



**NEHİR TİPİ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN YAPIM AŞAMASINDA
FARKLI SENARYOLAR İÇİN ÇEVRESEL FAYDA MALİYET
ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Metin YILMAZ

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

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.

Metin YILMAZ

25/07/2024

NEHİR TİPİ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN YAPIM AŞAMASINDA FARKLI
SENARYOLAR İÇİN ÇEVRESEL FAYDA MALİYET ANALİZLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)

Metin YILMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Hidroelektrik santraller, Türkiye'de hızla büyüyen önemli bir elektrik üretim kaynağı haline gelmiştir. Küresel çapta daha yeşil enerji kaynaklarına geçiş ve sera gazı emisyonlarını azaltma çabaları bağlamında, bu santrallerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve azaltılması zorunlu hale gelmiştir. Bu geçişin sürdürülebilir olması, hidroelektrik santral yatırımlarının çevre etkilerinin ve getireceği faydaların ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesiyle mümkündür. Sürdürülebilirliği değerlendirmek için en güçlü araçlardan biri Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) yöntemidir. Bu çalışmada, 3 HES için geliştirilen 5 farklı senaryo çerçevesinde hidroelektrik santrallerin inşaat aşamasındaki çevresel etkileri YDA yöntemi ile incelenmiştir. Örenaltı HES, Çağlar HES ve Çamlık HES projeleri örneklerinde çevresel etkilerin ekonomik maliyet analizi yapılmış ve bu maliyetlerin yatırımın ekonomik değerine etkisi değerlendirilmiştir. Simapro programı kullanılarak 10 etki kategorisinde kapsamlı bir YDA gerçekleştirilmiş ve CML 2 (Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilen) metodolojisi ile çevresel etkiler ekonomik değere dönüştürülmüştür. Bu değerler inşaat maliyetlerine eklenerek, elde edilen elektrik enerjisi faydasıyla karşılaştırılmıştır. 49 yıllık yatırımların iç verim oranı (IRR) hesaplamaları çevresel etkiler dikkate alınarak yapılmıştır. Bu çalışma, hidroelektrik santrali yatırımlarının çevresel maliyetlerinin de dikkate alınarak planlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Sonuçta, farklı HES senaryoları için, inşaat aşamasında 350,01 ton CO₂-eşd./MW (1,73 gr CO₂-eşd./Kwh) ile 7094,52 ton CO₂-eşd./MW (35,17 gr CO₂-eşd./kWh) arasında karbon salım değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerlerin karşılığında incelenen projelerin iç verim oranları (IRR) çevresel maliyete bağlı olarak düşüş göstermiştir.

Bilim Kodu : 90306
Anahtar Kelimeler : Hidroelektrik Santrali, Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), İnşaat Aşaması YDA, Çevresel Etki, Çevresel Maliyet, İç Verim Oranı (IRR)
Sayfa Adedi : 159
Danışman : Prof. Dr. Aysel Gamze YÜCEL İŞILDAR

COMPARISON OF ENVIRONMENTAL BENEFIT-COST ANALYSIS FOR
DIFFERENT SCENARIOS FOR THE CONSTRUCTION OF RUN-OF-RIVER TYPE
HYDROELECTRIC POWER PLANTS

(Ph. D. Thesis)

Metin YILMAZ

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

Hydroelectric power plants have become a rapidly growing important source of electricity generation in Turkey. In the context of global efforts for transition to greener energy sources and reduce greenhouse gas emissions, it has become necessary to evaluate and reduce the environmental impacts of these power plants. Making this transition sustainable is possible by evaluating in detail the environmental impacts and benefits of hydroelectric power plant investments. One of the most powerful tools for assessing sustainability is the Life Cycle Analysis (LCA) method. In this study, the environmental impacts of hydroelectric power plants during the construction phase were examined with the LCA method within the framework of 5 different scenarios developed for 3 HEPPs. Economic cost analysis of environmental impacts was made in the examples of Örenaltı HEPP, Çağlar HEPP and Çamlık HEPP projects and the impact of these costs on the economic value of the investment was evaluated. A comprehensive LCA was carried out in 10 impact categories using the Simapro program, and environmental impacts were converted into economic value with the CML 2 (developed by the Institute of Environmental Sciences of Leiden University) methodology. These values were added to the construction costs and compared with the electrical energy benefit obtained. Internal rate of return (IRR) calculations for 49 years of investments were made taking into account environmental impacts. This study emphasizes that hydroelectric power plant investments should be planned by taking into account their environmental costs. As a result, for different HEPP scenarios, between 350.01 tons CO₂-eq./MW (1.73 g CO₂-eq./Kwh) and 7094.52 tons CO₂-eq./MW (35.17 g CO₂-eq.) during the construction phase. Carbon emission values between . /kWh) have been reached. In return for these values, the internal rate of return (IRR) of the projects examined decreased depending on the environmental cost.

Science Code	: 90306
Key Words	: Hydroelectric Power Plant, Life Cycle Analysis (LCA), Construction Phase LCA, environmental impact, environmental cost, Internal Rate of Return (IRR)
Page Number	: 159
Supervisor	: Prof. Dr. Aysel Gamze YÜCEL İŞILDAR

TEŞEKKÜR

Eğitim ve tez dönemim boyunca, akademik bilgi birikimi ve tecrübeleriyle yanımda olan, çalışmamın her aşamasında desteğini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Aysel Gamze YÜCEL IŞILDAR'a teşekkür ederim.

Tez değerlendirme sürecinde değerli görüş ve katkıları için Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. İrfan AR ve Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Merih AYDINALP KÖKSAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca tez esnasında yardım ve desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Saeed MORSALI'ya da teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni maddi ve manevi destekleyen, her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
2.1. Tanımlar ve Kavramsal Çerçeve	7
2.2. Enerji	9
2.2.1. Yenilenebilir enerji kaynakları	9
2.2.2. Güneş enerjisi	9
2.2.3. Rüzgar enerjisi	9
2.2.4. Diğer yenilenebilir enerjiler	10
2.2.5. Hidroelektrik enerji santralleri	10
2.3. Dünya ve Türkiye’de HES Uygulamaları	12
2.4. HES’lerin Çevresel Etkileri	16
2.5. Yaşam Döngü Analizi	18
2.5.1. Sınıflandırma analizi	19
2.5.2. Karakterizasyon analizi	19
2.5.3. Normalizasyon analizi	20

	Sayfa
2.5.4. Ağırlıklandırma analizi	20
2.6. HES'lerin Fayda ve Maliyetlerinin Kavramsal Çerçevesi	20
2.7. Literatür Değerlendirmesi	22
3. MATERYAL VE METOD	43
3.1. Çalışma Alanlarının (Örnek HES'lerin) Seçimi ve Özellikleri	47
3.1.1. Örenaltı Regülatörü ve HES özellikleri	47
3.1.2. Çağlar Regülatörü ve HES özellikleri	51
3.1.3. Çamlık Regülatörü ve HES özellikleri	57
3.2. Örnek HES'lerin Yaşam Döngüsü Analizi ile Çevre Etkilerinin İrdelenmesi ...	66
3.2.1. Hedef ve kapsam	66
3.2.2. Karakterizasyon analizi	70
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	73
4.1. Örnek HES'lerin İnşaat Yatırım Maliyetleri ve Yatırımların İç Verim Oranları	73
4.1.1. Örenaltı HES inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları	73
4.1.2. Çağlar HES (2014) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları	75
4.1.3. Çağlar HES (2017) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları	75
4.1.4. Çamlık HES (2011) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları.....	76
4.1.5. Çamlık HES (2020) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları.....	77
4.2. Yaşam Döngüsü Analizleri -Karakterizasyon Analizleri	78
4.2.1. Örenaltı HES.....	81
4.2.2. Çamlık HES (2011)	85

	Sayfa
4.2.3. Çağlar HES (2017)	87
4.2.4. Çamlık HES (2020)	89
4.2.5. Çağlar HES (2014).....	91
4.3. Normalizasyon Analizleri	93
4.4. kg CO ₂ Eşdeğeri Üzerinden Çevresel Maliyet Hesabı	96
4.5. Çevresel Maliyet (CO ₂) İlave Edilerek Bulunan Yeni İç Verim Oranları	97
4.5.1. Örenaltı HES	98
4.5.2. Çağlar HES (2014-2017)	99
4.5.3. Çamlık HES (2011-2020)	101
4.6. Genel Tartışma	104
4.7. Bulguların Çıkarımları	107
4.7.1. Çevresel etkiler	107
4.7.2. Ekonomik etkiler.....	108
4.7.3. Politika çıkarımları	108
4.7.4. Tasarım ve mühendislik çıkarımları	108
4.7.5. Eğitim ve Öğretim etkileri	109
4.7.6. Toplum ve Paydaş etkileri	109
4.7.7. Araştırma sonuçları	109
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
5.1. Tezin Sonuçları	111
5.2. Öneriler	114
5.3. Gelecek Çalışmaları	115
5.3.1. Alternatif malzeme araştırması	115
5.3.2. Sürdürülebilir üretim teknolojileri	116

Sayfa

5.3.3. Yaşam döngüsü değerlendirme metodolojileri	116
5.3.4. HES tasarımının optimizasyonu	116
5.3.5. Çevresel etki azaltma stratejileri	117
5.3.6. Politika ve Düzenleme analizi	117
5.3.7. Ekonomik ve Sosyal etkiler	117
5.3.8. Teknolojik yenilikler	117
5.3.9. Paydaş katılımı ve iletişim	118
5.3.10. Vaka çalışmaları ve pilot projeler	118
KAYNAKLAR	119
EKLER	125
EK-1. Örenaltı HES keşfi.	126
EK-2. YEKDEM tarife	130
EK-3. Örenaltı HES iç verim oranı (IRR) hesabı	132
EK-4. Çağlar Hes (2014) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı	133
EK-5. Çağlar Hes (2014) keşfi	138
EK-6. Çağlar Hes (2017) keşfi	139
EK-7. Çağlar Hes (2017) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı	142
EK-8. Çamlık Hes (2011) Keşfi	143
EK-9. Çamlık HES (2011) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı	150
EK-10. Çamlık Hes (2020) Keşfi	151
EK-11. Çamlık HES (2020) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı	153
EK-12. Örnek HES projelerinin çevresel maliyet dahil yeni iç verim oranı (IRR) hesabı	154
ÖZGEÇMİŞ	159

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. 2022 yılı Türkiye HES'lerin toplam kurulu güç içindeki payı	3
Çizelge 2.1. Türkiye'deki hidroelektrik santralleri	14
Çizelge 2.2. Literatür taraması özeti	23
Çizelge 3.1. OECD tarafından hesaplanan ülkelere özgü karbon fiyatı (Türkiye)	46
Çizelge 3.2. Örenaltı HES'in özellikleri	48
Çizelge 3.3. Çağlar Regülatörü ve HES özellikleri (2014)	52
Çizelge 3.4. Çağlar regülatörü ve HES özellikleri (2017)	56
Çizelge 3.5. Çamlık HES özellikleri (2011)	59
Çizelge 3.6. Çamlık HES özellikleri (2020)	62
Çizelge 3.7. Tez çalışmasında kullanılan 5 farklı senaryo	65
Çizelge 3.8. Örenaltı HES inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar	67
Çizelge 3.9. Çağlar HES (2014) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar	68
Çizelge 3.10. Çağlar HES (2017) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar	68
Çizelge 3.11. Çamlık HES (2011) İnşaat Sürecine Ait Malzeme ve İlgili Taşımalar (2020 ile aynı kurulu güce göre)	69
Çizelge 3.12. Çamlık HES (2020) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar	69
Çizelge 4.1. Örenaltı HES yatırım bedeli	74
Çizelge 4.2. Çağlar HES yatırım bedeli (2014)	75
Çizelge 4.3. Çağlar HES yatırım bedeli (2017)	76
Çizelge 4.4. Çamlık HES yatırım bedeli (2011)	77
Çizelge 4.5. Çamlık HES yatırım bedeli (2020)	78
Çizelge 4.6. İncelenen örnek HES projelerinin yeni iç verim oranı	78
Çizelge 4.7. Karakterizasyon analiz sonuçları	79

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.8. 1 MW işlevsel birime göre karakterizasyon analiz sonuçları	80
Çizelge 4.9. Bileşenlere göre Örenaltı HES-karakterizasyon analiz sonuçları	82
Çizelge 4.10. Bileşenlere göre Çamlık (2011) HES-karakterizasyon analiz sonuçları - (2020 kurulu güce oranlı)	86
Çizelge 4.11. Bileşenlere göre Çağlar (2017) HES-karakterizasyon analiz sonuçları ...	88
Çizelge 4.12. Bileşenlere Göre Çamlık (2020) HES-Karakterizasyon analiz sonuçları.....	90
Çizelge 4.13. Bileşenlere göre Çağlar (2014) HES-Karakterizasyon analiz sonuçları ..	92
Çizelge 4.14. 1 MW işlevsel birime göre Normalizasyon analizi ($\times 10E8$)	93
Çizelge 4.15. Farklı senaryolar için en yüksek çevresel etkinin hangi kategori(ler) de olduğu ve bu etkinin kaynakları	95
Çizelge 4.16. CO ₂ Maliyet hesapları	96
Çizelge 4.17. İncelenen örnek HES projelerinin yeni iç verim oranı	97
Çizelge 4.18. Bileşenlere göre Örenaltı HES çevresel etkiler	98
Çizelge 4.19. Örenaltı HES iç verim oranı	98
Çizelge 4.20. Bileşenlere göre Çağlar 2014 HES çevresel etkiler.....	99
Çizelge 4.21. Çağlar 2014 HES iç verim oranı	100
Çizelge 4.22. Bileşenlere göre Çağlar 2017 HES çevresel etkiler	100
Çizelge 4.23. Çağlar 2017 HES iç verim oranı	101
Çizelge 4.24. Bileşenlere göre Çamlık 2011 HES çevresel etkiler	102
Çizelge 4.25. Çamlık 2011 HES iç verim oranı	102
Çizelge 4.26. Bileşenlere göre Çamlık 2020 HES çevresel etkiler	103
Çizelge 4.27. Çamlık 2020 HES iç verim oranı	103
Çizelge 4.28. İncelenen örnek HES Projelerinin CO ₂ Gaz salım değerleri Karşılaştırma	105
Çizelge 4.29. Enerji elde etme teknolojilerine göre kWh başına CO ₂ gaz salım değerleri (gCO ₂ eşd./kWh)	106

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hidroelektrik tüketiminin küresel dağılımı (Statista)	13
Şekil 2.2. Nehir Tipi HES’lerin genel yapıları	21
Şekil 3.1. Uygulanan yöntemde izlenen akış şeması	44
Şekil 3.2. YDA sistem sınırları	67
Şekil 4.1. 1 MW İşlevsel birime göre karakterizasyon analiz sonuçları	81
Şekil 4.2. Bileşenlere göre Örenaltı HES karakterizasyon analiz sonuçları	85
Şekil 4.3. Bileşenlere göre Çamlık (2011) HES karakterizasyon analiz sonuçları	87
Şekil 4.4. Bileşenlere göre Çağlar (2017) HES karakterizasyon analiz sonuçları	89
Şekil 4.5. Bileşenlere göre Çamlık (2020) HES karakterizasyon analiz sonuçları.....	91
Şekil 4.6. Bileşenlere göre Çağlar (2014) HES karakterizasyon analiz sonuçları	93
Şekil 4.7. Normalizasyon analiz sonuçları 1 MW kurulu güce göre	94

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Örenaltı HES proje alanı	51
Harita 3.2. Çağlar regülatörü ve HES tesisleri proje yeri	55
Harita 3.3. Çamlık regülatörü ve HES tesisleri proje yeri.	58



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
[m]	metre
[km]	kilometre
m ³	metreküp
m ³ /s	metreküp/saniye
L/s	litre/saniye
%	Yüzde
kW	kilowatt
MW	Megawatt
kWh	kilowatt-saat
g	gram
CO ₂ eq	Karbondioksit eşdeğer
Q ₁₀₀	Yüz yıllık taşkın debisi
km ²	Kilometrekare
η	Türbin Verim Katsayısı
Q	Debi [m ³ /s, L/s]
H	Düşü [m]
T	Projenin ekonomik ömrü (yıl)
CF	Projeden sağlanacak yıllık net nakit akımı (USD)

Kısaltmalar**Açıklamalar**

BIM	Bina bilgi modellemesi
CML	Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü tarafından geliştirilen yöntem
CSIRO	Avustralya Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Örgütü
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirme
DSİ	Devlet Su İşleri
EIA	Environmental Impact Assessment
EIO-LCA	Ekonomik Girdi-Çıktı Yaşam Döngüsü Analizi
GHG	Sera Gazı
GWP	Küresel Isınma
HES	Hidroelektrik Santral
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IHA	Dünya Hidroelektrik Birliği
IoT	Nesnelerin İnterneti
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IRR	İç Verim Oranı (Internal Rate of Return)
KHS	Küçük Hidroelektrik Santral
LCA	Life Cycle Assessment
NBD	Net Bugünkü Değer
PV	Fotovoltaik
ReCiPe	Kişi eşdeğeri yöntemi
RO	Nehir Sahibi
SHP	Küçük Hidroelektrik Santral
SSB	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
WTP	Ödeme istekliliği
WWF-TR	Uluslararası Su Fonu-Türkiye
YDA	Yaşam Döngüsü Analizi
YDE	Yaşam Döngüsü Envanteri
YDEA	Yaşam Döngüsü Etki Analizi
YİD	Yap-İşlet-Devret

1. GİRİŞ

Bu bölümde, iklim değişikliğine neden olan sera gazları emisyonlarının azaltılması ve artan enerji talebini karşılayabilmek için enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinin gerekliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde özellikle Türkiye’de önemli bir paya sahip olan hidroelektrik santrallerin kullanımına ilişkin bilgiler verilmiştir. Ancak özellikle nehir tipi hidroelektrik santraller için çevresel etkilerin, maliyet boyutunu da işin içine katarak ile birlikte ele alınmasının önemi açıklanmış ve bu amaca yönelik olarak yaşam döngüsü analizi hakkında temel bilgiler verilmiştir. Daha sonra; tezin özgünlüğü, amaç ve hedefleri; kapsamı ve yapısından bahsedilmiştir.

Genel bilgiler

Küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin giderek daha fazla yaşandığı bir gerçektir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, ortalama küresel sıcaklıkta öngörülen artış, daha da çok sayıda istenmeyen olumsuz duruma yol açacaktır (Calvin vd. 2023). Dünyanın ortalama sıcaklığının artmasının ana nedenlerinden biri, hızlı sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak karbondioksit (CO₂) ve sera gazı (GHG) emisyonlarındaki artışlardır. Çeşitli kaynaklar, atmosferdeki CO₂ miktarının sanayileşmenin başlangıcından bu yana istikrarlı bir şekilde arttığını göstermektedir (CSIRO. 2022). Nüfus ve endüstriyel faaliyetlerdeki eş zamanlı büyüme, küresel enerji tüketiminde önemli bir artışa yol açmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, CO₂ emisyonlarında enerji tüketiminin payı, küresel olarak toplam GHG emisyonlarının dörtte üçünden fazladır (Buildings – Analysis - IEA. 2023). ABD Enerji Bilgi Yönetimi'nin (EIA) projeksiyonuna göre, küresel nüfus ve şehirleşmedeki artış nedeniyle enerji tüketimi 2050 yılına kadar %50'ye kadar artacaktır (Eurostat 2018). Bu faktörlerin karşılıklı etkileşimi, insan faaliyetleri ile iklim değişikliği arasındaki karmaşık ilişkinin altını çizmektedir. Sanayileşme, hızlı kentleşme, genişleyen ulaşım ağları ve artan enerji talepleri, atmosferde sera gazlarının birikmesine neden olarak ısıyı hapsedmekte ve gezegenin ortalama sıcaklığının yükselmesine neden olmaktadır. Bu ısınmanın sonuçları, daha sık ve şiddetli hava olaylarından yükselen deniz seviyelerine ve ekosistemlerdeki bozulmalara kadar uzanan geniş bir yelpazeye yayılmaktadır (Calvin vd. 2023).

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik uluslararası çabalar, Paris Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi dünya çapında farklı anlaşmaların yürürlüğe girmesine yol açmıştır. Bu anlaşmalar, sanayileşme dönemi öncesindeki CO₂ seviyesine ulaşmak için uluslararası tutarlı ve sağlam bir işbirliği gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji altyapısını genişletme çabaları, teknoloji ve politika desteğindeki ilerlemelerle birleştiğinde, küresel enerji dönüşümünü daha sürdürülebilir ve esnek bir geleceğe doğru yönlendirmeye devam edecektir.

Enerji, toplumların ve altyapıların şekillendirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır ve yenilenebilir enerji gerek akademik çevrede gerek diğer platformlarda önemli bir konu haline gelmiştir. Fosil yakıtların sera gazı emisyonlarına büyük etkisi olduğunun kabul edilmesiyle birlikte, bunların yerini alacak çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ülkeler hızla artan enerji talebini karşılamak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için enerji üretim kaynaklarını çeşitlendirmeye ve özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmeye özen göstermektedir. Yüksek verimlilik, depolama kapasitesi, elde edilebilirlik gibi faktörlere bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik santraller genellikle büyük ölçekli elektrik üretiminde önemli bir rol oynarlar ve yenilenebilir enerji portföyünün önemli bir parçasıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik enerji şu anda en yaygın olanıdır ve Türkiye'nin elektrik sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. 2024 yılı Mart sonu itibarıyla kurulu kapasitemizin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında %29,6 ile hidrolik enerji ilk sırada yer almaktadır. %23,2 ile doğalgaz, %20,2 lik bir pay ile kömür %11,2 ile rüzgar, %11,7 güneş, %1,6 jeotermal, ve %2,5'i ise diğer kaynaklardan sağlanmaktadır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2024). Mevcut durumda fosil yakıtlara olan bağımlılık yüksek düzeyde olmasına rağmen yıllar itibarıyla yenilenebilir enerjinin kullanım oranları giderek artmaktadır.

Hidroelektrik Santraller (HES), yenilenebilirlik, temizlik ve maliyet etkinliği gibi faydalı niteliklerinin yanı sıra dışa bağımlı bir kaynak olmaması nedeniyle Türkiye'nin enerji bileşiminde önemli bir konuma sahiptir (Bor ve Üçtuğ 2022).

Çizelge 1.1. 2022 yılı Türkiye HES'lerin toplam kurulu güç içindeki payı*

YILLAR	BARAJLI	Doğal Göl ve AKARSU	HİDROLİK TOPLAM	TÜRKİYE TOPLAM	YERLİ KAYNAK PAYI
				KURULU GÜCÜ	%
2012	14744,6	4864,8	19609,4	57059,4	54,1
2013	16142,5	6146,6	22289,0	64007,5	53,6
2014	16606,9	7036,3	23643,2	69519,8	52,9
2015	19077,2	6790,6	25867,8	73146,7	56,1
2016	19558,6	7122,5	26681,1	78497,4	56,6
2017	19776,0	7497,1	27273,1	85200,0	57,3
2018	20536,1	7755,3	28291,4	88550,8	59,5
2019	20642,5	7860,5	28503,0	91267,0	60,8
2020	22925,0	8058,9	30983,9	95890,6	63,0
2021	23280,4	8212,2	31492,6	99819,6	64,2
2022	23275,2	8296,3	31571,5	103809,3	64,4
	22,42%	7,99%	30,41%	100,00%	

*: Çok yakıtlı santrallerin kurulu gücü dahil değildir.

