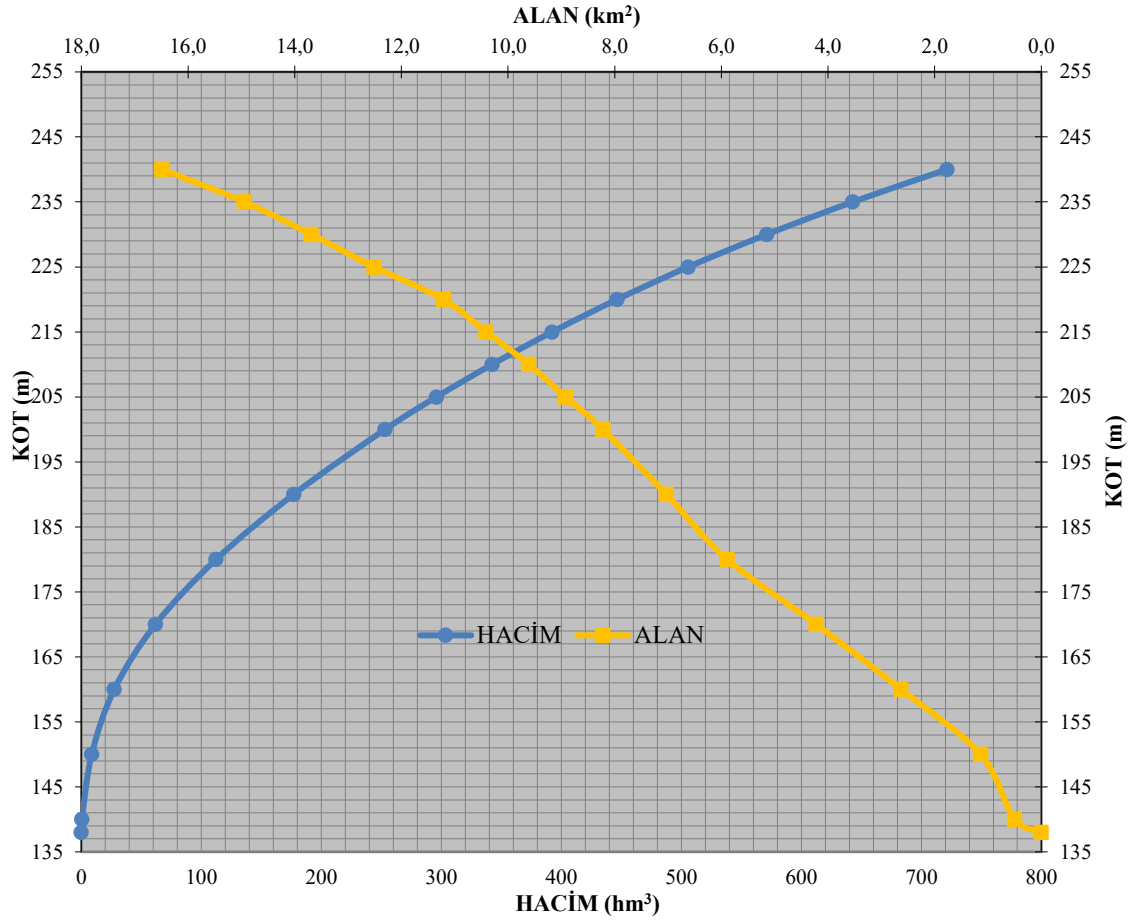
FİKTİF 6 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF6
MEMBADAKİ BARAJ	FİKTİF2, FİKTİF5
MANSAPTAKİ BARAJ	YOK
KRET KOTU (m)	130,00
EYSS (m)	125,00
EDSS (m)	115,00
TALVEG KOTU (m)	60,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	360,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	64,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	120,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

EK-5. Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif barajların kot-alan-hacim eğrileri

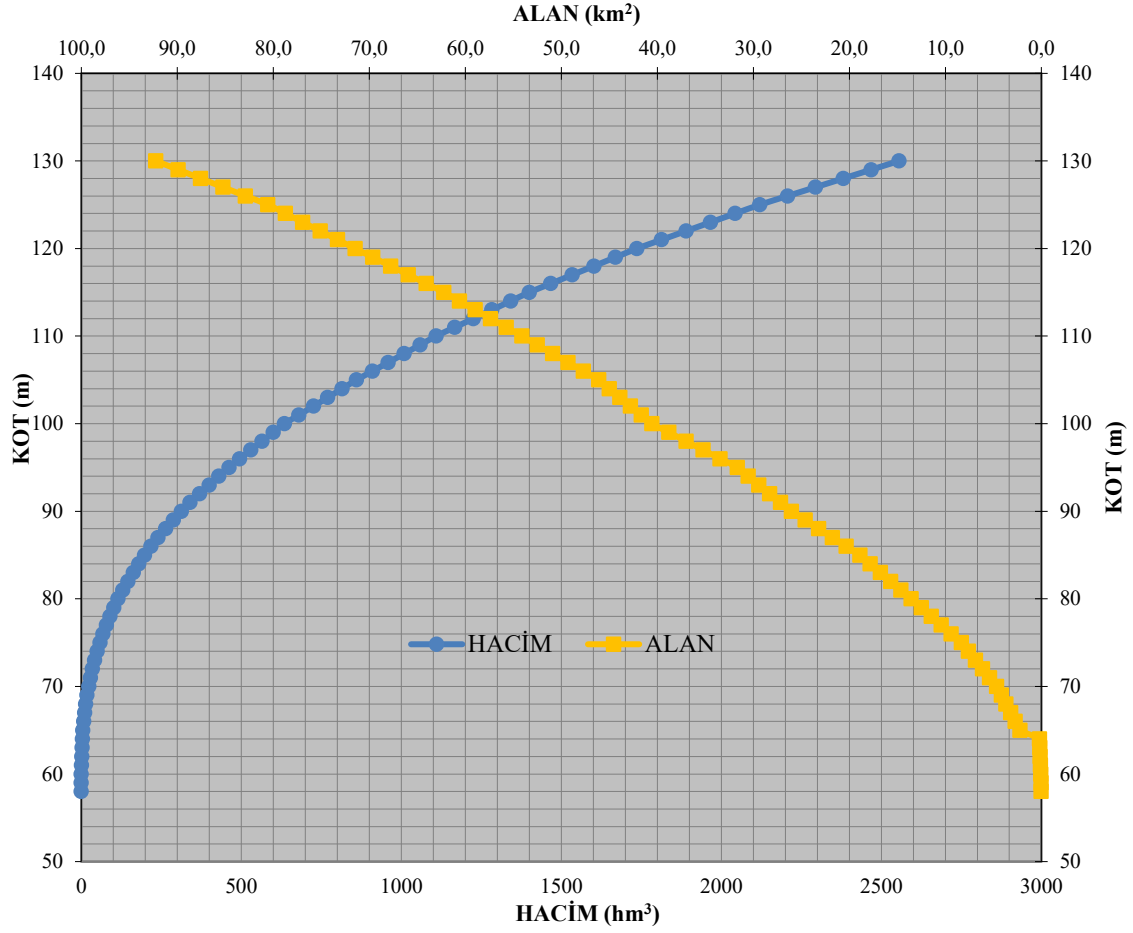
FİKTİF 1 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF1
MEMBADAKİ BARAJ	YOK
MANSAPTAKİ BARAJ	FİKTİF2
KRET KOTU (m)	240,00
EYSS (m)	235,00
EDSS (m)	210,00
TALVEG KOTU (m)	135,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	380,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	139,40
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	235,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-5 (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif barajların kot-alan-hacim eğrileri