Yukarıdaki tabloda 2022 yılı itibariyle HES'lerin toplam kurulu güç içindeki payı görülmektedir (<https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>). Buna göre 2022 yılı itibariyle barajlı HES'ler %22,42, nehir tipi HES'ler %7,99 paya sahiptir. Ayrıca üretilen enerjideki yerli payı 2022 yılı itibariyle %64,4 oranındadır.

HES gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, iklim değişikliğini ile mücadelede ve fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasında çok önemli bir adımı temsil etmektedir. Ancak, çevresel etkiler ve arazi kullanımı ve ekosistemin bozulmasıyla ilgili sorunlar gibi kendi zorluklarını da beraberinde getirmektedir.

Bu nedenle, HES'lerin potansiyel çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) gibi yönlendirici metodolojiler gereklidir. YDA, HES sistemlerinin yaşam döngüsü içindeki kritik noktaları belirleyebilen ve inşaat ve bakım aşamaları sırasında genel çevresel etkileri azaltmayı amaçlayan çeşitli senaryoları değerlendirebilen güçlü bir analitik araçtır.

YDA uygulamaları; hammadde çıkarma, üretim, kurulum, işletme ve nihai hizmetten çıkarma aşamalarını kapsayan, HES'in tüm yaşam döngüsünün kapsamlı bir şekilde incelenmesini sağlar. YDA, ürünlerin, süreçlerin veya sistemlerin tüm yaşam döngüleri boyunca çevresel, ekonomik ve sosyal etkilerini değerlendirmek için kullanılan kapsamlı ve sistematik bir metodolojidir (Morsali 2018) ve sürdürülebilirlik değerlendirmesinin güçlü araçlarından birisidir. YDA, çeşitli alternatiflerle ilişkili potansiyel çevresel etkileri değerlendirmek için niceliksel bir çerçeve sağlayan ekotoksikoloji, küresel ısınma, insan sağlığı, abiyotik kaynak tüketimi, asidifikasyon, ötrofikasyon, ozon tabakası incelmeleri gibi çok çeşitli çevresel göstergeleri dikkate alır (Morsali ve Yildirim 2024). YDA, bu aşamaların ve etkilerin birbirleri ile ilişkilerini hesaba katarak iyileştirme ve bilinçli karar almaya yönelik politikaların belirlenmesine yardımcı olur. Ek olarak YDA, sürdürülebilirliğin daha kapsamlı bir değerlendirmesine katkıda bulunarak ekonomik ve sosyal yönleri de dahil edebilir (Yuan vd. 2018). Özetle; bu yaklaşım, sürdürülebilir kalkınma stratejilerine rehberlik etmede, paydaşların olumsuz etkilerini en aza indiren ve çevre dostu ve sosyal açıdan sorumlu uygulamaların benimsenmesini teşvik eden iyi bilgilendirilmiş seçimler yapmalarına olanak sağlamada önemli bir rol oynamaktadır (Andreasi Bassi vd. 2021).

HES'ler özelinde ise; HES tesisleri, normal seyrinde sera gazı emisyonları üretmediğinden, temiz bir yol olarak kabul edilmektedir. Ancak, nehir tipi hidroelektrik santraller için de YDA yapılması oldukça önemlidir ve gereklidir. Çünkü nehir tipi hidroelektrik santraller nehir akış rejimlerini değiştirerek balıkların göç düzenlerini ve yumurtlama alanlarını etkileyerek biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açabilir. Ayrıca, bu santrallerin inşası habitat parçalanmasına ve arazi kullanımında değişikliklere yol açarak yerel yaban hayatı ve bitki örtüsünü etkileyebilir. YDA, bir HES in inşaat aşamasından, işletilmesine ve ömrünü tamamladıktan sonra da devre dışı bırakılmasına kadar santralin ömrünün tüm aşamalarıyla ilişkili çevresel etkilerin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlar. Bu bütüncül bakış açısı, su ekosistemleri, su kalitesi ve sediment taşınımı üzerindeki olumsuz potansiyel çevresel etkilerin belirlenmesi ve buna göre gerekli önlemlerin alınarak azaltılması için gereklidir.

İkinci olarak, YDA'lar nehir tipi hidroelektrik sistemlerin karbon ayak izinin değerlendirilmesine yardımcı olarak diğer yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla karşılaştırma yapılmasına olanak tanır. Bu karşılaştırma, sürdürülebilir enerji politikaları ve stratejileri geliştirmek için hayati önem taşımaktadır. Ayrıca YDA, hidroelektrik santrallerin çevresel performanslarını ve verimliliklerini artırmak için tasarım

ve işletimlerini iyileştirme fırsatını ortaya çıkarabilir. Ayrıca karar vericiler, yatırımcılar ve kamuoyu da dahil olmak üzere paydaşlara şeffaf ve bilimsel olarak temellendirilmiş bilgiler sağlayarak bilinçli karar vermeyi teşvik eder ve yenilenebilir enerji projelerinin kabul edilmesini ve desteklenmesini sağlar. Özetle, nehir tipi hidroelektrik santraller için bir YDA yürütmek, potansiyel ekolojik etkilerini ele alıp hafifletirken, bunların geliştirilmesi, inşa edilmesi ve işletilmesinin daha geniş çevresel ve sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu olmasını sağlar.

Tezin özgünlüğü

Literatürde HES'lerin ekonomik analizi ve çevresel değerlendirmesi ile ilgili birçok araç ve kaynak bulunurken; çevresel etkilerin getirdiği ilave maliyetin göz önüne alınarak iç verim oranının değişiminin ve yatırımın rantabilitesinin Türkiye özelindeki örneklerle irdelendiği çalışmaya rastlanmamıştır. Literatür çalışmasında özetlendiği üzere; nehir tipi küçük HES'lerle (Small Hydroelectric Power, SHP) ilgili gerek ekonomik katkıları gerekse çevreye verdikleri zararların çeşitli ülkelerdeki yasalar ve yönetmelikler çerçevesindeki farklı örnekler üzerinden değerlendirmeler incelenmiştir. Burada hidrolik ve ekonomik prensipler sabit olsa da çevresel etkiler ve bunları değerlendirilmesi ülke ve yer bazında farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla ülkemiz özelinde yapılacak örneklemelerle, HES yatırımlarında çevresel etmenlerin ölçülebilir şekilde ele alınması HES değerlendirmelerindeki çevreci yaklaşımların somut bir çerçeveye oturtulması noktasında diğer çalışmalardan ayrılarak literatüre fayda sağlayacaktır. Yaşam döngüsü analizi ve bu analiz bilgilerini kısmen ekonomik boyuta dönüştürerek, Türkiye'deki hidroelektrik santral inşaatının sürdürülebilirliği ve çevresel etkilerini ölçülebilir şekilde ortaya koyduğumuz bu çalışmanın; enerji sektöründe bilinçli kararlar almaya ve çevresel açıdan daha sorumlu uygulamaların benimsenmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Tezin amaç ve hedefleri

Bu tez kapsamında nehir tipi HES'lerin inşaat aşamasında oluşturduğu çevresel etkilerin yaşam döngüsü analiziyle kapsamlı ve analitik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Yaşam döngüsü analizi yaparak ve çevresel maliyeti yatırım maliyetine ilave edilerek yapılan ekonomik analizlerle kurulacak HES'in yapılma kararı yahut alternatif yöntemlerle inşasında hangi yolun izlenebileceği konusunda bu çalışma yol gösterici olacaktır. Bu

sayede, kurulacak HES'lerin rantabilite değerlendirmelerinde çevresel etkinin de dikkate alınarak, HES yatırımlarının değerlendirme sisteminin bir parçası haline getirilmesi hedeflenmektedir.

Tezin kapsamı

Bu çalışmada üç farklı nehir tipi HES için, HES'lerden kaynaklanan çevresel etkilerin seçilen inşaat yöntemine göre değişimi ve çevresel etkiye bağlı yeni iç verim oranları hesaplanmıştır. Bu üç hidroelektrik santralinin *inşaat aşamasında* oluşan çevresel etkileri ölçülebilir hale getirmek için SimaPro yazılımı ve CML 2 temel yöntemi kullanılarak kapsamlı bir YDA gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, özellikle hammadde çıkarma, taşıma, malzeme üretimi ve taşıma gibi faaliyetlerin yanı sıra inşaat aşamasındaki çevresel etkiler ve buna bağlı gaz salım değerleri incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında çevresel maliyet ve ekonomik analiz yapılmış, rantabilite noktasında çevresel etkiye bağlı ayrışmalar ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tezin yapısı

Çalışmanın ilk bölümünde konu ile ilgili genel bilgi, mevcut sorun, çalışmanın amacı ve kapsamı ile yapısı hakkında bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, genel bilgiler verilerek kullanılan tanımlar ve kavramsal çerçeve ortaya konulmuş, dünya ve Türkiye'de HES uygulamaları anlatılmış, HES'lerin çevresel etkilerine ve yaşam döngüsü analizine değinilmiştir. HES'lerin fayda ve maliyetlerinin kavramsal çerçevesi ortaya konularak literatür değerlendirmesi yapılmıştır. Üçüncü bölümde, metodoloji ve veri kaynakları ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Örnek HES'ler tanıtılmış ve çevre etkileri yaşam döngüsü analizi ile değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde, tez çalışmasında yaşam döngüsü analizi ile ilgili bulgular çevresel maliyete dönüştürülerek örnek HES'lerin yeni iç verim oranları hesaplanmış ve bunlara ait bulgular paylaşılmıştır. Çalışmanın sonuçları, öneriler ve öngörülen gelecek çalışmalar beşinci bölümde verilmiştir. Kaynaklar ise son bölümde yer almaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tanımlar ve Kavramsal Çerçeve

İnsanlık tarihinde çok az olgu sanayileşme kadar dönüştürücü olmuştur. Buhar gücünün 18. yüzyıldaki yükselişinden 21. yüzyılın dijital devrimine kadar, sanayileşme dünya çapında toplumları ve ekonomileri şekillendirmiş, dönüştürmüştür Küresel nüfusun katlanarak artmasıyla birleşen bu dönüştürücü güç, başta enerji olmak üzere gezegenimizin kaynaklarına olan talebi fazlasıyla arttırmıştır (Maja ve Ayano 2021). Önümüzdeki yıllara baktığımızda, sürdürülebilir kalkınma ve gelecek nesillerin refahı için mutlaka sanayileşme, nüfus artışı ve enerji gereksinimleri arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamak gerekmektedir. Sanayileşme; tarımsal ekonomilerden, imalat ve hizmetler tarafından yönlendirilen ekonomilere geçişi işaret eder (Clark 2014). Teknolojik yenilik, sermaye yatırımı ve iş bölümü ile beslenen bir süreçtir. Fabrikalar, montaj hatları ve seri üretim daha yüksek üretkenlik, artan zenginlik ve birçokları için yaşam standartlarının iyileşmesini sağlamıştır. Ancak bununla birlikte, çevresel bozulma, kaynakların tükenmesi ve sosyal eşitsizlik gibi zorlukları da beraberinde getirmiştir (R. J. Fischer, Halibozeck, ve Walters 2019). Sanayileşmeyle eşzamanlı olarak, nüfusun katlanarak artması sorunların da katlanarak artmasına neden olmuştur. Sadece iki yüzyıl içinde küresel nüfus yaklaşık bir milyardan bugün sekiz milyarın üzerine çıkmıştır (Taagepera ve Nemčok 2023). Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere bazı bölgelerde nüfus artışı yavaşlamış olsa da, gelişmekte olan birçok ülkede yüksek doğum oranları yaşanmaya devam etmektedir. Bu demografik değişim, eğitim, sağlık ve istihdam gibi temel hizmetlerin sağlanmasının yanı sıra enerji de dahil olmak üzere kaynaklara yönelik artan talebin karşılanması açısından da zorluklar yaratmaktadır (Khan, Uddin, ve Othman 2024).

Enerji, modern uygarlığın olmasa olmazıdır. Sanayileşme ve nüfus artışı devam ettikçe, enerjiye olan talep de artacaktır. Üstelik küresel olarak, sürdürülebilir ve düşük karbonlu kaynaklara geçişi hedeflediğimiz bu dönemde, bu talebi karşılamak 21. yüzyılın en büyük zorluklarından biridir. Fosil yakıtlar, özellikle de kömür, petrol ve doğal gaz, sanayileşmeyi sağlayan başlıca enerji kaynakları olmuştur. Ancak bunların yaygın kullanımı çevresel bozulmaya ve iklim değişikliğine yol açmıştır (Mhadhbi 2024).

Ancak unutulmamalıdır ki; Dünya'nın ekosistemlerinin temel hizmetleri sağlama ve biyolojik çeşitliliği sürdürme yeteneklerini bozmadan uzun vadede sürdürülebilir bir şekilde destekleyebileceği maksimum insan faaliyeti seviyesi olarak tanımlanan (Morshed vd. 2024) bir *ekolojik kapasitesi* vardır ve bu kapasite, mevcut kaynaklar (örneğin arazi, su ve enerji), ekosistem dirençliliği ve kirlilik, ormansızlaşma ve iklim değişikliği gibi insan kaynaklı faaliyetlerin etkileri ile belirlenir. İnsan faaliyetleri bu kapasiteyi aştığında; ekosistemler tahrip olur, biyolojik çeşitlilik azalır ve temiz su, verimli toprak ve iklim düzenlemesi gibi temel ekosistem hizmetleri tehlikeye girer. Bu durum çevresel krizlere, sosyal istikrarsızlığa ve ekonomik bozulmaya yol açabilir.

Uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamak için, insan faaliyetlerini ekolojik kapasitenin sınırları dahilinde yönetmek çok önemlidir. Bu da kaynak verimliliğini teşvik eden, atık ve kirliliği azaltan, ekosistemleri ve biyoçeşitliliği koruyan politika ve uygulamaların benimsenmesini gerektirir. Bu politika ve uygulamalar yenilenebilir enerji kaynaklarına, sürdürülebilir tarıma ve sorumlu tüketim kalıplarına doğru bir geçişi zorunlu kılmaktadır. Enerji tüketimi, özellikle fosil yakıt kullanımı kaynakların tükenmesinin başlıca etkenlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik üretimi, ulaşım ve endüstriyel süreçler için kömür, petrol ve doğal gaz olan bağımlılık, sınırlı rezervlerin tükenmesine, çevre kirliliğine ve iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarına yol açmaktadır (Ullah ve Lin 2024).

Kaynakların tükenmesi; çevresel kaygılar ve enerji güvenliği riskleriyle birleştiğinde, toplumların enerji üretme ve tüketme biçiminde bir yöntem değişikliğini zorunlu kılmaktadır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji teknolojileri, kaynakların tükenmesinin etkilerini hafifletebilecek ve sera gazı emisyonlarını azaltabilecek sürdürülebilir alternatifler sunmaktadır. Yenilenebilir enerjiye geçiş sadece bir çevre yönetimi meselesi değil, aynı zamanda ekonomik dayanıklılık ve küresel rekabet gücü için stratejik bir zorunluluktur. Yenilenebilir enerji endüstrileri, değişken fosil yakıt piyasalarına bağımlılığı azaltırken yenilikleri teşvik etme, istihdam yaratma ve kapsayıcı ekonomik büyümeyi teşvik etme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, merkezi olmayan yenilenebilir enerji sistemleri, özellikle uzak ve yetersiz hizmet alan topluluklarda enerjiye erişimi ve dayanıklılığı artırabilir.

2.2. Enerji

2.2.1. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji, tüketicilerinden daha hızlı bir şekilde yenilenen doğal süreçlerden elde edilen enerjiyi ifade eder (Moriarty ve Honnery 2012). Sonlu fosil yakıtların aksine, yenilenebilir enerji kaynakları kısa süreler içinde doğal olarak yenilenir ve çevresel etkileri göreceli olarak asgari düzeydedir. Bu enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar, hidro, jeotermal ve biyokütle yer alır ve her biri çeşitlendirilmiş ve sürdürülebilir bir enerji portföyüne katkıda bulunur.

2.2.2. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, fotovoltaik (PV) hücreler ve solar termal sistemler gibi teknolojileri kullanarak güneş radyasyonunun gücünden yararlanır. Fotovoltaik hücreler, silikon gibi yarı iletken malzemelerin fotonları emdiği ve elektronları serbest bırakarak bir elektrik akımı oluşturduğu fotovoltaik etki yoluyla güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürür (Arshad ve diğerleri, 2014). Solar termal sistemler ise güneş ışığını aynalar veya mercekler kullanarak ısı üretmek üzere yoğunlaştırır, bu ısı doğrudan kullanılabilir veya buhar türbinleri aracılığıyla elektriğe dönüştürülebilir. Güneş enerjisinin bol ve erişilebilir olması, onu yenilenebilir enerjiye geçişte bir önemli hale getirmektedir. Bununla birlikte, verimliliği coğrafi konum, hava koşulları ve günün saatinden etkilenebilir, bu da depolama çözümlerinde ve şebeke entegrasyonunda ilerlemeler gerektirir (Arshad vd. 2014).

2.2.3. Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi, hareket eden hava kütlelerinin kinetik enerjisinden faydalanır ve rüzgâr türbinlerini kullanarak bunu elektrik enerjisine dönüştürür. Bu türbinler, üzerlerinden rüzgâr geçtiğinde dönen ve elektrik üretmek için bir jeneratörü çalıştıran kanatlardan oluşur. Rüzgâr enerjisi, yüksek verimliliği ve nispeten düşük işletme maliyetleri nedeniyle en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr çiftlikleri karada veya açık denizde konumlandırılabilir; açık deniz rüzgâr çiftlikleri tipik olarak daha güçlü ve daha tutarlı rüzgâr hızlarından yararlanır. Rüzgâr enerjisindeki zorluklar arasında rüzgâr hızlarındaki değişkenlik ve görsel ve gürültü etkilerinin yanı sıra yaban hayatı, özellikle de kuşlar ve

yarasalar üzerindeki etkilerle ilgili endişeler yer almaktadır (Maradin, Cerović, ve Šegota 2021).

2.2.4. Diğer yenilenebilir enerjiler

Güneş ve rüzgâra ek olarak, diğer bazı yenilenebilir enerji kaynakları da küresel enerji karışımına katkıda bulunmaktadır. Jeotermal enerji, elektrik üretmek için dünya yüzeyinin altında bulunan sıcak su rezervuarlarından üretilen buharı kullanarak Dünya'nın iç ısısından yararlanır (Zarrouk ve Moon 2014). Biyokütle enerjisi, ısı veya elektrik üretmek için tarımsal kalıntılar, odun ve atık gibi organik maddelerin yakılmasını veya ayrıştırılmasını içerir (Parlevliet ve Moheimani 2014). Biyokütle ayrıca ulaşım için biyo-yakıta dönüştürülebilir. Hem jeotermal hem de biyokütle enerjileri, güneş ve rüzgârın kesintili doğasının aksine istikrarlı, temel yük gücü sunar, ancak kendi çevresel ve lojistik zorluklarıyla birlikte gelirler.

Bu kaynaklar arasında hidroelektrik, en eski ve en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olarak öne çıkmaktadır ve küresel enerji dönüşümü çabalarına katkıda bulunma konusunda önemli bir potansiyele sahiptir (Tu 2024).

2.2.5. Hidroelektrik enerji santralleri

Hidroelektrik enerji, yenilenebilir enerjinin en eski ve en yaygın kullanılan biçimlerinden biridir. Rezervuarlarda depolanan suyun potansiyel enerjisinden veya nehirlerde akan suyun kinetik enerjisinden yararlanarak elektrik üretir. Akan suyun kinetik enerjisinden elde edilen hidroelektrik, elektrik üretmek için yüzyıllardır kullanılmaktadır. Güvenilirliği, ölçeklenebilirliği ve düşük sera gazı emisyonları, onu temel yük gücü sağlayabilen ve rüzgâr ve güneş gibi değişken yenilenebilir kaynakları dengeleyebilen değerli bir yenilenebilir enerji kaynağı haline getirmektedir (Gayen, Chatterjee, ve Roy 2024). En yaygın hidroelektrik santrali türü, bir rezervuardan salınan suyun türbinlerden geçerek elektrik üretmek üzere hareket ettiği barajlardır. Büyük rezervuarlar gerektirmeyen akarsu sistemleri, nehir akışının bir kısmını türbinlere yönlendirerek daha az çevresel bozulma yaratır (Tu 2024). Hidroelektrik son derece verimlidir ve düşük işletme maliyetleriyle büyük ölçekli elektrik üretimi sağlayabilir. Tipik olarak barajlar ve rezervuarlar şeklinde olan hidroelektrik tesisleri, talebin düşük olduğu dönemlerde suyu depolayabilir ve yoğun zamanlarda elektrik

üretmek için serbest bırakarak şebeke istikrarı ve esnekliği sunar. Ayrıca, hidroelektrik altyapısı genellikle taşkın kontrolü, sulama ve su temini gibi yan faydalar sağlayarak bölgesel kalkınmasına katkıda bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji sistemleri bağlamında hidroelektrik, rüzgar ve güneş gibi diğer kesintili yenilenebilir kaynakların tamamlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgar ve güneş enerjisi değişken ve hava koşullarına bağlıyken, hidroelektrik güvenilir ve sevk edilebilir elektrik sağlayarak şebeke istikrarının sağlanmasına ve talep dalgalanmalarının karşılanmasına yardımcı olabilir.

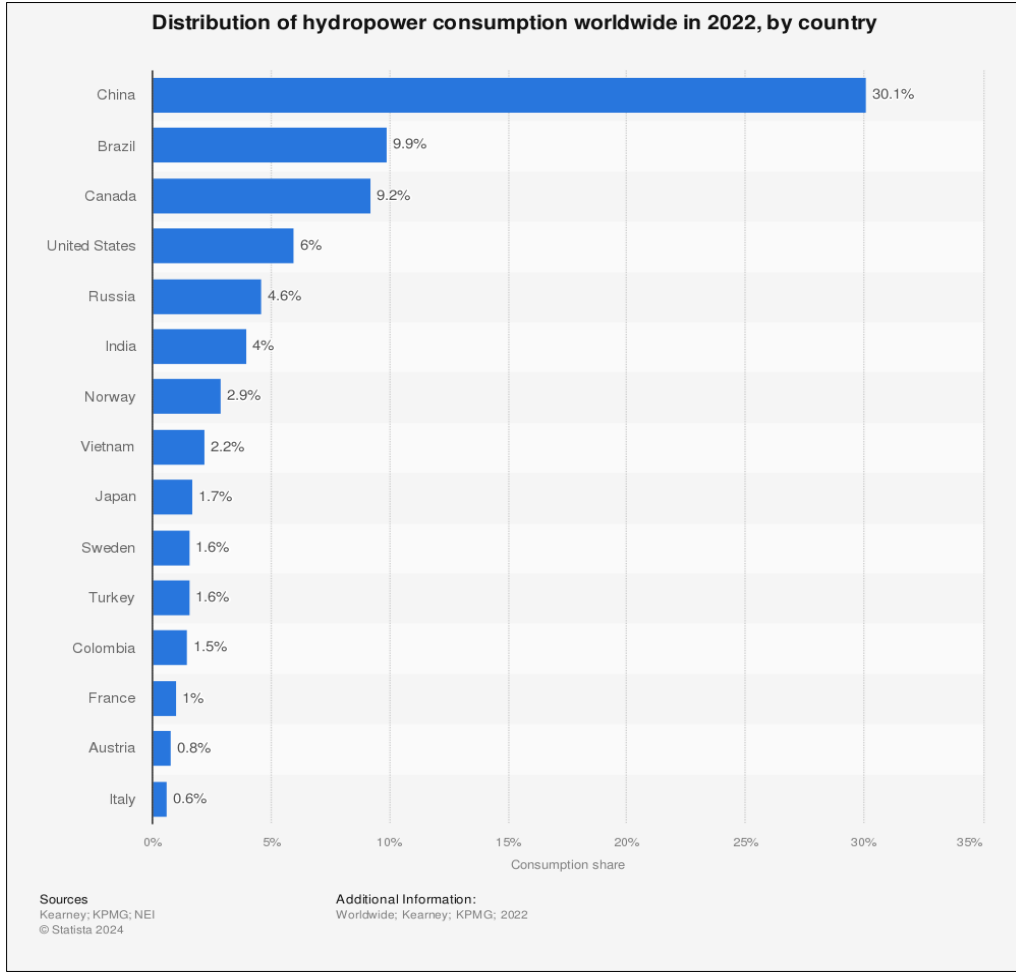
Ayrıca, hidroelektrik enerjinin rezervuarlarda enerji depolama kabiliyeti, bir enerji depolama biçimi olarak hareket etmesini sağlayarak arz ve talebi dengelemek ve değişken yenilenebilir kaynakların daha yüksek paylarını enerji karışımına entegre etmek için değerli bir araç sağlar. Bu esneklik, yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmayı ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmayı amaçladığı için özellikle önemlidir. Hidroelektrik enerjinin yaygınlaştırılması, elektrik üretiminin ötesinde çok sayıda fayda sağlamaktadır. İstihdam yaratma, altyapı yatırımı ve elektrik satışından gelir elde etme yoluyla ekonomik kalkınmayı teşvik edebilir.

Ancak, hidroelektrik enerji üretiminin, özellikle çevresel ve sosyal etkileriyle ilgili zorlukların da göz önüne alınmasının gerekliliği unutulmamalıdır. Büyük ölçekli barajlar ve rezervuarlar nehir ekosistemlerini değiştirebilir, su habitatlarını bozabilir ve toplulukları yerlerinden ederek biyolojik çeşitlilik ve kültürel miras kaybına yol açabilir. Ayrıca, iklim değişikliğinin yağış modellerinde ve su mevcudiyetinde yol açtığı değişiklikler, hidroelektrik üretiminin güvenilirliğini ve verimliliğini etkileyerek uzun vadeli sürdürülebilirliği açısından ek riskler oluşturabilir.

Elde edilecek fayda ve oluşacak çevresel etki ekseninde, bu tez çalışmasında, nehir tipi HES'lerin ekonomik kazanımları ve yatırım ve ilave olarak çevresel etkileri ve maliyetleri birarada ele alınarak örnek projeler üzerinden iç verim oranları (Internal Rate of Return-IRR) hesaplamaları ile ortaya konulmuştur.

2.3. Dünya ve Türkiye’de HES Uygulamaları

Bugün dünya genelinde tüketilen enerjinin yaklaşık yüzde 20’si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Mevcut durumda fosil yakıtlara olan bağımlılık yüksek düzeyde olmasına rağmen yıllar itibarıyla yenilenebilir enerjinin kullanım oranları giderek artmaktadır. Dünya Hidroelektrik Birliği’ne (IHA) göre, hidroelektrik sistemler (HES’ler) şu anda dünyadaki elektriğin %15’ini üretmektedir (International Hydropower Association 2024). Hidroelektrik enerji üretimi yaklaşık 4,5 petawatt (10^9 MW) saate yükselirken, küresel hidroelektrik tüketimi 2021 yılında 40,26 exajoule’e ($2,778 \times 10^8$ MW-saat) ulaşmıştır. Hidroelektrik, en ucuz enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir; bir tesisin inşası ve kurulumundan sonra, akarsuyun gücünden yararlanmanın maliyeti minimumdur. Ayrıca, akan suyun hızı türbinler aracılığıyla kontrol edilerek talep üzerine elektrik üretilebilir. Çin, hidroelektrik üretiminde dünya lideri konumundadır (Hydropower generation by country 2022 | Statista y.y.). Statista’ya göre, en yüksek hidroelektrik elektrik tüketimine sahip ülkeler aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Türkiye 2021 yılında hidroelektrik elektrik tüketiminde 11. sırada yer almıştır.



Şekil 2.1. Hidroelektrik tüketiminin küresel dağılımı (Statista)

Dört ana hidroelektrik santral türü vardır. Bunlar; nehir tipi, depolama, pompaj depolamalı ve açık deniz hidroelektriğidir. Dünyadaki barajların yalnızca küçük bir azınlığı hidroelektrik enerji için inşa edilmiştir; çoğunluğu sulama, su temini, taşkın kontrolü ve diğer amaçlar için kullanılmaktadır. Birçok hidroelektrik baraj, elektrik üretiminin ötesinde, evlere, endüstrilere ve tarıma temiz su temini için altyapı sağlamanın yanı sıra rekreasyon ve ulaşım hizmetlerini destekleyerek birden fazla amaca hizmet etmektedir. Ancak, nehir tipi hidroelektrik santrallerin sayısını gösteren herhangi bir kaynak mevcut değildir.

Ülkemizde tüketilen enerjinin %60'ından fazlası tamamen dışa bağımlı olduğumuz ithal kaynaklardan karşılanmaktadır. Ekonomik durgunluklar dikkate alınmazsa, Türkiye'de elektrik tüketimi her yıl %4-10 oranında artmaktadır. Bu talebi karşılamak için ülkemiz yeni enerji projeleri için her yıl 4 milyar ABD doları ayırmak zorundadır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü y.y.)

DSİ Genel Müdürlüğü 2022 yılı Faaliyet Raporu'ndaki verilere göre; Türkiye'de 2022 yılı sonu itibarıyla işletmede olan 740 adet hidroelektrik santralin toplam kurulu gücü 32.333,61 MW ve ortalama yıllık üretimi ise 108.005 milyar kWh olup, bu değer toplam geliştirilen potansiyelin yaklaşık %68'ine karşılık gelmektedir. Türkiye'de teorik hidroelektrik potansiyel 433 milyar kWh/yıl, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyel ise 216 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin teknik hidroelektrik potansiyeli dünya teknik hidroelektrik potansiyelinin %1,5'ine, Avrupa teknik hidroelektrik potansiyelinin ise %18'ine karşılık gelmektedir.

Çizelge 2.1. Türkiye'deki Hidroelektrik Santralleri

HES Aşaması	HES Adedi	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Toplamdaki Payı (%)
İşletmede	740	32334,00	111660,00	70,10
İnşa Halinde	22	465,00	1715,00	1,10
İnşaatı Henüz Başlanmayan	498	15240,00	45813,00	28,80
Toplam	1260	48039,00	159188,00	100,00

Türkiye, yenilenebilir enerji açısından önemli ve ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Ülkenin yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında hidroelektrik enerji gelmektedir. Hidroelektrik enerji, günümüzde alternatif enerji kaynakları arasında geniş kullanım ağı ve yüksek enerji rezervi ile öne çıkan bir enerji kaynağı olma özelliğini sürdürmektedir. 2023 yılı sonu itibarıyla hidroelektrik potansiyeli yaklaşık 48.094 MW güce ulaşmış olup, bu da yaklaşık 160 milyar kWh/yıl enerji üretimine tekabül etmektedir. Bu potansiyel, geliştirilen projelerle sürekli artmaktadır. Geri kalan hidroelektrik potansiyelin değerlendirilmesi amacıyla devlet ve özel sektör işbirliğiyle çalışmalar hızla devam etmektedir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2023).

2002 yılında hidroelektrik enerjide kurulu güç 12.179 MW iken, bu güç yaklaşık 2,6 kat artışla 2023 yılında 32.379 MW'a yükselmiştir. Hidroelektrik potansiyelin enerjiye dönüştürülmesi sürecinde gerçekleştirilen 32.379 MW kurulu gücün 14.314 MW'ı (%44,3'ü) DSİ tarafından geliştirilen ve inşa edilen HES'lerden elde edilmiştir. Enerji üretim potansiyeli, 2002 yılında 44 milyar kWh iken, son 21 yılda devlet ve özel sektör işbirliği ile yaklaşık 111,8 milyar kWh'e çıkarılmıştır. 2023 yılında toplam kurulu kapasite içerisinde hidroelektrik %30,2, toplam yenilenebilir kaynakların payı ise %55,3 olarak gerçekleşmiştir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2023).

Özellikle ülkemizde 2003 yılında yürürlüğe giren “ Su Kullanım Yönetmeliği ve 2005 yılında çıkarılan 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile birlikte su kullanım hakkı anlaşmasıyla beraber, özel sektörün yapacağı HES'lerden elektrik üretilip satılabilme serbestliği de getirilmiştir.

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve bu Kanuna istinaden çıkarılan Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği hükümleri çerçevesinde halen piyasada faaliyet gösteren veya gösterecek tüzel kişiler tarafından hidroelektrik enerji üretim tesisleri kurulması ve işletilmesine ilişkin üretim, otoprodüktör, otoprodüktör grubu lisansları için DSİ ve tüzel kişiler arasında düzenlenecek Su Kullanım Hakkı Anlaşması imzalanması işlemlerinde uygulanacak usul ve esasların belirlenmesine yönelik hazırlanan “Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik” 26.06.2003 tarih ve 25150 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmıştır.

Ülkemizde HES yapımıyla ilgili devam eden esas elde edilecek fayda ve bunun karşılığında tahrip olacak doğal yapı ile ilgili tartışmalar bulunmaktadır. Bunun çeşitli örneklerine yazılı ve görsel medyada dahi rastlamamız mümkündür. Türkiye'nin herkesin kabul ettiği enerji açığı ve enerjide dışa bağımlılığını azaltmak için 2003 yılında yürürlüğe giren Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun ile birlikte özel sektöre HES yapma serbestliği getirilmiştir. Bunun sonucunda özel sektörün de hem yapım hem 49 yıl süresince işletmesine de dahil olduğu bir süreç başlamıştır. Yatırım aracı olarak görülen bu projelerde kârlılık esasına göre değerlendirmeler yapılması kaçınılmazdır.

2.4. HES'lerin Çevresel Etkileri

Hidroelektrik enerji, yenilenebilir elektrik üretimi için önemli bir kaynaktır ve önemli bir potansiyele sahiptir. Hidroelektrik santrali elektrik üretimi dağılımındaki yüksek oranı ve gelecekte beklenen talep artışı göz önüne alındığında, talebin karşılanması için sürdürülebilir yolların belirlenmesine yardımcı olmak üzere hidroelektrik santrali için farklı seçeneklerin çevresel etkilerini anlamak önemlidir. İklim değişikliğinin azaltılması, acil durum yönetimi ve taşkın riskinin azaltılması gibi küresel bir bakış açısıyla ekolojik avantajlar sunarken, hidroelektrik santrallerinin inşası ve işletilmesi yerel ve bölgesel düzeyde bazı çevresel etkilere neden olabilir.

HES'lerin yapısal ve konumsal özelliklerine bağlı olarak; kurulum ve işletilmeleri sırasında; doğal yapıya, su kaynaklarına, yaban hayvanlarına, biyoçeşitliliğe, su canlılarına, hafriyat atıkları nedeniyle doğal alanlara, yerleşik nüfusa, kültürel mirasa ve sera gazı etkisi sebebiyle iklime çeşitli derecede olumsuz etkileri oluşabilmektedir.

HES'lerin özellikle inşaat dönemleri boyunca; saha durumuna göre, büyük oranlarda çevresel etkileri söz konusu olabilmektedir. Bu etkileri akarsuların morfolojik yapılarını ciddi derecede tahribata maruz bırakmak, akarsuyun doğal akış düzenini değiştirmek, gürültü, toz, trafik olarak belirtebiliriz. Fakat çoğu zaman inşaat aşamasında meydana gelen hafriyatın sahadan uzaklaştırılması ve nasıl taşınacağı problem olarak ortaya çıkabilmektedir. Özellikle dik eğimli yamaçlarda iletim hatlarının inşaatlarında oluşan hafriyatın dere yatağına dökülmesi ile arada kalan, gelişme dönemindeki bitkilerin zarar görmesi ve dere yatağının morfolojisinin bozulması çevresel etkiler olarak sayılabilmektedir. (Hidroelektrik Santrallerin (HES) Çevresel ve Sosyal Etkileri: Alakır Vadisi Örneği).

HES'lerin işletme aşamasında oluşabilecek etkileri ise; üzerinde bulunan dere yatağında suyun kullanılması sonrasında, HES ve regülatörler arasında kalan kısımlarda suyun ciddi derecede azalması olarak belirtebiliriz. HES'ler nehirlerdeki suyun büyük bir bölümünü kullandığından suyun akış miktarı, akış hızı, nehrin derinliği ve taban yapısı büyük ölçüde değişmektedir. Bunun yanında sulama problemlerine bağlı olarak tarımsal üretimde sıkıntılar yaşanmaktadır. HES'lerin işletimi aşamasında çoğu zaman nehrin akış hızı azaldığından; suyun havalanması ve sudaki çözünmüş oksijen miktarı azalmaktadır.

Oksijenin belirli bir değerin altına düşmesi; toplu balık ölümlerine neden olabilmekte, aynı zamanda suyun sıcaklığında önemli ölçüde değişiklikler yaratabilmektedir. Bu durum, suyun belli sıcaklığına hassas olan türlerin yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. HES'lerin işletimi sebebiyle yer altı suyu miktarı önemli ölçüde azalmakta, dolayısı ile nehir civarındaki bitki örtüsü ve buna bağlı olan canlı yaşamı ciddi bir şekilde tehdit altına girmektedir. Aslında nehir çevresindeki bitki örtüsünün bir başka fonksiyonu taşkın ve sel kontrolünü sağlamaktır. HES'lerin işletilmeleri dolayısı ile bu durum sel baskını risklerini arttırmaktadır. Ayrıca birçok balık ve canlı türü içgüdüsel olarak, yaşamlarının belirli dönemlerinde nehir boyunca uzun ya da kısa mesafeli yer değiştirmesi, göçler gerçekleştirmektedir. Nehirlerdeki göçlerin en çok rastlanılanı balıkların yumurtlama amacı ile yaptıkları göçlerdir. HES'ler dolayısı ile inşa edilen regülatörler, sudaki canlıların nehir boyunca hareketini sekteye uğratmakta; üreme tamamen durursa, bu durum balık türünün o nehir habitatından tamamen yok olması ile sonuçlanabilmektedir. HES'lerin işletilmesi dönemlerinde; nehirlerden denizlere taşınan sediment miktarı azaldığından alt havzalardaki habitat ve biyolojik çeşitlilik buna bağlı olarak etkilenmekte, delta yapılarına yeterince sediment ulaşamamasından dolayı kıyı erozyonu riski artmaktadır (WWF-TR, 2013).

Bütün bu çevresel etkilere rağmen, HES'lerin yapımında fizibilite durumuna göre ekonomik rantabilite ön plana alınarak işletim tiplerinden uygun olanı tercih edilmektedir. Tercih edilen yapım yöntemine göre ekonomik maliyet ve çevresel etkiler değişiklik göstermektedir. Maliyet analizini etkileyen bileşenler hidroelektrik santralin yapımı için projelendirilmesinden başlayarak yürütülen inşaat faaliyetlerinin tümünü kapsamaktadır. Farklı iletim yapıları için yapılacak inşaat faaliyetleri doğal olarak farklı olacaktır. Sözgelimi tünel ile yapılacak iletim ile açık kanal veya borulu iletim farklı inşaat faaliyetleri gerektirecektir

Sürdürülebilirlik kavramı genellikle birbiriyle bağlantılı üç boyut üzerinden anlaşılmaktadır. Bunlar; çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik olarak öne çıkmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, kirliliği azaltarak, biyolojik çeşitliliği koruyarak ve doğal kaynakları sorumlu bir şekilde yöneterek gezegenin sağlığını korumayı amaçlayarak doğal kaynakların ve ekosistemlerin korunmasına odaklanır (D. Fischer, Brettel, ve Mauer 2020). Sosyal sürdürülebilirlik, kaynaklara adil erişim, sosyal eşitlik ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesini savunarak bireylerin ve toplumların refahını vurgular. Bu boyut, kalkınmanın gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeden bugünün

ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlamaya çalışır. Üçüncü boyut olan ekonomik sürdürülebilirlik, bir ekonomik sistemin tanımlanmış bir ekonomik üretim düzeyini süresiz olarak destekleme kabiliyetiyle ilgilidir. Doğal kaynakları tüketmeden veya çevreye zarar vermeden sürdürülebilecek bir büyümenin teşvik edilmesini içerir. Ekonomik sürdürülebilirlik, genel toplumsal refaha katkıda bulunan istikrarlı ekonomik sistemler yaratmak için verimli kaynak kullanımı, yenilikçilik ve uzun vadeli planlamanın önemini vurgular. Sürdürülebilir kalkınma, bu üç boyutu entegre ederek çevre sağlığını, sosyal eşitliği ve ekonomik uygulanabilirliği destekleyen dengeli bir yaklaşım elde etmeyi ve böylece uyumlu ve dirençli bir gelecek sağlamayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, HES sistemlerinin çevresel hususlarına ek olarak, HES projelerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesine finansal hususlar da dahil edilmelidir.

2.5. Yaşam Döngü Analizi

Yaşam Döngüsü Analizi (YDA), hizmetlerin veya ürünlerin tüm yaşam döngüleri boyunca potansiyel çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir metodolojidir (Dabaieh vd. 2020). Malzeme çıkarımından bertarafına veya yeniden kullanımına kadar çevresel etkileri inceler. ISO 14040:2006 standardı, YDA'yı “bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkilerinin derlenmesi ve değerlendirilmesi” olarak tanımlamaktadır (Jiménez vd. 2015). ISO standardının yanı sıra, Avrupa’da özellikle inşaat sektörü için bir YDA standardı oluşturmuştur (Lasvaux vd. 2015).

YDA dört aşamadan oluşmaktadır: Hedef ve Kapsam Tanımı, Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE) analizi, Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) ve Yorumlama (ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework 2006). Hedef ve Kapsam Tanımı aşamasında, YDA'nın hedefleri, sınırları ve gereksinimleri belirlenir. YDE analizi aşamasında, ürün veya hizmetin yaşam döngüsü envanterini oluşturmak için ilgili veriler toplanır ve sayısallaştırılır. YDEA aşaması, yaşam döngüsü envanterine dayalı olarak potansiyel çevresel etkileri değerlendirir. Son olarak yorumlama aşaması, ürün veya hizmetin çevresel performansını iyileştirmeye yönelik öneriler sunmak için sonuçların analiz edilmesini ve özetlenmesini içerir.

ISO 14040:2006 standardına göre, yaşam döngüsü analizinde iki analiz zorunlu, iki analiz ise isteğe bağlıdır. Zorunlu analizler sınıflandırma ve karakterizasyondur. Sınıflandırma,

envanter verilerinin belirli etki kategorilerine atanmasını içerir. Karakterizasyon ise, karakterizasyon faktörlerini kullanarak bu kategorilerin potansiyel çevresel etkilerini ölçer. İsteğe bağlı analizler normalizasyon ve ağırlıklandırmadır. Normalizasyon, karakterize edilen etkileri bir referans sistemle karşılaştırarak bağlamsallaştırır ve ağırlıklandırma, normalleştirilmiş etkileri göreceli önemlerine göre tek bir puanda toplar, karşılaştırma yapabilmeyi sağlar (ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework 2006).

2.5.1. Sınıflandırma analizi

Sınıflandırma analizi, envanter verilerinin potansiyel çevresel etkilerine göre belirli etki kategorilerine atandığı YDEA aşamasındaki ilk adımdır. Bu adım emisyonların, kaynak çıkarımlarının ve diğer çevresel müdahalelerin küresel ısınma, asidifikasyon, ötrofikasyon ve insan toksisitesi gibi ilgili etki kategorilerine ayrılmasını içerir. Sınıflandırmanın amacı, envanter akışlarını sistematik olarak çevresel ilgilerini yansıtan kategoriler halinde düzenlemektir (Chevalier ve Rousseaux 1999). Örneğin, karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksit (N₂O) emisyonları küresel ısınma potansiyeli (GWP) kategorisi altında sınıflandırılır. Bu süreç, ilgili tüm çevresel etkilerin dikkate alınmasını ve sonraki analizlerde uygun şekilde ele alınmasını sağlar.

2.5.2. Karakterizasyon analizi

Karakterizasyon analizi, sınıflandırılan her bir akışın potansiyel çevresel etkilerini sayısallaştırarak sınıflandırma adımına dayanır. Bu, sınıflandırılmış envanter verilerini her bir etki kategorisi için ortak bir ölçü birimine dönüştüren karakterizasyon faktörlerinin uygulanmasıyla elde edilir. Bu faktörler, her bir maddenin belirli bir çevresel etkiye göreceli katkısını yansıtan bilimsel modellerden türetilir (Qin, Cucurachi, ve Suh 2020). Örneğin, 'küresel ısınma potansiyeli' kategorisinde CO₂, CH₄ ve N₂O etkilerini CO₂ eşdeğerleri cinsinden ifade etmek için ilgili küresel ısınma potansiyelleri ile çarpılır. Böylece karakterizasyon, çeşitli kirleticilerin karşılaştırılabilir ölçülerde toplanmasını sağlayarak bir ürün veya hizmetle ilişkili genel çevresel etkinin daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlar.