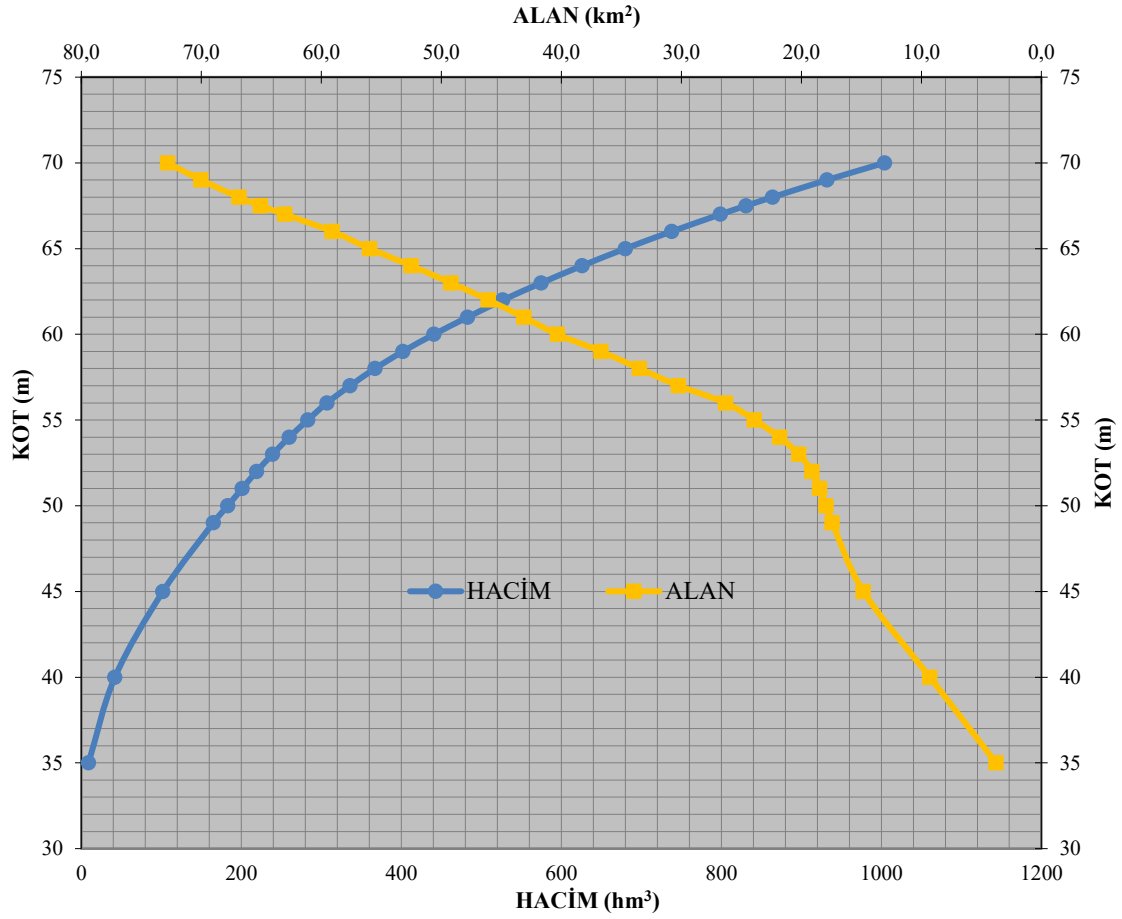
FİKTİF 2 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF2
MEMBADAKİ BARAJ	FİKTİF1
MANSAPTAKİ BARAJ	FİKTİF3
KRET KOTU (m)	130,00
EYSS (m)	125,00
EDSS (m)	115,00
TALVEG KOTU (m)	60,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	360,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	64,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	125,00
SABİT KAYIP (Q²)	0
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,94
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-5 (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif barajların kot-alan-hacim eğrileri

FİKTİF 3 BARAJ ALAN - HACİM EĞRİSİ



BARAJ ADI	FİKTİF3
MEMBADAĞI BARAJ	FİKTİF2
MANSAPTAĞI BARAJ	YOK
KRET KOTU (m)	72,70
EYSS (m)	67,50
EDSS (m)	49,00
TALVEĞ KOTU (m)	22,00
SANTRAL TÜRBİN DEBİSİ (m³/s)	231,00
KUYRUKSUYU KOTU (m)	27,00
SANTRAL TÜRBİN SAYISI	1
BAŞLANGIÇ SEVİYE (m)	67,50
SABİT KAYIP (Q²)	0,000017486
SABİT KAYIP (m)	0
TÜRBİN VERİMİ	0,92
GENERATOR VERİMİ	1
TRAFO VERİMİ	1

Ek-5b. (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar

FİKTİF BARAJ 1 DOĞAL AKIMLARI (m3/s)