2.5.3. Normalizasyon analizi

Normalizasyon, karakterize edilen etkileri bir referans sistemle karşılaştırarak bağlamsallaştırır. Bu adım, karakterize edilen sonuçların, belirli bir dönem boyunca belirli bir bölge veya nüfus içindeki toplam çevresel etkiyi temsil eden normalizasyon faktörlerine bölünmesini içerir. Normalizasyon faktörleri genellikle toplam emisyonlar ve kaynak tüketimi de dahil olmak üzere ulusal veya bölgesel çevre istatistiklerine dayanır. Etkilerin normalleştirilmesiyle paydaşlar, değerlendirilen etkilerin daha geniş bir bağlamda göreceli önemini ölçebilir (Roesch, Sala, ve Jungbluth 2020). Örneğin, bir ürün sisteminin etkisi, bir bölgedeki kişi başına düşen ortalama çevresel yük ile karşılaştırılarak etkilerin ihmal edilebilir, önemli veya kritik olup olmadığı vurgulanabilir. Böylece normalleştirme, önemli etki kategorilerine öncelik verilmesine yardımcı olur ve sonuçları bölgesel veya küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumlu hale getirir.

2.5.4. Ağırlıklandırma analizi

Ağırlıklandırma analizi, normalleştirilmiş etkilerin ağırlıklandırma faktörlerinin uygulanması yoluyla tek bir puanda toplandığı YDEA aşamasındaki son adımdır. Bu faktörler toplumsal, çevresel veya ekonomik hususlara dayalı olarak farklı etki kategorilerinin göreceli önemini yansıtır. Ağırlıklandırma, önceliğini belirtmek için her bir etki kategorisine sayısal bir değer atanmasını içerir (Johnsen ve Løkke 2013). Örneğin, küresel ısınmanın asidifikasyondan daha kritik olduğu düşünülüyorsa, küresel ısınma potansiyeli kategorisine daha yüksek bir ağırlık faktörü atanır. Ağırlıklandırılmış etkiler daha sonra toplanarak ürün veya hizmet için genel bir çevresel performans puanı elde edilir. Bu puan, YDA sonuçlarının yorumlanmasını basitleştirerek karar vericilerin farklı senaryoları karşılaştırmasını ve bilinçli seçimler yapmasını kolaylaştırır.

2.6. HES'lerin Fayda ve Maliyetlerinin Kavramsal Çerçevesi

HES yatırımlarının geliştirilmesinde projenin rantabilitesi esas alınmaktadır. Bu kavram yani 'rantabilite' projenin değerlendirme periyodu boyunca elde edilecek faydaların bugünkü değeri, aynı periyot boyunca yapılan toplam masrafların (yatırım masrafları+işletme ve bakım yenileme masrafları) bugünkü değerine bölünerek elde edilir. Yatırım maliyeti farklı yapım metodları için ve farklı malzeme tür ve miktarları için farklı

olacaktır. Dolayısıyla aynı kotlar arasında farklı bir iletim hattı inşaatı ile projenin rantabilitesi etkilenecektir. Çevresel etkiler de hesaba katılarak yapılan ekonomik analizin bu etkiler dikkate alınmadan yapılan rantabilite analizine göre farklılık göstereceği açıktır.



Şekil 2.2. Nehir Tipi HES'lerin genel yapıları

HES'in üzerinde kurulacağı akarsuyun akım değerlerine bağlı suyun debisi ve bir hidroelektrik santraldeki su kaynağının en üst düzeyi yani su girişi ile türbin su çıkışı arasındaki yükseklik farkı olan su düşüşü HES'in enerji üretimini etkileyen iki önemli parametredir.

Bir hidroelektrik santralinin üreteceği güç aşağıdaki formül ile bulunur.

$$P = \rho * H * \eta * Q * g$$

(2.1)

Formülün tüm bileşenlerinin açıklamaları ve formüle katkıları aşağıdaki gibidir:

- P = Hidroelektrik santralin kurulu gücünü gösterir, [W].
- ρ = Suyun yoğunluğunu temsil etmektedir, [kg/m³].
- H = Net düşüyü temsil etmektedir, [m].
- η =Verim Katsayısı
- η (genel) = η (inşaat) * η (cebri boru) * η (türbin) * η (jeneratör) * η (transformatör) *

η (nakil hattı)

- Q = Akarsuyun taşıdığı debi, [m³/s].

Bu kurulu gücün çalıştığı süre boyunca yani suyun mevcudiyetine göre zamanla kurulu güç çarpıldığında ortaya çıkacak elektrik enerjisi değeri HES'ten alınabilecek ekonomik faydaya esas teşkil eder. Bu faydayı sağlamak için HES ve tesislerinin inşaat faaliyetlerinin yapılması gerekir. HES'in regülatör yapısı, iletim hattı, su alma yapısı, yükleme odası, cebri boruları, santral binası, elektromekanik teçhizat, trafo ve şalt sahası, enerji nakil hattı, şantiye tesisleri ve servis yolları inşaat faaliyetlerinin temel bileşenleridir (Şekil 2.2).

HES yatırımının gerçek rantabilitesini ölçmek bu yatırımın inşaat maliyetine bağlı olan toplam yatırım maliyeti ile elde edilecek enerji faydasının zamana bağlı olarak kıyaslandığı iç verim oranı (IRR) fonksiyonu ile mümkündür. Literatürde “iç kârlılık oranı”, “iç getiri oranı”, “sermayenin marjinal verimliliği”, “yatırımın marjinal verimliliği” olarak da adlandırılan iç verim oranı (IRR), yatırım projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir orandır. İç verim oranı, bir yatırım projesinin net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen diğer bir deyişle nakit girişlerinin bugünkü değerini nakit çıkışlarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanır. İç verim oranı aynı zamanda yatırımın ne oranda katma değer yaratacağını ifade eder.

Tezimizin kapsamında öncelikle seçilen-verileri temin edilebilen- Örenaltı HES üzerinden inşaat aşamasında oluşacak çevresel etki ve buna bağlı çevresel maliyetlerle iç verim oranı hesaplanmıştır. Sonrasında çevreye olan etkisi yüzünden ilk keşfine göre değişiklikler yapılan Çağlar ve Çamlık HES üzerinden karşılaştırmalı olarak çevresel etkinin seçilen inşaat yöntemine göre değişimi çevresel etkilerin ve çevresel maliyete bağlı yeni iç verim oranlarına göre yatırımlar sorgulanmış ve çevresel etkiyi dikkate alarak yeni bir rantabilite anlayışı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2.7. Literatür Değerlendirmesi

Tezin bu bölümünde, şimdiye kadar nehir tipi santrallerin alt kolu olan küçük hidroelektrik santrallerin (Small Hydropower Plant-SHP) çevresel etkileri ve bu etkilerin YDA (Yaşam Döngüsü Analizi) ile incelendiği çeşitli ülke örnekleri incelenmiştir. Bu incelenen örnekler aşağıdaki tabloda kronolojik sıraya göre sunulmuştur:

Çizelge 2.2. Literatür taraması özeti

Çalışmanın Orijinal Adı	Çalışmanın Türkçe Adı	Yazarlar	Yıl	Konu Özeti
An approach to the investment analysis of small and medium hydro-power plants	Küçük ve orta ölçekli yatırım analizine bir yaklaşım hidroelektrik santralleri	F. Forouzbakhsha, S.M.H. Hosseinib, M. Vakilian	2006	İncelenen çalışmada 3,7 MW ve 30 MW büyüklüğündeki sırasıyla nehir tipi HES ve depolamalı HES için NBD (Net Bugünkü Değer) dönüşümü yapılarak rantabilite analizi yapılmış ve YİD (Yap-İşlet-Devret) modeli üzerinden özel sektörün iştiraki önerilmiştir.
Life-cycle inventory of energy use and greenhouse gas emissions for two hydropower projects in China	Enerji kullanımı yaşam döngüsü envanteri ve Çin'deki iki hidroelektrik projesi için sera gazı emisyonları	Qinfen Zhang; Bryan Karney, Heather L. MacLean and Jingchun Feng	2007	Yapılan çalışmada U.S. EIO-LCA yaklaşımı kullanılarak Çin'deki seçilen HES projeleri için yaşam döngüsü analizi kullanılarak çevresel etkinin maliyeti hesaplanmaya çalışılmıştır.
Life cycle analysis of run-of river small hydro power plants in india	Hindistan'daki Nehir Tipi Küçük Hidroelektrik Santrallerinin Yaşam Döngüsü Analizi	Varun, I. K. Bhat and Ravi Prakash	2008	İncelenen çalışmada Carnegie Mellon EIO-LCA software (US Dept. of Commerce 1997 Industry Benchmark) kullanılarak küçük HES'lerin çevre etkisi YDA (Yaşam Döngüsü Analizi) ile incelenmiş, inşaat işleri, elektromekanik işler ve işletme aşamalarındaki gaz salımları ve bunun 1997 yılından dönüştürülmüş ekonomik değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Application of the contingent valuation method in a developing country: a case study of the Yusufeli Dam in northeast Turkey	Gelişmekte olan bir ülkede koşullu değerlendirme yönteminin uygulanması: Türkiye'nin kuzeydoğusundaki baraj olan Yusufeli özelinde bir vaka çalışması	Emre Alp, Ülkü Yetiş	2010	Yapılan çalışmada Yusufeli HES'in çevresel maliyeti Koşullu Değerleme Yöntemi (CVM) ile Yusufeli sakinlerinin verdiği cevaplar doğrultusunda çevre için ödeme istekliliği (WTP) ölçülerek hesaplanmaya çalışılmıştır.
Nehir tipi hidroelektrik santraller ve çevresel etkileri (Reşadiye hidroelektrik santralleri örneği)	Nehir tipi hidroelektrik santraller ve çevresel etkileri (Reşadiye hidroelektrik santralleri örneği)	Yrd. Doç. Dr. Vedat Karadeniz Doç. Dr. Erdal Akpınar Doç. Dr. Adem Başbüyük	2010	Yapılan çalışmada Tokat il sınırlarındaki Reşadiye HES örneği üzerinden HES'lerin çevre etkileri irdelenmiştir.
Estimating the economic value of landscape losses due to flooding by hydropower plants in the Chilean Patagonia	Şili Patagonya'daki hidroelektrik santrallerinin neden olduğu sel nedeniyle oluşan peyzaj kayıplarının ekonomik değerinin tahmin edilmesi	Roberto D. Ponce · Felipe Vásquez · Alejandra Stehr · Patrick Debels · Carlos Orihuela	2011	İncelenen çalışmada CVM (Koşullu Değerleme Yöntemi) kullanılarak hidroelektrik santralin bölgedeki peyzaj kaybına olan ekonomik etkisi ölçülmeye çalışılmıştır.
Life cycle greenhouse gas emissions estimation for small hydropower schemes in India	Hindistan'daki küçük hidroelektrik santralleri için yaşam döngüsü sera gazı emisyonları tahmini	Varun, Ravi Prakash , I.K. Bhat	2012	Yapılan çalışmada nehir tipi, ve depolamalı baraj tipi küçük HES'ler için farklı kurulu güçler ve düşümlere göre gaz salımları incelenmiş ve kurulu güç arttıkça kWh başına düşen gaz salımının azaldığı ve çevresel etkinin azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Hydropower in Turkey: Economical, social and environmental aspects and legal challenges	Türkiye'de Hidroelektrik: Ekonomik, sosyal ve çevresel yönler ve yasal zorluklar	Elcin Kentel, Emre Alp	2013	Yapılan çalışmada Türkiye'nin enerji ihtiyacı ve yenilenebilir enerjinin durumu özetlendikten sonra 2001 yılında çıkarılan 4628 sayılı kanun ve sonrasında gerçekleşen özel sektörün müdahil olduğu HES'lerin yapımının çevreye verdiği tahribat anlatılarak, özellikle nehir tipi HES'lerde belli kotlar arasında alınan suyun canlılığa etkisi ve havza bazında oluşan toplam etkinin büyüklüğü vurgulanmıştır. Türkiye'nin yüksek kayıp kaçak oranı düşünüldüğünde nehir tipi HES'lerden gelecek faydanın aslında etkin iletim sistemleriyle azaltılabilecek kaçak olduğu düşünülmüş ve etkin planlama yapılması gerekliliği sonucuna varılmıştır.
Küçük hidroelektrik santrallerin enerji potansiyelleri ve çevresel etkileri	Küçük hidroelektrik santrallerin enerji potansiyelleri ve çevresel etkileri	Mustafa Onüçyıldız, Naci Büyükkaracıoğlu, M. Erkan Erkmen	2013	Çalışmada, su gücünden enerji üretme alternatiflerinden birisi olan Küçük Hidroelektrik Santrallerin, dünyadaki, Avrupa'daki ve Türkiye'deki mevcut durumları incelenerek, Küçük HES'lerin enerji potansiyellerini, katkılarını ve çevresel etkilerini ortaya koymuştur.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Hydropower and environment technical and operational procedures to better integrate small hydropower plants in the environment	Hidroelektrik ve çevre küçük hidroelektrik santrallerinin çevreye daha iyi entegre edilmesi için teknik ve operasyonel prosedürler	Sara Gollessi, Giulia Valerio	2013	İncelenen çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı olan küçük hidroelektrik santrallerin faydalarıyla birlikte olası çevreye verdikleri zararı minimize edebilecek tasarımlarla ilgili önerilerde bulunulmuş ve ekonomik verimlilik ve çevreye en az zarar verme noktasında planlama yapılması üzerine örnekler verilmiştir.
Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Mino-Sil ~ river basin, Spain	Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile küçük bir nehir tipi hidroelektrik santralinin seçilmesi: Mino-Sil ~ nehir havzası, İspanya için bir vaka çalışması	José Luis Fuentes-Bargues, Pablo Sebastián Ferrer-Gisbert	2015	Yapılan çalışmada Galiçya Bölgesindeki Couso Nehri üzerindeki 3 alternatif nehir tipi HES için farklı kurulu güçler, farklı ekonomik faydalar ve farklı çevresel etkiler incelenmiştir.
Environmental life cycle assessment of a small hydropower plant in China	Küçük bir hidroelektrik enerjinin çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesi Çin'de Küçük Hidroelektrik Santral	Mingyue Pang & Lixiao Zhang & Changbo Wang & Gengyuan Liu	2015	Yapılan çalışmanın amacı, Çin'deki SHP tesislerinin çevresel etkilerinin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamak, sonuçları diğer ülkelerdeki benzerleriyle karşılaştırmak ve olumsuz sonuçların azaltılmasındaki önemli faktörleri tanımlamaktır.
Life cycle assessment of a mini hydro power plant in Indonesia: a case study in karai river	Endonezya'da ki mini hidro elektrik santralinin yaşam döngüsü değerlendirmesi: bir Karai nehri örneği	Jessica Hanafi, Anthony Riman	2015	İncelenen çalışmada YDA kullanılarak Endonezya'daki bir HES'in çevre etkisi yapılan faaliyetlere ve etki kategorilerine göre analiz edilmiş ve inşaat faaliyetinin çevresel etkinin ana kaynağı olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Renewable electricity in Turkey: Life cycle environmental impacts	Türkiye'de yenilenebilir elektrik: Yaşam döngüsü çevresel etkileri	Burcin Atilgan, Adisa Azapagic	2015	Makalede yenilenebilir enerjinin çevresel etkileri GaBi v.6 paket programı kullanılarak CML 2001 metoduyla literatürde yapılan veriler üzerinden rüzgar, jeotermal, depolamalı ve nehir tipi hidroelektrik santrallerin çevre etkileri karşılaştırılmıştır.
Life cycle assessment of small hydro power plants in Uttarakhand	Uttarkand'daki küçük hidroelektrik santrallerin yaşam döngüsü Değerlendirmesi	Ruby Pant, Saurabh Aggarwal ve Kalpit Joshi	2016	Çalışmada Hindistan'daki Uttakrand bölgesinde yer alan 30MW, 33.33 MW ve 51MW kurulu güce sahip 3 adet hidroelektrik santralin çevresel etki yaşam döngüsü analiziyle karbon emisyon değerleri üzerinden incelenmiş, kurulu güç arttıkça birim enerji başına düşen karbon salımının azaldığı, düşü arttıkça da arttığı buna bağlı olarak çevreyi etkilediği sonucuna varılmıştır.
Small scale hydroelectric power plants in Norway. some microeconomic and environmental considerations	Norveç'teki küçük ölçekli hidroelektrik santralleri. bazı mikroekonomik ve çevresel hususlar	Johannes Idsø	2017	Çalışmada Norveç'teki küçük HES'lerle ilgili sistemin işleyişi, çevre etkileri ve ekonomik rantabilite analizi analitik bir şekilde incelenmiştir.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Financial appraisal of small hydro-power considering the cradle-to-grave environmental cost: a case from Greece	Küçük hidro-enerjinin finansal değerlendirme si beşikten mezara çevresel maliyeti göz önünde bulundurarak: Yunanistan'da n bir vaka	Adamantia Zoi Vougioukli, Eleni Didaskalou and Dimitrios Georgakellos	2017	Çalışmada Orta Yunanistan'da bulunan Karpenisi şehrindeki küçük HES üzerinden yaşam döngüsü analizi yapılarak gaz salım değerleri çıktıları esas alınarak, burada kullanılan beton, inşaat demiri ve agrega üzerinden hesaplanmaya çalışılmıştır.
The small-scale hydropower plants in sites of environmental value: an Italian case study	Çevresel değeri olan yerlerde küçük ölçekli hidroelektrik santralleri: İtalya'dan bir vaka çalışması	Marianna Rotilio , Chiara Marchionni and Pierluigi De Berardinis	2017	Çalışmada küçük hidroelektrik santrallerin peyzaja olan etkisi irdelenmiş ve örnek bir çalışma üzerinden teknik, estetik ve ekonomik etkiler derecelendirilerek bir puanlama sistemi yapılarak buna göre değerlendirme yapılmıştır.
Assessment of the environmental impacts associated with hydropower	Hidroelektrik ile ilişkili çevresel etkilerin değerlendirilmesi	Anabela Botelho, Paula Ferreira, Fátima Lima, Lígia M. Costa Pinto, Sara Sousa	2017	Çalışmada Portekiz'de bulunan 252 MW, 78 MW ve 77 MW kurulu güce sahip üç hidroelektrik santralin çevresel etkileri incelenmiş ve bunların en çok bitki örtüsü ve canlılığa (flora ve fauna) etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Environmental sustainability assessment of hydropower plant in Europe using life cycle assessment	Hidroelektrik santralinin çevresel sürdürülebilirlik değerlendirme si Avrupa'da yaşam döngüsü metoduyla değerlendirme si	M A P Mahmud, N Huda, S H Farjana, and C Lang	2017	Çalışmada Avrupa'daki hidroelektrik santrallerin çevreye olan etkisi Simapro programı kullanılarak ve Recipe ve CML değerlendirme metodlarıyla dağlık ve dağlık olmayan kesimler arasında çevresel etki karşılaştırması yapılmış ve dağlık olmayan kesimlerdeki hidroelektrik santrallerin dağlık olan kesimlerdekine göre daha çok çevresel etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.
Türkiye'deki hidroelektrik santrali (HES) uygulamalarına çevre açısından bakış	Türkiye'deki hidroelektrik santrali (HES) uygulamaların a çevre açısından bakış	Murat Yaman, Fatih Haşıl	2018	Çalışmada çevre ve HES ilişkisi üzerinde durulmaktadır. Türkiye'deki HES uygulamaları, güncel veriler ile çevre üzerindeki etkileri açısından irdelenmiştir.
Life cycle assessment of run-of-river hydropower plants in the Peruvian Andes: a policy support perspective	Peru'daki nehir tipi hidroelektrik santrallerinin yaşam döngüsü değerlendirme si Andes: bir politika destek perspektifi	Daniel Verán-Leigh & Ian Vázquez-Rowe	2019	Çalışmada SimaPro v8.3.0.0 yazılımı kullanılarak 3 adet örnek üzerinden küçük hidroelektrik santrallerin emisyon değerleri ve bunların faaliyetlere göre etki oranları incelenmiş ve ÇED (Çevre Etki Değerlendirme) sürecinin bir parçası olarak yaşam döngüsü analizinin yapılabileceği önerilmiştir.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Can hydropower still be considered a clean energy source? compelling evidence from a middle-sized hydropower station in China	Hidroelektrik enerji hala temiz bir enerji olarak kabul edilebilir mi? orta ölçekli birinden etkileyici kanıt Çin'deki hidroelektrik Santrali	Xuerong Li , Faliang Gui, and Qingpeng Li	2019	Çalışmada 360 MW kurulu güce sahip olan Xiajiang hidroelektrik santralinin çevresel etkileri YDA kullanılarak incelenmiş, hidroelektrik santralin tüm aşamalarının çevresel etkileri irdelenmiş ve işletme kısmının bu çalışmada çevresel etkilerin en önemli bileşeni olduğu sonucuna varılmıştır.
Küçük hidrolik santrallerde kapasite faktör analizi ve Giresun özelinde bir uygulama	Küçük Hidrolik Santrallerde Kapasite Faktör Analizi ve Giresun Özelinde Bir Uygulama	Uğur Serencam	2019	Çalışmada, Türkiye'de, artan enerji maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalara küçük hidroelektrik santrallerin (KHS) katkısı irdelenmiş ve Giresun özelinde kapasite faktör analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre rezervuar alanı bulunmayan ve benzer özelliklerdeki hidroelektrik santrallerde, kapasite faktörü arttıkça santral yatırımının geri dönüş süresinin kısaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey	Hidroelektrik santrallerin karbon emisyonuna etkisi: Gökçekaya Barajı örneği, Türkiye	Yıldırım Bayazıt	2021	Çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik santrallerin karbon emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara Gökçekaya Barajı'nın, fosil yakıtlara kıyasla, yıllık 408.533,57 tCO ₂ karbon ayak izini azalttığı ortaya çıkmıştır.

Çizelge 2.2. (devam) Literatür taraması özeti

Systems Accounting for Carbon Emissions by Hydropower Plant	Hidroelektrik Santrallerin Karbon Emisyonlarını Hesaplayan Sistemler	Yuwen Chu , Yunlong Pan, Hongyi Zhan, Wei Cheng, Lei Huang, Zi Wu and Ling Shao	2022	Çalışma, bir hidroelektrik santralinden kaynaklanan hem doğrudan hem de dolaylı karbon emisyonlarının değerlendirilmesine yönelik bir sistem muhasebe çerçevesi sunmaktadır.
Environmental and Economic Impacts of Hydropower Plants	Hidroelektrik Santrallerin Çevresel ve Ekonomik Etkileri	Asaad Dheyaa, Abbas Alnaboee	2023	Çalışma hidroelektrik santrallerin maliyet ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri konusunda daha önce yapılan tüm araştırmaları değerlendirmektedir.

Yukarıdaki yer alan Çizelge 2.2’de özeti verilen çalışmaların detayları aşağıda yer almaktadır.

Literatür çalışması genel bir bakışla, çok sayıda çalışmanın odak noktası olan HES’lerin çeşitli yönlerini vurgulamaktadır. Örneğin, nehir tipi bir HES’in finansal hususları Forouzbakhsha ve diğerleri (2006) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada nehir tipi HES’ler (3,7 MW) ve rezervuar tabanlı HES’ler (30 MW) için NBD (Net Bugünkü Değer) dönüşümünü kullanarak kârlılık analizleri yapmışlardır. YİD (Yap-İşlet-Devret) modeli aracılığıyla özel sektör katılımını önermişlerdir. Yatırım değerlendirmesi hem ekonomik hem de finansal değerlendirmeleri kapsamıştır. NBD, uluslararası alanda YİD projelerinin kamu mali değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Proje maliyetleri iki ana türe ayrılmıştır: yatırım ve yıllık maliyetler. Yatırım maliyetleri inşaat giderleri, elektromekanik ekipman, enerji nakil hatları ve diğer dolaylı maliyetleri içermektedir. Yıllık maliyetler ise ekipman amortismanı, işletme ve bakım ile yenileme maliyetlerini kapsamaktadır. Proje geliri yalnızca elektrik satışlarına dayanmaktadır. Doğrudan maliyetler inşaat, elektromekanik ekipman ve enerji nakil hattı maliyetlerini içermektedir. İnşaat maliyetleri baraj, su iletim sistemi, cebri boru yapısı ve rezervuar gibi hidroyapısal giderlerden oluşmaktadır. Dolaylı maliyetler, mühendislik ve tasarım, denetim ve idare ve inşaat sırasındaki enflasyon maliyetlerini kapsamaktadır (Forouzbakhsh, Hosseini, ve Vakilian 2007). Ancak yapılan çalışmada HES’in çevresel etkileri ve HES’in inşasından

kaynaklanan çevresel zararın mali sonuçları değerlendirilmemiştir.

Qinfen Zhang ve diğerleri (2007) tarafından yapılan bir başka çalışma HES'lerin çevresel boyutlarını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Araştırmalarında Çin'deki seçilmiş hidroelektrik projelerinin çevresel maliyet etkinliğini hesaplamak için ABD Ekonomik Girdi-Çıktı Yaşam Döngüsü Analizi (EIO-LCA) yaklaşımını kullanarak bir yaşam döngüsü analizi gerçekleştirmiştir (Qinfen vd. 2007). Ancak yapılan çalışma, HES'in mali yönlerinin, özellikle de çevresel etkilerin parasal maliyetlere dönüştürülmesi açısından kapsamlı bir değerlendirmesinden yoksundur.

Varun ve diğerleri (2008) bir çalışmalarında, Hindistan'daki küçük nehir tipi hidroelektrik santrallerinin çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla Carnegie Mellon EIO-LCA yazılımını kullanmışlardır. Çalışma, inşaat, elektromekanik işler ve işletme süreçleri dahil olmak üzere santrallerin yaşam döngüsü boyunca çevresel etkileri analiz etmiş ve bu etkileri ekonomik değerlere dönüştürmüştür. YDA, Hindistan'daki üç küçük nehir tipi hidroelektrik projesine odaklanarak bu projelerin enerji kullanımını, sera gazı emisyonlarını ve Enerji Geri Ödeme Süresini (EPBT) değerlendirmiştir. Önceki çalışmalar ve enerji seçenekleriyle yapılan karşılaştırmalar, hidroelektrik projelerinin enerji tüketimi ve Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) açısından sürekli olarak üstün çevresel performans sergilediğini göstermiştir. Çalışma, farklı projeler için değişen EPBT değerleri ve 35,29 ila 74,88 gCO₂eq/kWh arasında değişen sera gazı emisyonlarını vurgulayarak, artan tesis kapasitesinin azalan EPBT ve sera gazı emisyonlarıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Bhat ve Prakash 2008). Yapılan çalışma YDA'yı içermesine ve CO₂ emisyonlarını parasal birimlere dönüştürmesine rağmen, sadece CO₂ emisyonlarını incelediği için yapılan YDA kapsamlı değildir. YDA'nın çeşitli göstergeler içerdiğini ve CO₂'nin bunlardan sadece biri olduğunu belirtmek önemlidir.

Emre Alp ve Ülkü Yetiş (2010) Gelişmekte olan bir ülkede koşullu değerlendirme yönteminin uygulanması: Türkiye'nin kuzeydoğusundaki baraj olan Yusufeli özelinde bir vaka çalışması Bu çalışmada Yusufeli HES'in çevresel maliyeti Koşullu Değerleme Yöntemi (CVM) ile Yusufeli sakinlerinin verdiği cevaplar doğrultusunda çevre için ödeme istekliliği (WTP) ölçülerek hesaplanmaya çalışılmıştır. Hidroelektrik santraller ve barajlar genellikle gelişmekte olan ülkelerde ekonomiye katkıları açısından önemli bir rol oynamaktadır. Türkiye'deki enerji politikalarına uygun olarak Karadeniz bölgesinde bu amaçla Yusufeli

Barajı ve Hidroelektrik Santrali faaliyete geçirilmiştir. Yusufeli Köyü sakinlerinin çevrenin restorasyonu için ödeme istekliliği (WTP) baraj projesinin etkilerinin yanı sıra temelde yatan ekonomik, psikolojik ve WTP için sosyal motivasyonlar ölçülmeye çalışılmıştır. WTP, kişi başına 761 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Bu da maliyet-fayda analizinde kullanılabilir bir bulgudur. Çalışma aynı zamanda bir YDA analizinden yoksundur ve yalnızca HES'in mali yönlerine halkın çevreye verdiği değer bağlamında değerlendirmektedir.

Karadeniz ve diğeleri (2013) tarafından yapılan çalışmada, Tokat ilindeki Reşadiye Hidroelektrik Santralleri örneği üzerinden hidroelektrik santrallerin çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Tokat'ın Reşadiye ilçesi yakınlarındaki Kelkit Çayı üzerinde üç ayrı santralden oluşan Reşadiye HES, toplam 65 MW kurulu güce ve yıllık 450 milyon kWh elektrik üretim kapasitesine sahiptir. Santralin inşaatı sırasında aktif heyelan ve erozyon alanlarına yakın konumlandırılması, su iletim hatlarının doğrudan yamaçlardan geçmesi ve inşaat sürecinde doğal bitki örtüsünün büyük ölçüde tahrip edilmesi gibi hususlar çevresel kaygıları artırmaktadır. Ayrıca, su iletim sürecinde telafi suyunun olmaması, özellikle yaz aylarında nehir kıyısındaki bitkiler ve Kelkit Çayı ekosistemi için önemli bir risk oluşturmaktadır (Karadeniz, Akpınar, ve Başibüyük 2013).

Roberto ve diğerleri (2011), Şili Patagonyası'nda hidroelektrik santralleri nedeniyle meydana gelen peyzaj kaybının ekonomik etkisini değerlendirmek için Koşullu Değerleme Yöntemini (CVM) kullanmıştır. Çalışma ayrıca mesafenin şehirlerarasındaki ödeme istekliliğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, şehirlerdeki diğer faktörlerin mesafenin ödeme istekliliği üzerindeki etkisini tamamen dengeleyebileceğini öne sürmektedir. Sonuçlar, en uzak şehir için geçerli olmasa da, çoğu şehir için mesafe etkisine ilişkin hipotezi genel olarak doğrulamaktadır. Tahmin edilen refah kaybı, etkilenen doğal sermayenin alt sınır değerlemesi olarak hizmet etmekte olup, sadece beş barajın su altında kalan alanlarını dikkate alarak ve biyolojik çeşitlilik değişiklikleri ve turizm etkilerine ilişkin analizleri hariç tutarak sadece peyzajların ekonomik değerine odaklanmaktadır. Kapsamlı bir fayda-maliyet analizinin, düşük enerji fiyatlarından elde edilecek potansiyel kazançlar, su altında kalan arazilerdeki yeni rekreasyon alanları ve arazi değerlerindeki değişiklikler gibi burada ele alınmayan çeşitli faydaları da içermesi gerekecektir. Bu nedenle, bu değerlendirme çalışması konunun bir yönünü değerlendirerek katkıda bulunurken, hidroelektrik projelerinin çevresel etkilerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için bir fayda-maliyet analizi kullanmanın uygunluğunun da altını çizmektedir (Ponce vd. 2011).

Varun ve diğerleri (2012) çalışmalarında Hindistan'daki küçük nehir tipi ve depolama barajı tipi hidroelektrik santrallerinin sera gazı emisyonlarını araştırmış ve emisyonları farklı kurulu kapasiteler ve düşülerle ilişkilendirmişlerdir. Kurulu kapasite arttıkça kWh başına emisyonların azaldığını ve bunun da çevresel etkinin azaldığını gösterdiğini bulmuşlardır. Çalışma, Hindistan'daki üç farklı küçük hidroelektrik santral tipi için yaşam döngüsü sera gazı emisyonları için korelasyonlar geliştirmeyi amaçlamıştır. Sera gazı emisyonlarının küçük hidroelektrik projelerinin yüküne ve kapasitesine bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu korelasyonlardan elde edilen sonuçlar, Ekonomik Girdi-Çıktı-YDA tekniği kullanılarak elde edilen tahminlerle iyi bir uyum göstermiştir. Bu korelasyonlar, hidroelektrik projelerinin kapasitesine, yüküne ve türüne bağlı olarak yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarını tahmin ederek yeni küçük hidroelektrik projelerinin geliştirilmesinde faydalı olabilir (Varun, Prakash, ve Bhat 2012). Yapılan çalışma, diğer çevresel etki kategorilerini değerlendirmeksizin yalnızca CO₂ emisyonlarına odaklanmaktadır. Ayrıca, kullanılan malzemelerin çevresel etkileri de dikkate alınmamaktadır.

Onüçyıldız ve diğerleri (2013) tarafından yapılan çalışmada, su gücünden enerji üretme alternatiflerinden birisi olan Küçük Hidroelektrik Santrallerin, dünyadaki, Avrupa'daki ve Türkiye'deki mevcut durumları incelenerek, Küçük HES'lerin enerji potansiyellerini, katkılarını ve çevresel etkilerini ortaya koymuştur. Çalışmada ana hatlarıyla küçük HES'lerin avantajları ve dezavantajları anlatılmıştır (Onüçyıldız, Büyükkaraciğan, ve Erkan Erkmen 2013). Çalışma yalnızca potansiyel enerji üretim kapasitesini incelemiş ve kapsamlı bir YDA içermemektedir.

Gollessi ve Valerio (2013), küçük hidroelektrik santrallerin çevresel etkilerini en aza indirmek için teknik ve işletimsel işlemler üzerine öneriler sunmuştur. Yapılan çalışmada, hidroelektrik santrallerinin yenilenebilir enerji üretimindeki önemi vurgulanırken, aynı zamanda bu santrallerin inşası ve işletilmesinin çevresel etkilere neden olabileceği gerçeği de ele alınmıştır. Makale, hidroelektrik santrallerinin çevreye zarar verebilecek potansiyel etkilerini balık popülasyonları, su habitatının kaybı, doğal akış rejimlerindeki değişiklikler ve peyzajın bozulması gibi örneklerle detaylandırmaktadır. Bu çevresel endişeler, hidroelektrik santrallerinin planlanması ve işletilmesi aşamasında dikkate alınması gereken kritik faktörlerdir. Ayrıca, çalışma iklim değişikliği ile mücadele, acil durum yönetimi ve sel risklerinin azaltılması gibi küresel ekolojik avantajlar sağlayan hidroelektrik enerjinin, aynı zamanda yerel ve bölgesel düzeyde sürdürülebilirlik sorunlarına da odaklanması

gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, hidroelektrik santrallerin tasarımında ve işletilmesinde ekonomik verimliliği artırmak ve çevresel etkileri minimize etmek için nasıl planlama yapılması gerektiği üzerine öneriler sunulmuştur. Sonuç olarak, çalışma hidroelektrik santrallerinin çevreyle uyumlu bir şekilde entegre edilmesi için teknik ve operasyonel önlemlerin önemini vurgulayarak, farklı çözümlerle çevresel hedefler arasındaki dengeyi sağlamaya yönelik çabaları desteklemektedir.

Kentel ve Alp (2013) tarafından yapılan çalışma, Türkiye'deki hidroelektrik enerjiyi ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri ile yasal zorluklarına odaklanarak ele almaktadır.

Çalışma, Türkiye'nin yüksek elektrik kayıp oranı nedeniyle etkili planlamanın çok önemli olduğunu vurgulamakta ve nehir tipi hidroelektrik santrallerinden elde edilen faydaların verimli iletim sistemleri ile en üst düzeye çıkarılabileceğini öne sürmektedir. (Kentel ve Alp 2013).

Atılgan ve Azapagic (2015) tarafından yapılan "Türkiye'de yenilenebilir elektrik: Yaşam döngüsü çevresel etkileri" başlıklı çalışmada, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri CML 2001 yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma, mevcut literatür verilerine dayanarak rüzgar, jeotermal, pompaj depolamalı ve nehir tipi hidroelektrik santrallerinin çevresel etkilerini karşılaştırmaktadır. Hidroelektrik, rüzgâr ve jeotermal kaynaklardan yararlanan 305 enerji santralini kapsamaktadır. Temel bulgular, büyük rezervuarlı hidroelektrik santrallerin çevresel etkilerinin küçük rezervuarlı ve nehir tipi santrallere kıyasla daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin, büyük rezervuarlar küçük rezervuarlara kıyasla iki kat daha fazla Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) sergiler ve nehir tipi seçeneklerden %45 daha yüksektir. Karadaki rüzgar enerjisi, değerlendirilen seçenekler arasında genellikle en az olumlu sonuçları göstermekte olup, on bir etki kategorisinden dokuzu hidroelektrik ve jeotermalden daha yüksektir. Bununla birlikte, GWP açısından jeotermal, sırasıyla %9 ve %11'lik faktörlerle hem büyük rezervuardan hem de rüzgar enerjisinden önemli ölçüde daha düşüktür. Jeotermal enerji ayrıca asidifikasyon potansiyeli açısından rüzgar enerjisini 281 kat aşarak önemli ölçüde geride bırakmaktadır. Ayrıca, büyük rezervuarlı hidroelektrik enerji, diğer seçeneklere kıyasla asidifikasyon, kaynakların tükenmesi ve fosil yakıt kullanımı üzerinde minimum etki göstermektedir. Küçük rezervuarlı ve nehir tipi hidroelektrik santraller GWP açısından en elverişli seçenekler olarak belirlenirken, jeotermal daha yüksek asidifikasyon potansiyeli

nedeniyle en az elverişli seçenek olarak sıralanmaktadır (Atilgan ve Azapagic 2015). Yapılan çalışma kapsamlı bir YDA içermesine rağmen, HES'in mali yönlerini ele almamaktadır.

Fuentes-Bargues ve Ferrer-Gisbert (2015) çalışmasında, İspanya'nın Galiçya bölgesindeki Couso Nehri üzerinde üç farklı nehir tipi hidroelektrik santrali (HES) incelemiştir. Çalışma, bu santrallerin kurulu kapasitelerini, ekonomik faydalarını ve çevresel etkilerini değerlendirmiştir (Fuentes-Bargues ve Ferrer-Gisbert 2015).

Pang ve diğerleri (2015) Çin'deki küçük HES'ler üzerine bir YDA gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, HES'lerin çevresel etkilerini dünya çapındaki benzer tesislerle karşılaştırmayı ve olumsuz etkileri azaltacak temel faktörleri belirlemeyi hedeflemiştir. Bulgular, inşaat faaliyetlerinin (malzeme miktarı ve enerji tüketimi dahil) HES'lerin çevresel performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Yapısal tasarım ve uygulamanın optimize edilmesi için yeni inşaat malzemeleri ve en iyi uygulamaların kullanılması önerilmiştir. Fosil yakıtla dayalı enerji üretimiyle karşılaştırıldığında, HES'ler rutin işletme sırasında yakıt masrafı ortaya çıkarmaz ve daha temiz bir elektrik üretim yöntemi sunar. Ancak, diğer yenilenebilir enerji teknolojileri gibi, HES'ler de inşaat malzemeleri, nakliye yakıtları ve elektrik üretim ekipmanlarıyla ilişkili önemli ilk yatırım ve bakım maliyetleri gerektirir ve dolaylı olarak fosil enerji tüketimi ve çevre kirliliğiyle bağlantılıdır. Özellikle Çin'deki hızlı genişleme ve gelişme bağlamında, küçük HES'lerin çevresel performansı ile ilgili küresel endişeler artmaktadır. Çalışmanın sistem sınırları, tesisin yaşam döngüsünün üç aşamasını kapsamaktadır: inşaat (inşaat işleri ve ekipman kurulumu), işletme ve bakım, ve hizmetten çıkarma kısımlarından oluşmaktadır. Ayrıca inşaat malzemelerinin ve ekipmanların üretim sahalarından santral sahasına taşınması da dikkate alınmıştır. HES'inin çevresel etkileri, üretilen her 1 MWh net elektrik fonksiyonel birimi için ölçülmüştür (Pang vd. 2015). Çalışma bu tez ile benzer bir kapsamı paylaşmaktadır; ancak, finansal yönlerin analizi eksiktir ve çevresel etkiler parasal birimlere dönüştürülmemektedir.

Hanafi ve Riman (2015) Endonezya'da, özellikle Karai Nehri'ndeki bir mini hidroelektrik santralinin YDA gerçekleştirmiştir. Çalışma, hidroelektrik santralinin çevresel etkilerini faaliyetler ve etki kategorilerine göre analiz etmiş ve inşaat faaliyetlerini çevresel etkinin birincil kaynağı olarak vurgulamıştır. Kuzey Sumatra'daki mini hidroelektrik santrali üzerinde gerçekleştirilen YDA, inşaat aşamasının hidroelektrik santralinin tüm yaşam

döngüsü boyunca çevresel etkiye önemli ölçüde etkide bulunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle boru hattının inşası, inşaat aşamasındaki çevresel etkinin ana kaynağı olarak belirlenmiştir. Mini hidroelektrik santralinin inşasıyla ilişkili bazı etkilere rağmen, çalışma uzun vadede nehir tipi hidroelektrik santralleriyle ilişkili asgari düzeyde tehlikeli bileşen olduğu sonucuna varmaktadır. Yakındaki köyler için elektrik üretiminin faydaları, çevresel etkilerden önemli bir farkla daha ağır basmaktadır (Hanafi ve Riman 2015).

Pant ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışma, Hindistan'ın Uttarakhand kentinde 30 MW, 33,33 MW ve 51 MW kapasiteli üç küçük hidroelektrik santralinin çevresel etkilerini karbon emisyon değerlerine odaklanan bir YDA kullanarak değerlendirmektedir. Çalışmada, kurulu kapasite arttıkça birim enerji başına karbon emisyonlarının azaldığı, kapasite azaldıkça arttığı ve bunun da daha yüksek çevresel etkiye işaret ettiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada kullanılan YDA yöntemi, küçük hidroelektrik santralleri ile kömür bazlı elektrik üretimini maliyet bazında karşılaştırmayı ve sera gazı emisyonlarını hesaplamayı amaçlamaktadır. Çalışmaya göre, küçük hidroelektrik santraller, büyük rezervuar tabanlı projelere kıyasla daha düşük çevresel ayak izi sergilemekte ve büyük barajlar, nükleer, doğal gaz ve kömür gibi diğer enerji kaynaklarına göre daha çevre dostu alternatifler olmaktadır (Pant, Aggarwal, ve Joshi 2016).

Idsø'nun (2017) Norveç'teki küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinin işletimi, çevresel etkileri ve ekonomik değerlendirmelerine odaklanmaktadır. Çalışma, Norveç'teki hidroelektrik projelerine ilişkin yasal çerçevenin altını çizerek, nehirlerde kırmızı listedeki türlerin bulunması halinde enerji santrallerinin kurulmasının yasa dışı olduğunu belirtmektedir. Son olarak, çalışmada bir nehir sahibinin (RO) küçük bir HES projesi inşa etmeyi planladığı ancak doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini göz önünde bulundurarak projeyi durdurmaya karar verdiği bir örnek paylaşılmaktadır. Bu tür kararların doğal çevrenin korunmasına yönelik hassasiyeti yansıttığı ve bazı durumlarda projelerin durdurulduğu sonucuna yol açabileceği vurgulanmaktadır (Idsø 2017).

Vougioukli ve diğerleri (2017) yapılan çalışma, Orta Yunanistan'daki Karpenisi'de bulunan küçük hidroelektrik santralini örnek alarak YDA kullanarak çevresel maliyetlerin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışma, 'etki yolu' metodolojisiyle dış maliyetleri hesaplama yöntemini kullanarak beton, inşaat demiri ve agregalar gibi yapı bileşenlerinin çevresel etkilerini analiz etmiştir. Çalışma, bu santrallerin inşasında ve işletilmesinde

kullanılan malzemelerin (beton, agrega, inşaat demiri) çevresel etkilerini insan sağlığı, biyoçeşitlilik kaybı, ürün verimi, maddi hasar ve iklim değişikliği gibi etki türlerine göre değerlendirmiştir. Dış maliyet yaklaşımına vurgu yapan çalışma, küçük bir HES'in toplam yatırım maliyetinin önemli bir parçası olan çevresel maliyetleri ele almıştır. Bu çerçevede, tesislerin sera gazı emisyonlarının ve bunların potansiyel etkilerinin daha detaylı analiz edilmesi gerekmektedir. Metodolojinin güvenilirliğine ve yenilenebilir enerji politikası için uygulanabilirliğine yapılan vurgu, YDA metodolojisinin geliştirilmesi ve uygulanabilirliği konusunda daha fazla araştırma ve tartışma yapılmasını gerektirmektedir (Vougioukli, Didaskalou, ve Georgakellos 2017). Çalışmada bu teze benzer yöntemler kullanılmış; ancak bu tezde tek bir HES'in ötesine geçerek beş farklı HES senaryosunun karşılaştırması ve yatırıma göre oranlanarak yatırım maliyetiyle ilişki kurulması amaçlanmıştır.

Rotilio ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışma, İtalya'da çevresel değeri yüksek alanlarda bulunan küçük ölçekli hidroelektrik santrallerinin peyzaj üzerindeki etkisini analiz etmekte ve teknik, estetik ve ekonomik etkilerini değerlendirerek bir puanlama sistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmacılar, sadece yenilenebilir enerji üretiminin artırılmasını değil, aynı zamanda bu tür müdahalelerin hassas peyzaj değerleriyle uyumlu olmasını sağlamak için bir araştırma yöntemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu bağlamda, küçük hidroelektrik santrallerinin çevresel etkilerinin sınırlı olmasını sağlamak için bir değerlendirme ve puanlama sistemi önerilmektedir. "Küresel uyumluluk" kontrolleri olarak adlandırılan bu süreç, vatandaşların erişimini artırmayı ve çevresel iyileştirmeleri teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Önerilen yöntem, L'Aquila ilindeki Roccacasale köyünde bir vaka çalışması üzerinde test edilmiştir. Yapılan çalışma, sürdürülebilir enerji planlaması ve çevre koruma politikalarında kullanılabilecek bir model sunmayı amaçlamaktadır (Rotilio, Marchionni, ve De Berardinis 2017).