Yıl	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1960	88,027	77,629	73,491	70,335	70,185	68,589	124,315	117,988	235,163	298,364	207,062	115,021
1961	66,245	58,007	57,298	61,948	61,917	62,638	69,841	137,633	113,570	163,780	109,131	78,549
1962	84,924	70,536	65,062	54,234	53,697	158,444	91,966	211,738	349,971	233,296	204,499	116,181
1963	137,142	103,711	94,301	61,774	59,261	233,023	252,973	348,833	292,467	376,023	343,373	251,437
1964	72,545	64,841	62,706	85,326	78,826	74,970	63,892	75,630	181,705	136,942	120,686	96,111
1965	104,696	88,093	79,824	58,492	69,116	87,395	98,710	146,567	313,499	378,633	227,055	150,605
1966	102,583	85,699	80,480	66,703	68,160	113,800	484,900	244,900	260,000	301,907	200,131	133,830
1967	111,233	92,917	84,784	71,922	82,660	217,000	190,000	132,400	256,500	349,511	301,285	153,678
1968	107,662	96,220	90,540	78,374	113,200	142,700	231,700	256,700	509,000	414,511	229,786	155,001
1969	132,321	110,332	98,003	82,154	146,100	284,100	258,000	183,800	457,400	386,311	358,486	188,015
1970	92,861	77,376	71,247	87,444	83,240	199,700	150,400	245,000	293,500	224,911	148,886	112,426
1971	85,029	82,495	69,813	78,887	101,900	101,600	84,650	95,800	166,500	323,612	167,615	115,213
1972	97,032	80,871	77,114	63,744	68,300	73,740	61,460	79,910	134,500	197,213	219,335	139,871
1973	66,533	58,854	59,112	70,715	66,250	60,300	56,740	82,390	131,500	174,713	140,836	97,722
1974	63,002	60,823	60,057	52,081	50,590	65,220	55,320	69,760	191,400	149,113	117,638	78,955
1975	110,235	89,559	75,899	60,732	59,090	176,400	144,200	120,100	244,300	476,413	404,138	177,001
1976	101,545	86,274	80,759	71,195	70,480	72,860	139,200	130,200	171,400	356,014	245,143	154,730
1977	107,707	84,613	81,063	85,576	104,700	198,300	126,100	252,100	294,500	374,614	282,547	148,351
1978	93,211	77,459	72,496	74,107	70,690	76,480	207,200	309,300	276,700	354,114	235,447	132,769
1979	104,150	80,061	70,438	92,368	84,510	149,800	317,600	226,000	173,400	195,914	161,948	140,283
1980	120,501	93,913	93,729	67,867	104,480	163,111	204,601	188,637	424,749	480,919	437,403	190,156
1981	133,533	99,755	90,226	96,891	90,622	120,400	295,400	300,300	442,000	286,614	245,450	189,468
1982	109,245	90,840	85,294	91,128	96,080	302,400	185,700	150,066	167,500	343,055	251,036	144,832
1983	96,578	77,376	72,064	82,226	80,198	71,210	100,937	115,800	246,000	379,814	206,565	131,827
1984	101,179	86,993	75,941	71,475	140,101	223,100	162,200	242,600	203,200	300,515	221,078	124,760
1985	72,973	65,150	57,789	69,309	72,100	70,150	107,100	149,400	179,200	284,115	156,380	105,211
1986	71,445	69,948	67,316	86,052	80,170	77,530	161,100	142,800	138,300	121,115	120,005	101,197
1987	115,226	87,934	75,863	57,756	71,150	103,800	228,400	202,100	308,600	498,915	300,383	180,425
1988	130,852	107,803	100,878	73,367	91,660	186,200	121,400	202,100	380,300	507,415	320,683	200,953
1989	66,133	63,084	62,134	107,658	145,000	164,400	121,900	108,300	156,400	123,315	88,553	78,661