Botelho ve diğerleri (2017), hidroelektrik santrallerinin çevresel etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Portekiz'deki üç farklı hidroelektrik santralinin çevresel etkilerinin değerlendirildiği çalışmada, bu etkilerin özellikle bitki örtüsü ve biyoçeşitlilik (flora ve fauna) üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışma, hidroelektrik enerji üretiminin çeşitli çevresel etkilere neden olduğunu ve bu etkilerin vaka çalışmalarının spesifik özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini vurgulamaktadır. Bu nedenle, her hidroelektrik santralinin kendine özgü çevresel etkileri olduğu ve bu etkilerin fayda transferi teknikleriyle genellenemeyeceği belirtilmektedir. Başka bir deyişle, bir santralin çevresel etkilerinin

başka bir santrale aktarılmasının uygun olmadığı vurgulanmaktadır. Çalışma ayrıca, alternatif hidroelektrik üretim tesislerinin önceliklerinin belirlenmesinde vaka çalışması yaklaşımının önemini ve bu tür çalışmaların planlama politikalarına ilişkin çevresel etkilerin değerlendirilmesindeki faydasını vurgulamaktadır. Yapılan çalışma, hidroelektrik santrallerin çevresel sürdürülebilirlik açısından nasıl değerlendirileceği konusuna önemli bir katkı sağlamakta ve çevresel etkilerin anlaşılmasında özel vaka çalışmalarının kritik önemini vurgulamaktadır (Botelho vd. 2017).

Mahmud ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışma, Avrupa'daki hidroelektrik santrallerinin çevresel sürdürülebilirliğini Simapro yazılımı ile YDA kullanarak ve Recipe ve CML değerlendirme yöntemlerini kullanarak değerlendirmektedir. Çalışmada, hidroelektrik santrallerin dağlık ve dağlık olmayan bölgelerdeki arasındaki çevresel etkileri karşılaştırılmış ve dağlık olmayan bölgelerdeki hidroelektrik santrallerin dağlık bölgelerdekilere kıyasla genellikle daha büyük çevresel etkilere sahip olduğu ortaya konulmuştur.

İncelenen makale, ReCiPe ve CML yöntemlerini kullanarak insan sağlığı ve ekosistemler gibi çeşitli etki değerlendirme kategorilerindeki ekolojik etkilerini değerlendirerek, Avrupa'nın hem dağlık hem de dağlık olmayan bölgelerindeki rezervuar tabanlı hidroelektrik üretim sistemlerinin YDA çevresel etki değerlendirmesini vurgulamaktadır. Sonuçlar, Alp bölgesindeki tesislerin, özellikle küresel ısınma ve fotokimyasal oksidasyon olmak üzere, dikkate alınan birkaç bileşen için yüksek çevresel performans gösterdiğini, diğer durumlarda ise sonuçların genellikle benzer olduğunu göstermektedir (Mahmud vd. 2018).

Yaman ve Haşıl (2018) tarafından yapılan çalışmada öncelikle çevre ve hidroelektrik santrali kavramlarına değinilmektedir. Daha sonra çevre üzerindeki etkileri nedeniyle çevre ve HES ilişkisini üzerinde durulmaktadır. Son olarak ise Türkiye'deki HES uygulamaları, güncel veriler ile çevre üzerindeki etkileri açısından irdelenmiştir. Çalışmada HES'lerin Türkiye'deki durumu genel bir çerçeve üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır (Yaman ve Haşıl 2018).

Verán-Leigh ve Vázquez-Rowe (2019) tarafından yayımlanan çalışma, Peru And Dağları'ndaki küçük akarsu hidroelektrik santrallerinin yaşam döngüsü analizini ele

almaktadır. Çalışma, özellikle hidroelektrik santrallerinin inşası ve işletilmesinin çevresel etkilerini değerlendirerek, bu tesislerin karbon emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada SimaPro v8.3.0.0 yazılımı kullanılarak üç örnek hidroelektrik santralinin emisyon değerleri ve faaliyetlere göre etki oranları incelenmiştir. Özellikle, YDA metodolojisi kullanılarak, bu santrallerin inşaatından başlayarak işletme sürecine kadar olan çeşitli çevresel etkiler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sera gazı emisyonlarını belirlemeye odaklanmıştır ve ReCiPe 2016 yöntemi ile sekiz ek çevresel etki kategorisi değerlendirilmiştir. Peru'da inşa edilen bu hidroelektrik santrallerinin, yerel net birincil verimlilik koşulları ve diğer sahaya özgü faktörler dikkate alınarak emisyonları modellenmiştir. Çalışmanın sonuçları, üretilen elektrik birimi başına sera gazı emisyonlarının 3 g CO₂eq / kWh altında olduğunu göstermiştir, bu da literatürdeki diğer hidroelektrik santralleri için bildirilen düşük emisyon aralıklarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. İncelenen çalışmanın amacı, hidroelektrik santrallerinin çevresel performansını değerlendirerek, enerji sektöründe karar verme süreçlerine ve ulusal düzeyde enerji politikalarının oluşturulmasına katkıda bulunmaktır. Özellikle, Peru'nun elektrik şebekesini karbonsuzlaştırma hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacak politikaların belirlenmesine yönelik olarak sonuçların değerli olması hedeflenmiştir (Verán-Leigh ve Vázquez-Rowe 2019).

Li ve Li (2019) tarafından yapılan çalışma, YDA kullanarak Çin'deki 360 MW kapasiteli Xiajiang hidroelektrik santralinin çevresel etkilerini araştırmaktadır. Hidroelektrik santralinin tüm yaşam döngüsünü incelemekte ve çevresel etkiler açısından en önemli bileşen olarak işletme aşamalarını belirlemektedir. Araştırma, hızlı küresel ekonomik büyümenin ortasında hem enerji krizlerini hem de çevre kirliliğini azaltmak için temiz enerji geliştirmenin öneminin altını çizmektedir. Yapılan çalışma, Xiajiang hidroelektrik santralinin çevresel etkisini YDA'ya dayalı olarak değerlendirmekte ve özellikle IPCC yönergelerine göre rezervuar dolumu sonrası sera gazı emisyonlarına odaklanmaktadır. Sonuçlar, hidroelektrik enerjinin bir zamanlar düşünüldüğü kadar temiz olmasa da, Çin'de düşük emisyonlu bir enerji türü olmaya devam ettiğini göstermektedir. Santral, termal enerji kaynaklarından daha düşük olan 32,63 g CO₂eq / kWh emisyon faktörü ile yaklaşık 3,72 milyon ton sera gazı emisyonu üretmekte ve hidroelektrik enerjinin Çin'de temiz bir enerji kaynağı olarak statüsünü teyit etmektedir. Çalışma, bu tür hidroelektrik santrallerinin çevresel etkilerini daha da azaltmak için yapısal tasarımların optimize edilmesini ve gelişmiş inşaat malzemelerinin kullanılmasını önermektedir. Genel olarak, çok sayıda çalışma, yaşam

döngüsü çevresel ayak izlerini değerlendirmek için YDA kullanarak çeşitli hidroelektrik projelerinin çevresel etkilerini vurgulamıştır. Hidroelektrik projelerinin spesifik çevresel performansı, tür, kapasite ve konum farklılıkları nedeniyle değişiklik göstermekte ve sahaya özgü değerlendirmelere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır (Li, Gui, ve Li 2019).

Serencam (2019) çalışmasında artan enerji maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalara küçük hidroelektrik santrallerin (KHS) katkısı irdelenmiş ve Giresun özelinde kapasite faktör analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara göre rezervuar alanı bulunmayan ve benzer özelliklerdeki hidroelektrik santrallerde, kapasite faktörü arttıkça santral yatırımının geri dönüş süresinin kısaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Burada tanımlanan kapasite faktörü üretilen enerjinin kurulu güce oranı olup, daha fazla enerji üretilen HES yatırımı için geri dönüş süresinin daha kısa olması beklenen bir sonuçtur (Serencam 2019).

Bayazıt (2021) çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik santrallerin karbon emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Sonuçlara göre fosil kaynaklara göre Türkiye'den gelen Gökçekaya Barajı'nın yıllık 408.533,57 t CO₂ karbon ayak izini azalttığı ortaya çıktı. Hidroelektrik santrallerin olumsuz etkileri arasında; yaban hayatı habitatlarının ve göç yollarının zarar görmesi, bölgesel iklimin yağış düzeninin etkilenmesi, suyun baraj mansabındaki nehre kontrollü salınması, baraj rezervuarının altındaki yerleşimlerde yaşayan insanların zorunlu göçü vb. tüm bu olumsuz etkilere rağmen hidroelektrik enerji üretimi günümüzde elektrik üretiminin en ucuz yoludur. Çalışmada Gökçekaya Barajı örneği incelenerek fosil yakıtlara göre CO₂ miktarındaki azalma hesaplanmıştır (Bayazıt 2021).

Chu ve diğerleri (2022) tarafından yapılan çalışma bir hidroelektrik santralinden kaynaklanan hem doğrudan hem de dolaylı karbon emisyonlarının değerlendirilmesine yönelik bir sistem muhasebe çerçevesi sunmaktadır. Kullanım sonu aşaması en fazla karbon emisyonuna neden olur (%38,4), bunu inşaat aşaması (%34,5), işletme aşaması (%25,6) ve hazırlık aşaması (%1,5) takip eder. Doğrudan karbon emisyonları esas olarak kullanım sonu aşamasında çöktülerden ve işletme aşamasında rezervuarların yüzeyinden (%94,8) kaynaklanmaktadır. Dolaylı karbon emisyonları doğrudan karbon emisyonlarından 2,8 kat daha fazladır. Malzeme, makine, enerji ve hizmet girdileri, vaka sistemindeki toplam dolaylı karbon emisyonlarının sırasıyla %7,1, %14,7, %15,9 ve %62,3'ünü oluşturmaktadır. Karbon emisyonu üzerinden elektrik üretimi göstergesi 26,06 g CO₂-eşd./kWh olarak hesaplanmıştır.

Alnaboee (2023) tarafından yapılan çalışmada hidroelektrik santrallerin maliyet ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri konusunda daha önce yapılan tüm araştırmaları değerlendirmektedir. İncelenen çalışmaya göre, emisyonların çoğunluğundan elektrik üretiminden ziyade rezervuarlar sorumludur. Hidroelektrik, umut verici ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmekte ve küresel hacmi giderek artmaktadır. Ancak birçok çalışma, HES'lerin uzun vadeli dayanıklılığı konusunda şüphe uyandırmaktadır. İncelenen makale, hidroelektrik santrallerin maliyet ve sürdürülebilirlik değerlendirmeleri konusunda daha önce yapılan tüm araştırmaları değerlendirmektedir.



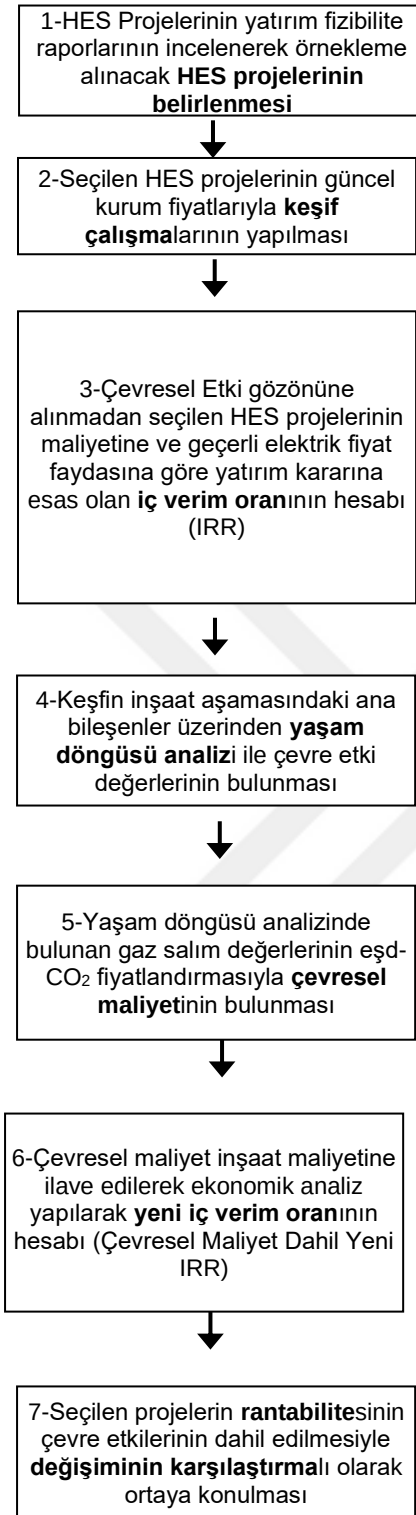
3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada üç farklı nehir tipi HES (Örenaltı HES, Çağlar HES ve Çamlık HES) verileri kullanılarak, HES'lerden kaynaklanan çevresel etkilerin seçilen inşaat yöntemine göre değişimi ve çevresel etkiye bağlı yeni iç verim oranları hesaplanmıştır. HES Su Kullanım Anlaşmaları kapsamında bulunan ve DSİ tarafından katkı payı karşılığında yatırımcı özel sektör firmalara açılan projeler içinden tez konusu çalışmaya ışık tutabilecek üç örnek üzerinden çalışma yürütülmüştür. Bu üç HES Projesi, ayrıntılı fizibilite raporlarının mevcudiyetine ve geçirdikleri çeşitli çevresel ve teknik değişikliklere dayanarak seçilmiştir. Konvansiyonel durum incelemesi için seçilen ilk örnek olan Kastamonu ili Araç ilçesinde yapılması planlanan Örenaltı HES, Kastamonu ili 2019 yılı çevre durum raporuna göre fizibilite aşamasında olup inşaatı fiilen gerçekleşmemiştir. Artvin ili Yusufeli ilçesinde yapılması planlanan Çağlar HES için 22.06.2023 tarihinde ÇED olumlu raporu verilmiştir. (<https://eced-duyuru.csb.gov.tr/eced-prod/duyurular.xhtml>) Üçüncü örnek çalışmanın yapıldığı Kahramanmaraş ili Onikişubat ilçesinde bulunan Çamlık HES ise fiilen inşaatı yapılmış olup üretim lisansı alınmıştır. (<https://www.enerjiatlası.com/hes-haritasi/kahramanmaras>).

HES'lerin yaratacağı çevresel etkilerdeki ve finansal uygulanabilirlikteki farklılıklar bu üç HES örneği ve bu HES'lere ilişkin 5 farklı durum üzerinden değerlendirilerek, karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Bu analiz, projelerdeki teknik değişiklikler ve bunların çevresel sonuçları arasındaki bağlantıları vurgulayarak hidroelektrik projelerinin hem ekonomik hem de çevresel performans açısından optimize edilmesine yönelik bir altyapı sağlayacaktır.

Bu üç örnek ve beş durum üzerinden yapılan çalışmalarda fizibilite raporlarından elde edilen keşifler kullanılmıştır. İnşaat faaliyetleri için keşifte yer alan birim fiyatlar tez çalışması dönemindeki kurum birim fiyatlarına göre güncellenerek maliyet çalışması yapılmıştır. Öte yandan oluşan yaşam döngüsü analizi ile çevresel etkiler kategorilerinden elde edilen CO₂ eşdeğer miktarları esas alınarak çevresel maliyet çalışması yapılmıştır.

Tez çalışması ile, yukarıda belirtilen amaç ve kapsam doğrultusunda yöntem olarak izlenen basamaklar aşağıda sırası ile açıklanmaktadır:



Şekil 3.1. Uygulanan yöntemde izlenen akış şeması

1. Adım- HES Projelerinin yatırım fizibilite raporlarının incelenerek örnek durum olarak ele alınacak HES projelerinin belirlenmesi:

Küçük HES olması (25 MW dan küçük), detaylı proje bilgi ve verilerinin ulaşılabilir olması ve çevresel faktörlerden dolayı değişikliğe uğramış olma kriterleri esas alınarak üzerinde çalışılacak HES'ler tespit edilmiştir.

2. Adım- Seçilen HES projelerinin güncel kurum fiyatlarıyla keşif çalışmalarının yapılması: İlgili HES'in fizibilite raporunda yer alan keşif miktarları tez çalışmasının yapıldığı dönemde geçerli olan yıldaki kurum fiyatlarıyla çarpılarak güncel keşif çalışması yapılmıştır. (Ekte (Ek-1, Ek-4, Ek-6, Ek-8, Ek-10) güncel keşif çalışmaları verilmiştir).

3. Adım- Çevresel Etki gözönüne alınmadan iç verim oranının hesabı: Fayda-maliyet analizi çerçevesinde-HES için yapılan masrafların maliyeti ve üretilen elektriğin faydası- yani projenin yatırıma değer olup olmadığı, bütün bu değerlerin toplamının iç verim oranı fonksiyonuyla hesaplanmıştır. İç verim oranı; bir yatırım projesinin net bugünkü değerini sifıra eşitleyen diğer bir deyişle nakit girişlerinin bugünkü değerini nakit çıkışlarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranı olarak tanımlanır. 49 yıllığına devlet tarafından kullanım hakkı verilen HES ler için ilk iki yılda yapılan yatırım maliyeti ve işletme giderleri maliyet olarak kabul edilmiştir. Karşılığında HES inşaatı sonrasında 47 yıl süresince elde edilen elektrik enerjisinin 01.10.2023 tarihinde geçerli olan fiyat tarifesiyle (6,578 USD cent/Kwh) çarpılarak fayda olarak bulunmuştur. Fayda ve maliyet değerleri yıllara göre nakit akış tablosunda tek bir sütunda toplanarak Microsoft Excel programı vasıtasıyla toplam fayda ve maliyetin bugünkü değerini eşitleyen iskonto oranı olan iç verim oranı-aşağıda verilen formül ile-hesaplanmıştır. Ekte (Ek-3, Ek-5, Ek-7, Ek-9, Ek-11) verilen iç verim oranı tablolarında bulunmaktadır.

Projenin iç verim oranı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$\sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} = 0 \quad (3.1)$$

T: projenin ekonomik ömrü

CF: Projeden sağlanacak yıllık net nakit akımı (Cash flow)

IRR: İç verim oranı

4. Adım- Yaşam döngüsü analizinin yapılması: İnşaat aşamasında keşfe esas teşkil eden ana bileşenlerden çevresel etki yaratabilecek beton, inşaat demiri, çelik boru, sac ve ilgili malzemelerin nakliyesi üzerinden YDA yapılarak çevre etki kategorilerine göre potansiyel etkiler hesaplanmıştır. Simapro paket programı kullanılarak farklı etki kategorilerine ait çevresel etkiler ve ilgili gaz salım değerleri bulunmuştur. (Detaylar Bölüm 4 de verilmektedir).

5. Adım- CO₂ değerlerinin maliyet hesabı: Yaşam döngüsü analizinde bulunan gaz salım değerleri CO₂ fiyatlandırması için Simapro üzerinden *İklim Değişikliği* kategorisinde bulunan CO₂ gaz salım değeri, aşağıdaki tabloda verilen Türkiye'ye özgü karbon fiyatı üzerinden çarpılarak çevresel maliyet (CO₂) bulunmuştur. (<https://www.oecd.org/tax/tax-policy/effective-carbon-rates-2021-0e8e24f5-en.html>).

Çizelge 3.1. OECD tarafından hesaplanan ülkelere özgü karbon fiyatı (Türkiye)

Ülkeye göre vergi ve fiyatlandırılan emisyonların ve ortalama fiyatları			
		CO ₂ emisyonları sektöre göre (t CO ₂ cinsinden)	VERGİ Ortalama fiyat (Euro / t CO ₂ cinsinden)
TUR	Tarım ve Balıkçılık	11572	41,06
TUR	Elektrik	99993	11,50
TUR	Endüstri	86958	9,22
TUR	Arazi taşımacılığı	3459	26,03
TUR	Konut ve Ticari	77037	4,52
TUR	Karayolu taşımacılığı	47812	218,57
TUR	Toplam	326831	38,44

Küresel ısınma etki kategorisini parasallaştırmak için ülkemize özgü değerler mevcut olduğundan, parasallaştırma özellikle bu çevresel etki kategorisi için yapılmıştır. Yukarıda yer alan tabloya göre hesaplanan karbondan dolayı oluşan çevresel maliyetler çalışılan senaryolar için Bölüm 4.4'te hesaplanmıştır.

Euro/USD parite 26.04.2024=1,0723 38,44 EURO=41,22 USD olarak esas alınmıştır.

6. Adım- Çevresel etki gözönüne alınarak iç verim oranının hesabı: 3. Adımda yapılan IRR hesabı çevresel maliyet ilave edilerek güncellenen yatırım maliyeti üzerinden tekrar hesaplanmıştır.

7. Adım- Seçilen projelerin rantabilitesinin çevre etkilerinin dahil edilmesiyle ne kadar değiştiği karşılaştırılmıştır.

Bu kapsamda üç adet HES kapsamındaki 5 farklı senaryo üzerinden tez çalışmalarımız yürütülmüştür. Aşağıdaki bölümde seçilen HES'lerle ilgili detaylı bilgiler yer almaktadır.

3.1. Çalışma Alanlarının (Örnek HES'lerin) Seçimi ve Özellikleri

3.1.1. Örenaltı Regülatörü ve HES özellikleri

Seçilen ilk HES Orta Karadeniz Bölgesi' nde Kastamonu ili Araç ilçesi sınırları içerisinde yapılması planlanmış olan Örenaltı Regülatörü ve HES projesidir. Bu HES'in kurulu gücü 6,25 MW olup istenen büyüklüktedir. *Konvansiyonel* bir HES örneği olarak çalışmaya temel oluşturacağı düşünüldüğünden, tez kapsamında ele alınmıştır.

Örenaltı HES'in planlanan yıllık enerji üretimi 13,40 GWh'dir. Örenaltı HES, Kara Dere'nin rakımları 605,00 metre ile 475,00 metre arasında değişen enerji potansiyelini değerlendirmek üzere özel olarak tasarlanmıştır. Regülatör ve enerji santrali sahalarına erişim mevcut yol altyapısı üzerinden kolaylıkla sağlanmaktadır. HES proje sahası aşağıdaki Harita 3.1'de gösterilmektedir.

Kastamonu ili Batı Karadeniz bölgesinde 41° 21' kuzey enlemi ile 33° 46' doğu boylamı arasında yer almaktadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 775 metre olup 13.108,1 km²'lik bir alanda yer alır ve ülkenin toplam arazisinin %1,7'sine karşılık gelir. Kastamonu ili doğuda Sinop, batıda Bartın ve Karabük, güneyde Çankırı, güneydoğuda Çorum ile sınır komşusudur. Kuzeyi Karadeniz ile çevrilidir. İl merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 780 metre olup, 170 km'lik kıyı şeridi ile Karadeniz'e kadar uzanır.