Ek-5b. (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar

Yıl	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1990	87,835	75,153	74,447	68,360	104,000	129,000	99,100	205,000	269,000	190,015	167,284	115,832
1991	75,821	64,326	60,978	67,060	68,700	75,500	63,200	81,900	139,000	220,015	138,284	99,157
1992	109,333	86,530	73,680	66,369	73,500	183,000	128,000	112,000	196,000	360,016	279,306	180,951
1993	116,607	91,287	78,098	69,177	133,000	143,000	101,000	108,000	186,000	361,018	358,327	182,051
1994	75,691	65,650	60,567	70,979	67,900	71,900	165,000	150,000	193,000	161,018	142,328	85,100
1995	110,094	89,731	81,406	59,585	177,000	165,000	194,000	153,000	219,000	388,018	300,331	166,200
1996	105,882	94,331	88,489	80,391	284,000	139,000	248,000	165,000	394,000	453,018	284,336	152,616
1997	96,367	88,786	78,307	96,594	80,300	160,000	138,000	103,000	107,000	300,018	196,337	124,489
1998	106,454	90,744	79,873	86,796	110,000	154,000	110,000	118,000	180,000	342,018	247,338	158,549
1999	90,027	79,272	72,168	74,398	81,300	225,000	131,000	210,000	196,000	229,018	148,338	108,640
2000	90,418	79,434	75,140	65,798	63,100	68,300	88,300	134,000	161,000	427,018	290,339	130,711
2001	70,508	64,502	58,616	70,799	72,900	65,500	60,000	92,500	121,000	106,017	192,334	82,768
2002	104,853	84,043	77,591	54,516	60,100	275,000	244,000	176,000	259,000	405,020	221,382	140,938
2003	86,706	68,443	62,602	67,411	69,600	64,100	79,900	125,000	157,000	290,017	184,337	150,878
2004	82,674	70,072	61,638	60,403	61,969	131,660	234,937	195,852	324,287	184,572	139,809	98,791
2005	76,042	62,799	59,786	59,129	66,872	62,361	57,893	81,680	196,712	185,579	146,317	107,455
2006	74,185	60,471	54,690	53,376	65,410	86,141	71,197	153,547	247,638	205,716	128,050	79,645
2007	60,075	54,550	47,294	60,139	100,133	60,037	55,661	87,800	123,560	99,004	110,887	74,520
2008	59,537	56,615	55,578	47,357	62,594	109,872	62,524	85,829	199,433	147,367	97,213	73,423
2009	104,915	83,347	77,617	62,489	70,935	65,591	84,941	174,084	283,185	327,583	328,402	136,103
Ortal ama	94,607	79,585	73,286	71,459	88,155	130,666	146,291	159,621	236,901	291,475	217,477	132,641

Ek-5b. (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar

FİKTİF BARAJ 2 DOĞAL AKIMLARI (m3/s)

Yıl	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1960	97,675	85,768	81,080	77,598	77,358	76,118	139,841	132,320	269,828	345,042	236,523	129,019
1961	74,142	64,377	64,267	69,690	69,848	70,747	79,396	163,338	132,187	192,282	127,002	90,897
1962	94,145	78,037	71,908	59,848	59,300	180,626	103,000	245,283	404,755	265,360	231,213	129,433
1963	153,547	115,324	104,660	68,368	65,572	269,551	297,562	409,285	340,654	437,293	395,517	285,748
1964	81,522	71,477	69,220	95,701	87,876	83,442	70,879	84,117	205,505	152,859	136,449	115,075
1965	115,711	97,222	88,039	64,543	76,747	96,827	110,372	166,389	359,984	436,870	256,581	167,526
1966	114,009	94,344	88,828	74,344	77,130	131,933	555,938	284,514	298,640	345,858	229,719	148,848
1967	123,863	102,820	93,906	80,148	97,621	249,859	212,749	149,716	294,547	396,302	346,421	172,471
1968	119,165	106,019	100,047	87,931	134,850	160,948	268,733	296,536	577,935	465,075	257,830	174,247
1969	146,369	121,166	107,302	90,794	176,550	337,034	310,574	227,048	533,461	448,786	414,638	211,948
1970	103,615	85,545	78,951	95,880	92,266	231,581	177,686	280,349	341,166	251,628	168,373	128,014
1971	94,003	91,050	77,034	87,730	124,096	117,030	96,004	110,964	191,122	381,331	190,552	128,440
1972	107,887	89,832	85,501	70,215	76,777	83,233	69,481	92,682	156,493	230,005	257,396	158,162
1973	73,314	64,280	64,732	78,084	73,213	66,654	62,771	97,429	150,071	195,197	158,048	108,882
1974	68,781	66,729	65,886	57,123	55,862	72,516	61,243	78,682	226,456	167,147	130,410	86,888
1975	121,936	98,313	83,688	66,888	65,108	207,999	176,128	143,681	281,634	556,172	460,414	198,291
1976	112,197	95,041	89,217	78,292	78,218	82,672	157,059	147,339	191,730	404,688	280,081	173,979
1977	118,682	92,729	89,096	97,858	122,375	230,861	146,509	291,091	331,990	428,219	320,143	165,015
1978	102,575	85,064	79,569	81,832	77,725	85,049	243,280	356,115	322,222	408,836	267,779	147,784
1979	114,743	87,802	76,929	107,228	95,502	172,333	361,908	257,062	195,423	219,579	182,487	157,104
1980	132,488	102,920	102,654	75,357	118,011	192,183	238,694	218,429	499,478	553,306	489,217	210,193
1981	148,269	109,703	99,569	105,773	100,161	133,502	369,419	371,750	529,088	330,200	281,723	212,336
1982	122,058	100,101	94,560	100,116	106,158	359,987	208,160	166,880	188,320	382,796	281,785	161,293
1983	106,528	85,424	79,093	90,664	88,187	78,523	115,457	135,868	283,590	431,493	233,683	148,599
1984	111,625	95,884	83,271	78,782	156,439	266,848	189,981	286,140	235,098	345,385	249,028	138,721
1985	81,129	72,003	63,906	75,844	80,447	78,243	123,257	173,860	208,089	325,064	177,779	117,676
1986	78,943	76,816	73,971	99,681	97,541	86,870	184,070	162,441	156,512	137,783	133,978	113,635
1987	133,692	98,026	83,564	64,885	79,165	115,261	251,203	222,876	346,761	562,565	341,843	215,807
1988	144,345	118,413	110,767	81,155	102,372	221,923	140,102	238,859	449,545	579,501	364,151	224,753
1989	73,022	69,513	69,069	119,862	165,326	188,874	138,689	122,940	176,826	138,065	98,526	86,986

Ek-5b. (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar

Yıl	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1990	96,739	82,720	81,777	75,678	121,258	146,673	110,876	233,299	316,162	217,492	186,601	128,320
1991	83,421	70,863	67,219	74,021	75,956	83,259	69,648	93,405	157,568	251,706	153,691	109,798
1992	121,809	95,790	81,402	76,746	82,232	217,368	150,116	128,475	226,243	411,553	314,886	205,059
1993	128,613	100,713	86,439	76,135	152,607	165,084	115,506	125,898	215,016	408,346	403,652	204,141
1994	84,009	72,754	66,756	78,638	74,823	79,837	193,953	173,959	224,639	183,707	162,056	95,745
1995	121,510	98,724	89,415	66,638	201,117	186,757	218,758	175,349	248,161	439,246	335,655	185,134
1996	117,185	103,830	97,653	88,466	317,232	158,894	298,734	197,374	457,618	510,348	322,616	170,150
1997	107,025	98,415	86,664	107,021	89,684	190,425	158,006	116,072	120,948	344,515	225,106	140,710
1998	117,779	100,325	87,903	98,180	126,219	182,085	127,106	137,499	205,286	391,025	277,712	176,520
1999	99,817	87,809	79,582	82,636	90,625	263,879	154,286	245,381	226,136	267,319	168,493	121,608
2000	100,165	88,211	83,029	73,078	69,819	75,838	99,724	157,921	187,858	485,863	332,028	145,889
2001	78,203	71,407	65,119	78,350	82,382	74,160	67,520	103,595	135,211	119,405	223,713	93,422
2002	116,871	94,159	86,822	60,395	66,793	349,201	282,483	208,280	299,804	471,646	252,526	157,832
2003	97,177	76,225	69,568	75,080	78,062	71,626	89,546	142,182	181,336	332,219	210,351	172,942
2004	91,617	77,507	67,878	67,171	69,764	148,116	270,868	231,965	369,609	209,106	157,962	110,217
2005	83,661	69,420	65,783	65,124	74,152	69,349	64,241	92,657	217,275	207,402	161,553	118,680
2006	82,025	66,551	60,337	59,111	75,453	97,502	79,845	175,934	278,781	231,071	142,053	88,391
2007	66,204	60,167	52,144	67,850	118,823	67,175	62,175	99,724	138,226	110,473	124,911	82,560
2008	65,549	62,198	61,035	52,409	69,588	127,002	69,962	96,473	221,434	165,167	108,334	81,239
2009	115,919	91,657	85,298	68,502	78,142	72,343	95,845	198,961	319,247	371,422	372,939	151,262
Ortalama	104,906	87,824	80,842	79,469	99,851	151,116	168,787	184,968	272,513	332,874	246,723	148,948