Çizelge 3.2. Örenaltı HES'in özellikleri

		Birim
Hidroloji		
Yağış Alanı	326,5	km ²
Yıllık Ortalama Debi (Bent yeri)	1,77	m ³ /s
25 Yıl Yinelemeli Taşkın Pik Debisi	139,2	m ³ /s
50 Yıl Yinelemeli Taşkın Pik Debisi	187,4	m ³ /s
100 Yıl Yinelemeli Taşkın Pik Debisi	251,4	m ³ /s
Derivasyon Tasarım Debisi (Q25)	139,20	m ³ /s
Yeri	Sağ Sahil	
Tipi	Atnalı	
Adedi	1	m
İç Çapı	4,500	m
Giriş Taban Kotu	571,00	km ²
Uzunluğu	300,00	m
Taban Eğimi	0.02	m/m
Memba Batardosu Kret Kotu	580,00	m
Memba Batardosu Kret Genişliği	6,00	m
Mansap Batardosu Kret Kotu	578,00	m
Mansap Batardosu Kret Genişliği	6,00	m
Örenaltı Regülatörü		

Çizelge 3.2. (devam) Örenaltı HES'in özellikleri

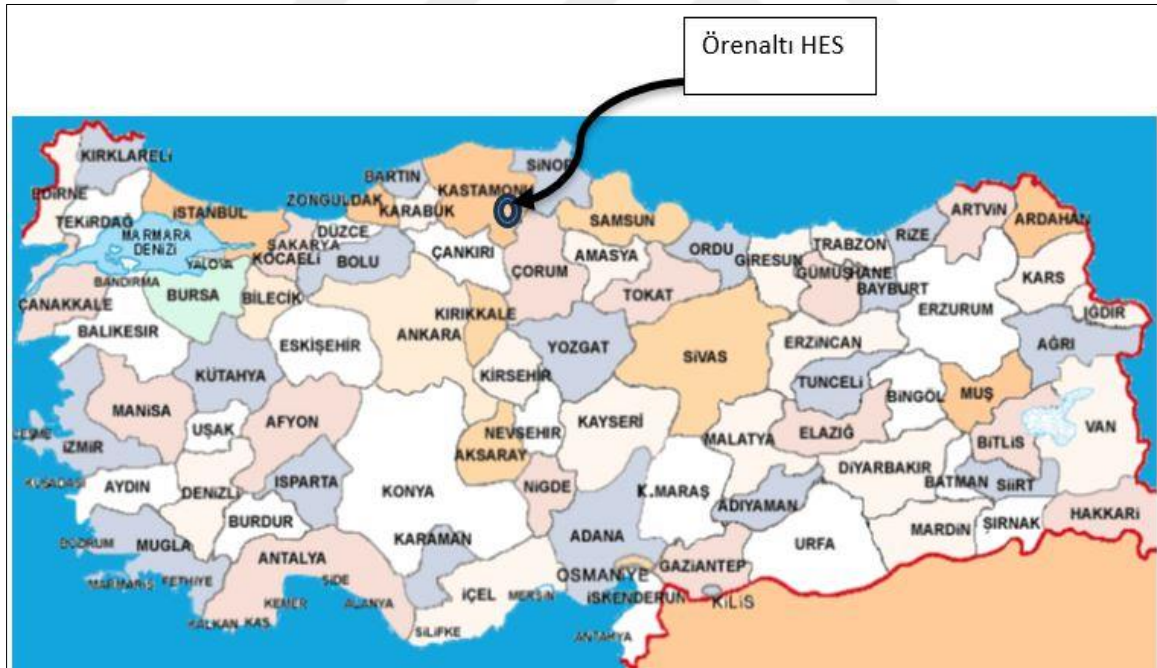
Tipi	Silindirle Sıkıştırılmış Beton	
Talveg Kotu	575,00	m
Temel Kotu	567,00	m
Kret Kotu	610,50	m
Maksimum İşletme Su Kotu	605,00	m
Minimum İşletme Su Kotu	600,00	m
Taşkın Su Kotu	607,68	m
Toplam Göl Hacmi	2,25	hm ³
Aktif Göl Hacmi	0,836	hm ³
Ölü Hacim	1.414	hm ³
Talvegten Yüksekliği	35,50	m
Temelden Yüksekliği	43,50	m
Kret Genişliği	8,00	m
Kret Uzunluğu	154,68	m
Sualma Yapısı		
Sualma Yapısı Taban Kotu	598,50	m
Sualma Yapısı Genişliği	3,00	m
Sualma Yapısı Yüksekliği	3,00	m
İletim Tüneli		
Yeri	Sol Sahil	

Çizelge 3.2. (devam) Örenaltı HES'in özellikleri

Tipi	Modifiye atnalı	m
İç Çapı	3,00	m
Uzunluğu	2 840	m
Santral Binası		
Santral tipi	Yarı gömülü	
Boyutları	18,80 m x 24,00 m	
Yükseklik	15,50	m
Kurulu Güç	6,25	
Kuyruksuyu Kotu	475,00	
Türbin		
Adedi	İki (2) takım	m
Tipi	Yatay Eksenli Francis	kW
Türbin Eksen Kotu	474,00	m
Ünite Gücü	3 321	MW
Toplam Türbin Gücü	6 642	kW
Proje debisi	6	m ³ /s
Ünite Debisi	3	m ³ /s
Brüt Düşü	125	m
Net Düşü	117,57	m
Verimi	0.91	

Çizelge 3.2. (devam) Örenaltı HES'in özellikleri

Güç faktörü	0.8	
Enerji Üretimi		
Kurulu Güç	6,25	MW
Firm (Güvenilir) Güç	0,00	MW
Firm (Güvenilir) Enerji	0,00	GWh
Sekonder (İkincil) Enerji	13,40	GWh
Toplam Enerji	13,40	GWh



Harita 3.1. Örenaltı HES proje alanı

3.1.2. Çağlar Regülatörü ve HES özellikleri

Çevresel etkilerden dolayı değişikliğe giden HES projesi araştırması kapsamında bilgilerine ulaşılan ve bu bağlamda seçilen ikinci HES projesi Çağlar Regülatörü ve HES Projesi, Doğu

Karadeniz Bölgesi'nde, Çoruh Havzasında, Artvin'e bağlı Yusufeli ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır.

2014 yılında ilk fizibilitesi yapılan Çağlar Regülatörü ve HES ile ilgili halk tepkisinden dolayı proje değişikliğine gidildiği ve 2017 yılında revize fizibilite çalışması yapıldığı bilgisi öğrenilmiştir. Buna göre Çağlar Regülatörü ve HES için 2014 yılında planlanan sistem çelik boru ile iletim hattı iken daha sonrasında projede iletim tünel ile gerçekleştirilecek şekilde değiştirilmiştir. 2014 yılındaki ilk yapılan planlanmaya göre kurulması öngörülen Çağlar Regülatörü ve HES projesinin özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Çağlar Regülatörü ve HES özellikleri (2014)

Çağlar Regülatörü.	
Drenaj Alanı	42,27 km ²
Yıllık Ortalama Debi	0,945 m ³ /s
Tipi	Önyüzü beton kaplı kaya dolgu
Proje Debisi	2,80 m ³ /s
Kret uzunluğu	44.00 m
Kret genişliği	8.00 m
Talveg kotu	1763,00 m
Kret kotu	1788,00 m
Yüksekliği (talvegden)	25,00 m
Normal işletme su kotu	1785.00 m
Minimum işletme su kotu	1777.21 m
Normal S.S.'de göl alanı	12 739 m ²

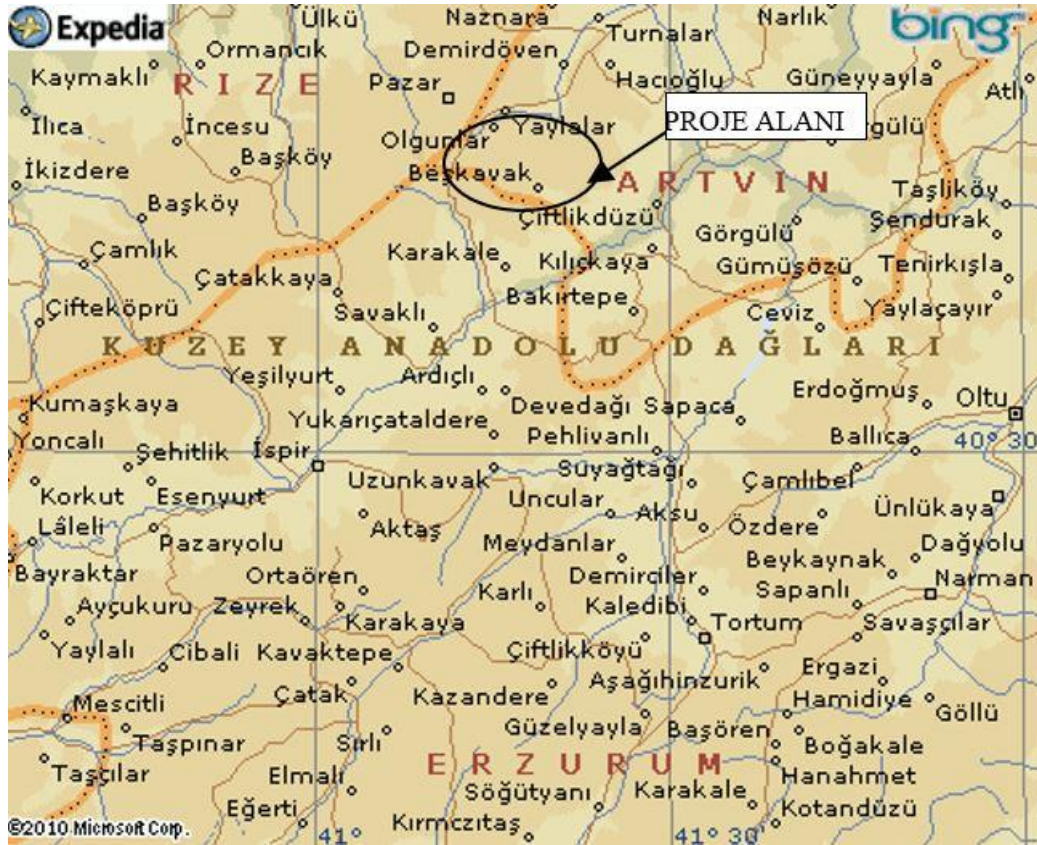
Çizelge 3.3. (devam) Çağlar Regülatörü ve HES özellikleri (2014)

Dolusavak	
Dolusavak proje debisi	44.10 m ³ /s
Tipi	Karşıdan alışı kontrolsüz savak
Yeri	Sağ sahil
Dolusavak yaklaşım kanalı kotu	1784.00 m Dolusavak yaklaşım kanalı uzunluğu 15.00 m Dolusavak eşik kotu
Derivasyon Konduvisi	
Uzunluğu	66.67 m
Çapı	1.10 m (çelik boru)
Giriş taban kotu	1766.30 m
Çıkış taban kotu	1762.55 m
Eğimi	0.05624
Dipsavak ve Sualma Yapısı Tesisleri	
Amacı	Dereye deşarj ve sualma
Yeri	Sol sahilde
Sualma şaftı çapı	1.10 m
Sualma şaftı uzunluğu	15.00 m
Cebri boru çapı	1.10 m
Cebri boru boyu	60.0 m
Tehlike vanası	Küresel

Çizelge 3.3. (devam) Çağlar Regülatörü ve HES özellikleri (2014)

Ayar vanası	Howell Bunger
İLETİM SİSTEMİ (İletim Borusu)	
İletim tipi	Çelik boru, basınçlı
İletim hattı boyu	4100.00 m
Boru iç çapı	1.10 m
İletim hattı proje debisi	2.80 m ³ /s
Ortalama et kalınlığı	8.00 mm. – 27.00 mm.
SANTRAL	
Santral binası boyu	26.50 m
Santral binası eni	18.00 m
Proje debisi	2.80 m ³ /s
Kuyruksuyu kotu	1250.00 m
Türbin eksen kotu	1251.61 m
Toplam kurulu güç	12.00 MW
Ünite adedi	2
Türbin tipi	Pelton Düşey eksenli
Brüt düşü	535.00 m
Net düşü (proje debisi için)	506.14 m
Ünite Kurulu Güçleri	2 x 6.00 MW
YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ	
Toplam enerji	33.415 GWh/yıl

Artvin ili $40^{\circ} 35'$ ile $41^{\circ} 32'$ kuzey enlemleri ve $41^{\circ} 07'$ ile $42^{\circ} 00'$ doğu boylamları arasında yer alan, $7\,367\text{ km}^2$ yüzölçümünde, Karadeniz Bölgesinin bir ilidir. İl alanı Türkiye yüzölçümünün (783.577 km^2) $\%0.9$ 'u kadardır. Çağlar Regülatörü Hüngemek Dere üzerinde, Beşkavak Mahallesi'nin yaklaşık 750 m güneydoğusunda 1763 m. talveg kotunda yer alır (Harita 3.2).



Harita 3.2. Çağlar regülatörü ve HES tesisleri proje yeri

2014 yılında yapılan planlamaya göre 1763.00 m talveg kotunda, ön yüzü beton kaplı kaya dolgu tipinde inşa edilmesi öngörülen Çağlar Regülatörü ile alınan Hüngemek deresi suları 1.10 m. çapında 4100 m. uzunluğundaki çelik boru ile 1250.00 m.kuyruksuyu kotundaki santrale düşürülecektir. 2017 yılında yapılan planlamaya göre iletim sistemi tünel olarak seçilmiş ve buna göre Çağlar Regülatörü ve HES projesinin özellikleri Çizelge 3.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. Çağlar regülatörü ve HES özellikleri (2017)

Çağlar Regülatörü	
Yer	Yüncüler deresi
Drenaj Alanı (km ²)	42.38
Taşkın Debisi (m ³ /s)	29.44
Tip	Kontrolsüz Betonarme dolu gövde
Kret Kotu (m)	1775.50
Maksimumu Su kotu (m)	1775.00
Normal Su kotu (m)	1774.10
Minimum Su Kotu (m)	1772.70
Talveg Kotu (m)	1768.60
Çağlar Tünel	
Tip	Atnalı betonarme
Uzunluk (m)	3640.00
Eğimi	0.12
Genişliği	4.60
Yüksekliği	4.20
Cebri Boru	
Çap (m)	0.70
Uzunluk (m)	70.00

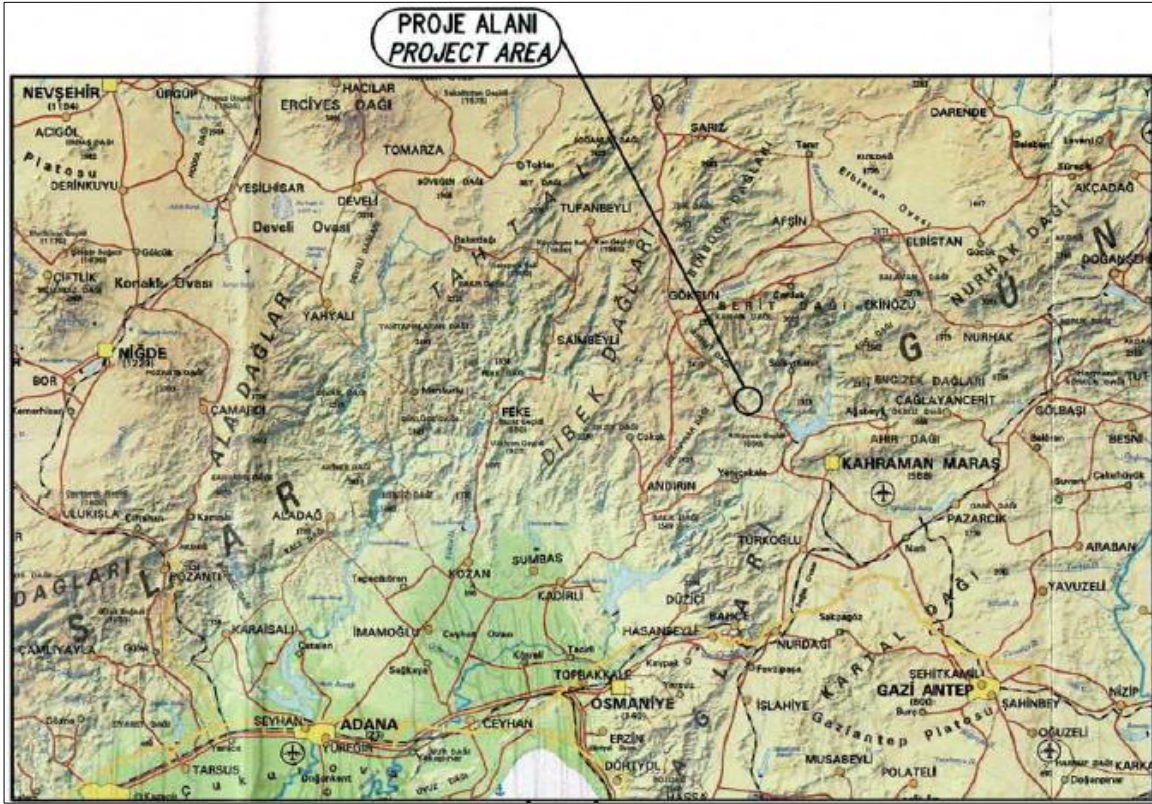
Çizelge 3.4. (devam) Çağlar regülatörü ve HES özellikleri (2017)

Maksimum Debi (m ³ /s)	2.70
Santral Binası	
Yer	Sağ Sahil
Tip	Betonarme
Uzunluk (m)	29.58
Genişlik (m)	16.58
Çevre Kotundan Yükseklik (m)	13.63
Kuyruk Suyu Seviyesi (m)	1235.00
Çevre Kotu (m)	1236.85
Çağlar Türbin	
Tipi	Dikey Pelton
Adedi	2
Ünite Kapasite (MW)	6.00+6.00=12.00 (MWe) 12.50 (MWm)
Maksimum Randıman	0.90
Brüt Düşü (m)	536.27
Net Düşü (m)	533.98

3.1.3. Çamlık Regülatörü ve HES özellikleri

Çevresel ve teknik sebeplerden dolayı değişikliğe giden HES projesi araştırması kapsamında bilgilerine ulaşılan ve bu bağlamda seçilen ikinci HES projesi Çamlık HES Projesi, Türkiye'nin güney kısmında Kahramanmaraş Göksun ilçe merkezinin 39 km güneyinde, Kahramanmaraş ili merkezinin ise 39 km kadar kuzeyinde yer almaktadır. Proje sahası

yurdumuzun $37^{\circ} 45' 30''$ - $37^{\circ} 48' 00''$ kuzey enlemleri ve $36^{\circ} 39' 30''$ - $36^{\circ} 42' 00''$ doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kahramanmaraş ili sınırları içerisinde, Ceyhan nehrinin yan kollarından olan Tekir ve Tanır dereleri üzerinde bulunmaktadır. (Harita 3.3).



Harita 3.3. Çamlık regülatörü ve HES tesisleri proje yeri

2011 yılında ilk fizibilitesi yapılan Çamlık HES çevresel nedenlerle yol yapımı, yerleşim yerinin içinden geçmesi ve dere yatağı probleminden dolayı değişikliğe uğramış, ilk durumdaki tünel iletim hattı yerine 2020 yılında önerilen çelik boru iletim hattı sistemine dönüştürülmüştür. 2011 yılına göre kurulu güç 9,83 MW değerinden 2020 yılında daha basit bir iletim çözümüyle 1,55 MW kurulu güce düşmüştür. 2011 yılındaki ilk yapılan planlanmaya göre kurulacak olan Çamlık HES projesinin özellikleri Çizelge 3.5’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.5. Çamlık HES özellikleri (2011)

HİDROLOJİ	
Drenaj Alanı	229.30 km ²
Yıllık Ortalama Akım	212.52 hm ³
Türbinlenen Ortalama Su	188.37 hm ³ (cansuyu düşülmüş)
ÇAMLIK TEKİR REGÜLATÖRÜ	
Tipi	Kontrol kapaklı önden alıslı
Talveg kotu	719.00 m
Kret kotu	724.00 m
Minimum su seviyesi	722.00 m
Maksimum su seviyesi	724.00 m
Yüksekliği (talvegden)	5.00 m
Yüksekliği (temelden)	9.00 m
ÇAMLIK TANIR REGÜLATÖRÜ	
Tipi	Dolu Gövde
Talveg kotu	720.00 m
Kret kotu	724.00 m
Savak Uzunluğu	40.00 m
Minimum su seviyesi	721.00 m
Maksimum su seviyesi	724.00 m
Yüksekliği (talvegden)	4.00 m

Çizelge 3.5. (devam) Çamlık HES özellikleri (2011)

Yüksekliği (temelden)	8.00 m
İLETİM TÜNELİ (Tanır-Yükleme Havuzu Arası)	
Tünel Tipi	Modifiye Atnalı Kesit, beton kaplamalı
Tünel Kapasitesi	16.00 m ³ /s
Tünel Boyu	3793.00 m
Tünel İç Çapı (Beton İçyüzü)	3.60 m
Tünelde maksimum su yüksekliği	2.70 m
YÜKLEME HAVUZU	
Uzunluğu	59.24 m
Eni	10.00 m
Yüksekliği	10.20 m
Hacmi	6042 m ³
Cebri Boru	
Boru tipi	Çelik (Dairesel)
Kapasitesi	16.00 m ³ /s
Çapı	2050 mm
Boyu	448.10 m
Et kalınlığı	8 mm
TÜRBİN	
Tipi	Yatay Eksenli Francis

Çizelge 3.5. (devam) Çamlık HES özellikleri (2011)

Ünite Sayısı	3
Brüt Düşü	73.845 m
Net Düşü	70.149 m
Debi	16.00 m ³ /s
Toplam Kurulu Güç	9832 Kw (9,83 MW)
Türbin Verimi	0.93
SANTRAL ve SANTRAL BİNASI	
Yeri	Çatalcam Mah. yaklaşık 300 m doğusu
Santral binası uzunluğu	50.20 m
Santral binası genişliği	17.50 m
Santral binası yüksekliği	9.50 m
Santral binası temel kotu	641.10 m
Kuyruksuyu kotu	646.50 m

2020 yılında yapılan planlamaya göre daha küçük bir kurulu güç ile planlanan çelik boru iletim hattı kullanılmış ve Çamlık HES projesinin buna göre tasarlanan özellikleri Çizelge 3.6'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.6. Çamlık HES özellikleri (2020)

Çamlık Regülatörü	
Drenaj Alanı	202.00 km ²
Ortalama Debi (giriş debisi)	5.176 m ³ /s
Ortalama Yıllık Toplam Akım	177.3 hm ³
Proje Debisi	16.00 m ³ /s
Gövde Tipi	Beton Ağırlık Tipi
Talveg Kotu	680.00 m
Kret Kotu	685.00 m
Kret Uzunluğu	40.00 m
Çevre düzenleme kotu	686.80 m
Proje Taşkın Debisi (Q100)	142.20 m ³ /s
Balık Geçidi	
Tipi	Memba - yarım boru- Mansap - havuzlu kanal
Boru çapı (Memba Bölümü)	1000 mm (Yarım Boru)
Havuzlu Kanal Boyutları (Mansap Bölümü)	1.80 m X 1.00 m
Yarım Boru Uzunluğu (Memba Bölümü)	228.00 m
Havuzlu kanal Uzunluğu (Mansap Bölümü)	95.00 m
Yarım Boru Eğimi (Memba Bölümü)	0.0009
Havuzlu kanal Uzunluğu (Mansap Bölümü)	0.07

Çizelge 3.6. (devam) Çamlık HES özellikleri (2020)

Sualma Yapısı	
Tipi	Karşıdan Alışlı 2 Adet Boru
Yeri	Sol Sahil
Su alma kapasitesi	16.00 m ³ /s
Su alma yapısı boru çapı adeti / çapı	2 Adet Ø 1400 mm
Boru eksen kotu	681.70 m
İLETİM TÜNELİ (Tanır-Yükleme Havuzu Arası)	
Tipi	Kontrolsüz Dolusavak
Talveg Kotu	680.00 m
Kret Kotu	685.00 m
Kret Uzunluğu	40.00 m
Düşü Havuzu Tipi	Tip II Düşü Havuzu
Düşü Havuzu Uzunluğu	10.00 m
Çakıl Geçidi	
Kapak boyutları	2.00 m x 2.00 m
Kapak adeti	1 adet
Taban kotu	678.00 m
İletim Kondüvisi	
Tipi	Gömülü boru
Yeri	Sol sahil

Çizelge 3.6. (devam) Çamlık HES özellikleri (2020)

Boru iç çapı	2100 mm
Boru uzunluğu	510.00 m
Türbin (Çamlık HES)	
Tipi	Yatay Kaplan
Adedi	2 adet
Kurulu Güç	1.554 MWe / 1.605 MWm
Kuyruksuyu kotu	672.00 m
Brüt düşü	13.00 m
Net düşü (proje debisi için)	11.085 m
Türbin Hesap Debisi	8.00 m ³ /s
Türbin Verimi	0.923

2020 yılındaki son planlamaya göre regülatör yapısı ile santral arası iletim 2100 mm çapında ve 510 m uzunluğundaki boru ile sağlanacaktır. Buna göre; Çamlık HES (2020) 1.554 MW kurulu gücündedir.