Ek-5b. (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar

FİKTİF BARAJ 3 DOĞAL AKIMLARI (m3/s)

Yıl	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1960	111,892	97,231	91,608	87,680	87,182	87,480	164,676	155,094	325,530	419,462	283,994	151,276
1961	86,051	73,036	75,024	81,991	82,771	84,099	95,966	219,155	169,469	251,966	162,744	114,808
1962	111,372	90,731	82,617	67,675	66,486	210,473	119,159	277,596	495,815	325,412	285,968	156,035
1963	186,607	138,496	124,473	78,017	74,117	313,014	330,912	469,374	396,937	527,257	490,977	355,231
1964	98,640	80,967	77,425	112,113	101,987	96,473	81,346	153,210	241,237	181,763	171,686	161,313
1965	142,024	117,261	104,615	73,779	87,619	115,182	129,422	192,529	446,218	544,095	322,708	209,985
1966	135,099	104,615	95,981	88,259	91,510	164,911	640,863	352,396	367,472	418,001	290,247	196,476
1967	168,092	125,969	110,931	93,840	122,139	291,508	247,558	176,413	366,801	524,978	452,938	231,151
1968	143,835	122,247	116,926	106,656	170,599	183,622	310,681	349,862	647,901	529,010	317,211	230,449
1969	178,574	141,658	124,298	101,472	224,914	420,794	421,902	295,104	693,250	582,073	544,606	276,397
1970	119,287	96,026	89,192	111,892	107,860	252,769	215,991	322,610	398,497	292,094	201,005	155,455
1971	118,808	109,856	89,153	102,079	152,615	138,126	124,890	135,046	226,949	467,129	250,632	177,438
1972	147,668	112,077	102,742	81,602	91,871	103,567	84,832	135,344	196,226	307,667	344,602	226,338
1973	90,007	73,182	72,586	93,870	88,730	79,053	73,184	136,500	169,774	220,396	198,396	142,753
1974	78,997	74,640	75,008	64,865	63,621	81,636	69,987	122,329	262,168	199,813	162,974	107,057
1975	155,301	118,000	97,461	76,865	73,649	234,705	207,783	184,004	349,653	700,003	585,619	268,094
1976	145,760	113,852	102,916	91,181	90,879	95,608	175,643	166,549	216,118	469,737	352,483	236,609
1977	147,764	107,348	104,073	121,272	155,442	282,880	182,015	361,517	401,199	523,296	403,614	219,641
1978	128,227	99,545	91,544	95,795	89,705	97,639	289,234	420,797	391,430	511,313	332,628	193,948
1979	135,819	97,879	85,521	128,378	114,714	196,232	405,179	302,813	230,383	259,287	220,947	196,702
1980	163,179	122,591	116,844	85,672	139,000	231,036	285,562	255,490	643,254	697,652	617,420	277,040
1981	194,201	130,930	113,722	120,340	116,200	150,159	445,983	467,596	765,410	508,729	370,118	291,763
1982	144,941	114,628	106,818	134,459	135,832	406,506	241,423	192,492	220,496	441,212	331,769	200,397
1983	128,054	98,709	89,461	102,026	99,669	89,660	133,389	161,177	349,168	514,707	286,681	188,800
1984	135,536	112,699	94,884	89,383	174,923	311,141	219,102	341,238	294,331	420,275	314,709	186,149
1985	94,638	84,369	72,051	86,829	99,169	88,282	141,645	200,796	249,633	403,089	240,739	162,330
1986	94,822	86,493	80,774	125,458	122,395	106,819	216,758	200,000	188,956	168,684	164,609	168,333
1987	170,114	112,563	92,836	76,066	90,439	130,954	277,936	248,460	407,705	668,914	415,822	295,303
1988	184,724	139,504	128,462	94,865	121,233	271,635	170,022	286,035	545,288	727,300	478,999	304,751
1989	83,304	78,017	75,894	149,628	200,009	226,353	169,181	147,376	210,528	156,407	119,412	99,490

Ek-5b. (devam). Bölüm 7.6’da yapılan çözümlere ait fiktif baraj yerlerine ait doğal akımlar

Yıl	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
1990	113,555	93,091	90,940	84,689	138,356	167,326	126,732	266,654	379,156	259,359	221,784	158,977
1991	95,717	79,206	74,184	83,517	86,128	92,696	78,078	130,067	184,250	292,149	184,515	133,488
1992	151,750	110,659	91,995	110,441	93,774	269,461	185,289	150,741	271,426	493,023	385,177	264,512
1993	156,175	114,879	96,290	87,088	180,868	196,150	136,338	149,991	267,842	473,150	470,786	261,435
1994	96,949	81,830	73,669	87,709	84,966	91,265	217,144	200,039	257,524	213,789	195,504	119,439
1995	147,925	112,651	99,659	73,989	219,012	206,044	242,646	203,026	281,311	506,171	406,933	236,002
1996	143,371	118,799	108,355	99,855	341,872	183,464	382,199	250,999	557,507	601,206	405,529	216,138
1997	127,725	113,046	97,228	118,910	102,321	234,055	185,158	135,058	142,617	415,157	281,280	182,130
1998	139,780	113,406	97,577	118,803	147,699	215,374	153,879	170,301	243,733	477,717	347,752	225,700
1999	119,749	100,440	89,127	93,314	102,821	304,868	185,506	286,623	260,894	325,012	207,157	158,652
2000	118,023	100,714	92,404	81,585	78,688	84,585	115,083	183,878	219,296	564,606	409,336	188,666
2001	89,314	79,462	70,691	88,005	96,565	85,954	77,949	160,782	177,051	136,021	268,031	109,449
2002	153,186	113,149	102,134	65,651	74,865	458,334	344,185	261,208	365,269	575,906	324,344	210,770
2003	115,167	87,209	78,384	87,975	90,081	82,109	102,072	160,168	209,305	394,307	256,741	216,703
2004	107,974	87,383	74,508	75,857	82,727	166,076	305,126	274,406	423,144	244,269	189,514	137,708
2005	94,539	76,645	70,707	71,421	81,656	77,016	70,698	123,696	232,192	228,148	182,692	139,939
2006	94,474	73,847	65,359	64,771	87,007	107,297	87,624	191,021	307,726	259,957	166,763	103,611
2007	75,357	67,741	55,988	75,918	150,026	76,404	69,946	132,483	164,489	122,966	157,356	99,994
2008	74,758	68,861	65,273	56,301	78,280	147,592	78,670	106,329	240,860	184,324	125,377	96,472
2009	142,342	103,706	94,550	74,647	84,884	78,852	104,615	221,255	352,546	426,423	434,286	183,815
Ortalama	127,623	101,437	91,497	92,489	116,797	177,345	198,423	223,753	328,119	403,108	306,742	192,502

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KISIKLI, Cem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.02.1985, Ankara
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (533) 641 17 18
 Faks : 0 (312) 437 00 66
 e-mail : cemkisikli@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2009
Lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2006
Lise	TED Ankara Koleji	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2008	Yolsu Mühendislik Hiz. Ltd. Şti.	Proje Mühendisi
2008-2010	Yolsu Mühendislik Hiz. Ltd. Şti.	Proje Müdürü
2010-Halen	Fensu Mühendislik İnş. Enj. Ltd. Şti.	Kurucu Ortağı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Bilgisayar, Yüzme, Basketbol



GAZİ GELECEKTİR..