Çizelge 3.7. Tez çalışmasında kullanılan 5 farklı senaryo

	Kurulu Gücü (MW)	İnşaat aşamasında kullanılan malzemelerin miktarı	İnşaat aşamasında kullanılan malzemelerin taşıma mesafesi (ton-km/MW)
Örenaltı HES	6.25	Beton kullanımı fazla (141.415 m ³)	792386
Çağlar HES (2014)	12.00	Çelik boru kullanımı fazla (1.784 ton), 5.008 m ³ beton kullanılmış	241500
Çağlar HES (2017)	12.00	Hem beton hacminde (32.243 m ³) hem de tünel kazısında artış (61.370 m ³)	345200
Çamlık HES (2011)	9.83	Yüksek miktarda beton kullanımı (30.073 m ³). Tünel kazısı (35.729 m ³)	182078
Çamlık HES (2020)	1.55	Beton kullanımı nispeten azaltılmış (3.243 m ³), çelik borular (242 ton) kısmen betonun yerini almıştır.	158086

Çağlar HES için hesaplamalar, 2014 ve 2017 yılları için, 2 durum üzerinden yapılmıştır. Çünkü 2014 yılında yapılan keşif çelik boru iletim hattı iken, 2017 yılında tünel iletim hattına dönüşmüştür. Çamlık HES için ise tam tersi bir durum söz konusu olup tünel ile yapılan iletim, çelik boruya dönüşmüştür. Keşifteki değişiklikler proje içerisindeki tüm yapıları kapsamaktadır ve çalışmamız her bir keşif kapsamındaki ana inşaat malzemeleri ve taşımalar (kazi taşıması dahil) yürütülmüştür.

3.2. Örnek HES'lerin Yaşam Döngüsü Analizi ile Çevre Etkilerinin İrdelenmesi

3.2.1. Hedef ve kapsam

Bu çalışmanın amacı, üç HES kapsamında beş örnek durumun çevresel performansının yaşam döngüsü perspektifinden kapsamlı bir analizini yapmak ve özellikle inşaat aşamasındaki çevresel etkilerini değerlendirmeye odaklanmaktır. Nihai hedef, HES'lerin inşaatla ilgili çevresel etkilerinin azaltılması ve sürdürülebilir inşaat uygulamalarının teşvik edilmesi konusunda bilimsel bir altyapı ortaya koymaktır. Kapsamlı bir değerlendirme sağlamak için, çok çeşitli çevresel göstergeleri kapsayan on etki kategorisi analiz edilmiştir. Bu kategoriler arasında Abiyotik Kaynak Tükenmesi, Asidifikasyon, Ötrofikasyon, Küresel Isınma, Ozon Tabakasının İncelmesi, İnsan Sağlığı Toksisitesi, Tatlı Su Ekotoksitesitesi, Deniz Ekotoksitesitesi, Karasal Ekotoksitesite ve Fotokimyasal Ozon Oluşumu yer almaktadır. Tez kapsamında çevresel maliyet hesabı yapılırken OECD tarafından ülkemize özgü birim fiyatı tanımlanmış olan CO₂ gaz salım değerleri parasal hesaplamalarda kullanılmıştır.

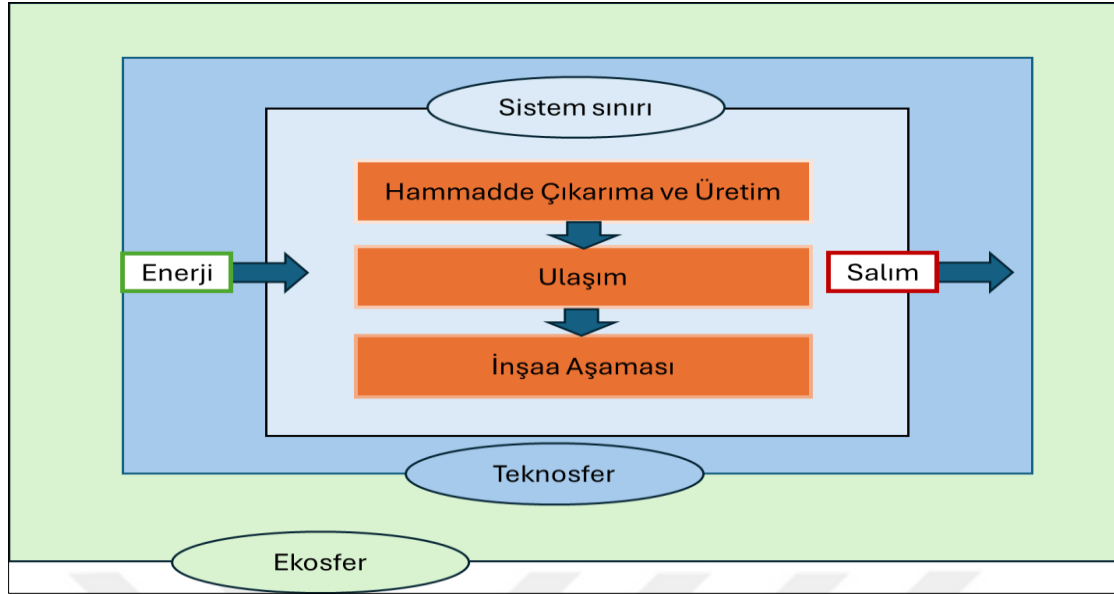
Analizler de, çevresel etkilerin değerlendirilmesinde doğruluk ve güvenilirliği sağlamak için mevcut en son veri setleri ve yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışma için seçilen fonksiyonel (işlevsel) birim 1 megawatt (MW) kurulu güç kapasitesidir.

Yöntem

Bir ürün veya hizmetin çevresel etkilerini sadece sayısal olarak-çıktı olan materyal madde karşılığı olarak- CO₂ eşdeğeri gibi ortaya koyarak çevre etkisinin ifade edildiği “orta nokta metodu” olarak adlandırılan yöntem kullanılmıştır.

Sistem sınırları

Bu çalışmadaki sistem sınırı; hammadde çıkarımı ve üretimini, hammadde çıkarımı ve üretimi için ilgili taşımayı, inşaat aşamasını, kazı da dahil ilgili taşımaları içermektedir. Aşağıdaki tablolar (Çizelge 3.8-Çizelge 3.9-Çizelge 3.10-Çizelge 3.11-Çizelge 3.12), çalışmada kullanılan süreç ve malzemelerin miktarlarının yanı sıra taşıma mesafelerini de göstermektedir.



Şekil 3.2. YDA sistem sınırları

İncelenen sistem; malzeme, enerji ve çevresel deşarj akışları ile birbirine bağlı çeşitli alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu çalışma, çimento, beton, inşaat demiri, çelik borular ve çelik sac malzemenin çıkarılması, taşınması ve üretim aşamalarını kapsayan envanter analizini değerlendirmektedir. Çıkarma için arazi kullanımı, üretim atıkları, enerji tüketimi, su ve hava kaynaklı emisyonlar, toprak emisyonları, fabrikadan pazarlara ulaşım, inşaat aşaması ve hammadde üretiminin değerlendirilmesini içermektedir. Her bir HES için aşağıdaki tablolarda kullanılan malzeme miktarları, kullanılan ana inşaat malzemeleri ve taşımalar detaylandırılmıştır.

Çizelge 3.8. Örenaltı HES inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar

Süreç/malzeme	Miktar	Birim	Taşıma Mesafesi
Kazı	50729,27	m ³	2 kilometre
Tünel kazısı	41310,11	m ³	2 kilometre
Çimento	25593,42	ton	150 kilometre
İnşaat Demiri	1423,03	ton	100 kilometre
Sac	28,68	ton	100 kilometre
Çelik boru	56,00	ton	100 kilometre
Kum ve çakıl	155752,03	m ³	2 kilometre

Örenaltı HES'te iletim tüneli kullanılmaktadır ve regülatör yapısı SSB (Silindirle Sıkıştırılmış Beton) olarak tasarlanmıştır. Sonuç olarak, Örenaltı HES'te beton kullanımı diğer örnek çalışmalara göre önemli ölçüde daha fazladır.

Çizelge 3.9. Çağlar HES (2014) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar

Süreç/malzeme	Miktar	Birim	Taşıma Mesafesi
Kazı	143128	m ³	2 kilometre
Çimento	1775	ton	190 kilometre
İnşaat Demiri	247	ton	986 kilometre
Sac	22,33	ton	986 kilometre
Çelik boru	1784,20	ton	986 kilometre
Kum ve çakıl	22484	m ³	2 kilometre

Çağlar HES (2014) öncelikle tünel yerine çelik borular kullanmakta, bu da nispeten düşük miktarda beton kullanımına neden olmaktadır. Sonuç olarak, bu vaka çalışmasında önemli miktarda çelik boru kullanılmıştır.

Çizelge 3.10. Çağlar HES (2017) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar

Süreç/malzeme	Miktar	Birim	Taşıma Mesafesi
Kazı	39496	m ³	2 kilometre
Tünel kazısı	61370	m ³	2 kilometre
Çimento	11285	ton	190 kilometre
İnşaat Demiri	1456	ton	986 kilometre
Sac	157	ton	986 kilometre
Çelik boru	33	ton	986 kilometre
Kum ve çakıl	4200	m ³	2 kilometre

Çağlar HES'te (2017) çelik boru iletim hattı yerine tünel kullanılmış, bu da Çağlar HES'e (2014) kıyasla hem beton hacminde hem de tünel kazısında artışa yol açmıştır.

Çizelge 3.11. Çamlık HES (2011) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar (2020 ile aynı kurulu güce göre)

Süreç/malzeme	Miktar	Birim	Taşıma Mesafesi
Kazı	4612,49	m ³	2 kilometre
Tünel kazısı	5645,18	m ³	2 kilometre
Çimento	1438,27	ton	120 kilometre
İnşaat Demiri	344,16	ton	150 kilometre
Sac	3,98	ton	150 kilometre
Çelik boru	0,09	ton	150 kilometre
Kum ve çakıl	6075,26	m ³	2 kilometre

Çamlık HES'in (2011) yapısında ağırlıklı olarak tünel kaplama betonu da dahil beton kullanılmış, bu da diğer malzemelere kıyasla daha yüksek miktarda beton kullanımına yol açmıştır.

Çizelge 3.12. Çamlık HES (2020) inşaat sürecine ait malzeme ve ilgili taşımalar

Süreç/malzeme	Miktar	Birim	Taşıma Mesafesi
Kazı	18565,90	m ³	2 kilometre
Çimento	973,05	ton	80 kilometre
İnşaat Demiri	86,70	ton	230 kilometre
Çelik boru	242,29	ton	230 kilometre
Kum ve çakıl	8818,75	m ³	2 kilometre

Çamlık HES'te (2020) beton kullanımı nispeten azalmış, çelik borular kısmen betonun yerini almıştır.

3.2.2. Karakterizasyon analizi

Karakterizasyon analizi, YDA'nın temel bir bileşenidir ve çevresel etkilerin değerlendirilmesinde önemli bir adım sağlar. YDA'da, kaynak tüketimi ve emisyonlara ilişkin verilerin toplandığı envanter aşamasından sonra karakterizasyon analizi, bu verileri belirli çevresel etki kategorilerine dönüştürerek anlam ve önem kazandırır. Bu süreç, ham verilerin küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon, ötrofikasyon ve diğerleri gibi çevresel başlıklarla ilgili göstergelere dönüştürülmesini içerir. Karakterizasyon analizi, karmaşık çevresel bilgilerin bir dizi anlaşılır ve yönetilebilir etki kategorisi halinde toplanmasına olanak tanıyarak sonuçların karşılaştırılmasını ve yorumlanmasını kolaylaştırır. Etki değerlendirmesi ve yorumlama aşamalarının temelini oluşturarak YDA çalışmalarından anlamlı içgörüler elde edilmesine yardımcı olur ve sonuçta sürdürülebilir karar alma sürecine rehberlik eder.

Abiyotik kaynak tüketimi

Abiyotik kaynak tüketimi yaşam döngüsü analizinde doğal kaynakların tüketilmesini ifade eden bir etki kategorisidir. Kaynak tüketimi kg Sb (antimon) cinsinden ifade edilir.

Asidifikasyon

Asidifikasyon, asitleştirici maddelerin toprak, yeraltı suyu, yüzeysel sular, organizmalar, ekosistemler ve maddeler üzerinde yarattığı toksik etkiyi ifade eden etki kategorisidir. Asidik gazların atmosferdeki su ile reaksiyona girmesi sonucunda 'asit yağmuru' denilen olay gerçekleşmektedir. Asit yağmurlarının oluşumu da ekosistem içerisindeki çeşitliliğin azalmasına sebep olmaktadır. Yaşam Döngüsü çalışmalarında asidifikasyon kg SO₂ (Kükürtdioksit) eşd./kg emisyon olarak ifade edilir.

Ötrofikasyon

Havaya, suya ve toprağa besi maddelerinin aşırı salımı nedeniyle oluşan makro besi maddelerinin artışının sebep olduğu etkileri ifade eden etki kategorisidir. Nitrat ve fosfat besi maddelerinin var olması ekosistem içerisindeki yaşamın devamlılığı için büyük önem taşıyor olsa da yüksek derişimlerde bulunmaları sonucu sulak alanlarda alg patlamalarına neden olur ve bu da su içerisindeki oksijen miktarının azalmasına sebep olur. Bu durum ekosistemin zarar görmesine neden olur. Yaşam Döngüsü çalışmalarında ötrofikasyon kg PO₄ (Fosfat) eşd. olarak ifade edilir.

Küresel ısınma

Küresel Isınma insan sağlığı, ekosistem sağlığı ve maddi refah üzerine olumsuz etkilerde bulunur. İklim değışikliğı havaya salınan sera gazları ile ilgilidir. IPCC tarafından geliştirilmiş karakterizasyon faktörleri kullanılmaktadır. Faktörler kg karbondioksit / kg emisyon cinsinden 100 yıllık zaman dilimi için Küresel Isınma Potansiyeli (GWP100), olarak ifade edilmiştir.

Ozon tabakası incelmesi

Stratosfer tabakasında ki UV-B ışınları yeryüzüne çok çabuk ulaşır. Bu ışınlar, insan sağlığı, hayvan sağlığı, karasal ve sucul ekosistemler, biyokimyasal döngüler üzerine ve malzemeler üzerine zararlı etkileri de bulunabilir. Bu kategorinin çıkış noktası küresel ölçeklidir. Bu karakterizasyon modeli Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından geliştirilen ve farklı gazların ozon tüketme potansiyelini tanımlar (kg CFC-11- klorflorokarbon-11 eşdeğeri /kg emisyon)

İnsan sağlığı toksisitesi

Bu kategori, çevreye salınan toksik maddelerin insan üzerindeki etkileri ile ilgilidir. Çalışma ortamlarında maruz kalınan toksik maddelerin etkileri kategoriye dahil edilmemiştir. Ağır metaller gibi insan sağlığı üzerinde toksik etki yapan kimyasalları belirten çevresel etki olarak bilinir. YDD çalışmalarında toksisite 1,4 DB(diklorobenzen) eşd./kg emisyon cinsinden ifade edilir.

Tatlısu ekotoksisitesi

Bu kategori göstergesi, hava, su ve topraktaki toksik maddelerin emisyonlarının bir sonucu olarak, tatlı su ekosistemleri üzerindeki etkisini ifade eder. Toksik maddelerin etkisini yansıtan ekotoksisite potansiyeli USES-LCA ile hesaplanmaktadır. YDD çalışmalarında tatlısu ekotoksisitesi 1,4 DB (diklorobenzen) eşd./kg emisyon cinsinden ifade edilir.

Deniz ekotoksisitesi

Deniz eko-toksitesitesi deniz ekosistemleri üzerindeki toksik maddelerin etkilerini ifade eder. YDD çalışmalarında deniz ekotoksitesitesi 1,4 DB (diklorobenzen) eşd./kg emisyon cinsinden ifade edilir.

Karasal ekotoksisite

Bu kategori karasal ekosistemler üzerindeki toksik maddelerin etkilerine değinmektedir. Yaşam döngüsü çalışmalarında karasal ekotoksitesitesi 1,4 DB (diklorobenzen) eşd./kg emisyon cinsinden ifade edilir.

Foto-oksidan oluşumu

Foto-oksidan oluşumu, tarımsal ürünlere, insan sağlığına ve ekosisteme zarar veren reaktif maddelerin oluşumunu açıklayan etki kategorilerinden biridir. Yaşam döngüsü çalışmalarında foto-oksidan oluşumu kg etilen eşd./kg emisyon olarak ifade edilir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Örnek HES'lerin İnşaat Yatırım Maliyetleri ve Yatırımların İç Verim Oranları

Bu bölümde seçilen HES projelerinin güncel kurum fiyatlarıyla keşif çalışmalarının yapılarak çevresel etki göz önüne alınmadan seçilen HES projelerinin maliyetine ve geçerli elektrik fiyat faydasına göre yatırım kararına esas olan iç verim oranları hesaplanmıştır.

4.1.1. Örenaltı HES inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları

Örenaltı Regülatörü ve HES için öngörülen yapının inşaat işleri için oluşan keşfi Ek-1 de yer alan tablolarda sunulmuştur;

İnşaat işleri keşfi Ek-1'de verilen Örenaltı HES için güncel kurum birim fiyatları üzerinden yapılan çalışmaya göre oluşan yatırım bedeli aşağıda Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Örenaltı HES yatırım bedeli

Örenaltı Regülatörü ve HES Yatırım Bedeli ve Yıllık Gideri. Tüm Bedeller USD'dir. (27 TL/USD)						
Projenin Adı	Keşif Bedeli	Tesis Bedeli	Etüt Proje ve Kontrollük	Proje Bedeli	İnşaat Süresince Faiz	Yatırım Bedeli
Regülatör	9 469 000	10 889 350	544 468	11 433 818	137.206	11 571 023
İletim ve Derivasyon Tüneli	8 078 000	9 289 700	464 485	9 754 185	117.050	9 871 235
Yükleme odası	566 000	650 900	32 545	683 445	8.201	691 646
Cebri Boru	460 000	529 000	26 450	555 450	6.665	562 115
Servis Yolları	50 000	57 500	2 875	60 375	725	61 100
Daimi Site İnşaatı	150 000	172 500	8 625	181 125	2.174	183 299
Santral Binası	390 466	449 036	22 452	471 488	5.658	477 146
Santral	1 718 049	1 975 757	98 788	2 074 545	24.895	2 099 439
İletim Hattı	375 000	431 250	21 563	452 813	5.434	458 246
Kamulaştırma	250 000	-		250 000	3.000	253 000
Toplam	21 506 515	24 444 993	1 222 250	25 917 242	311 007	26 228 249

Yukarıda özetlenen ve Örenaltı HES'in yapımı için harcanacak bedel, üretilen elektrik karşılığında ekonomik fayda sağlanacaktır. Bu çalışmanın yapıldığı dönem içerisinde 01.10.2023 tarihli Ek-2'de belirtilen 179,99 TL kr/Kwh değeri 02.10.2023 tarihli TCMB kuru kullanılarak 27,4044 TL/USD üzerinden çevrim yapıldığında 6,578 USD cent/Kwh bedel bulunmaktadır.

Bu bilgilere göre Örenaltı HES için çevresel maliyet dikkate alınmadan hesaplanan iç verim oranı Ek-3'de Şekil 10'da verildiği gibi %0,77 olarak bulunmuştur.

4.1.2. Çağlar HES (2014) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları

Çağlar Regülatörü ve HES için öngörülen yapının inşaat işleri için 2014 yılındaki fizibilite çalışmasına göre oluşan keşfi EK-4’de verilmiştir.

İnşaat işleri keşfi Ek-4’de verilen Çağlar HES (2014) için güncel kurum birim fiyatları üzerinden yapılan çalışmaya göre oluşan yatırım bedeli aşağıda Çizelge 4.2’de verilmiştir;

Çizelge 4.2. Çağlar HES yatırım bedeli (2014)

	Para Birimi-TL	Para Birimi-USD
TOPLAM KEŞİF BEDELİ	319.341.870	13.295.977
Bilinmeyen giderler (%10)	31.934.187	1.329.598
TESİS BEDELİ	351.276.058	14.625.574
Kamulaştırma	8.403.500	350.000
Etüd, proje, mühendislik, kontrollük giderleri (%10)	35.127.606	1.462.557
PROJE BEDELİ	394.807.163	16.438.132
YATIRIM BEDELİ	432.313.844	17.999.754

Bu bilgilere göre Çağlar HES (2014) için çevresel maliyet dikkate alınmadan hesaplanan iç verim oranı Ek-5’de verildiği gibi %7,87 olarak bulunmuştur.

4.1.3. Çağlar HES (2017) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları

İnşaat işleri Ek-6’da verilen 2017 yılında fizibilite çalışması yapılan Çağlar HES için güncel kurum birim fiyatları üzerinden yapılan keşfe göre oluşan yatırım bedeli aşağıdaki Çizelge 4.3’de sunulmuştur;

Çizelge 4.3. Çağlar HES yatırım bedeli (2017)

Çağlar Regülatörü ve HES Keşif Tablosu			
Sıra No	İşin Adı ve Tarifı	Toplam Tutar (TL)	Toplam Tutar (\$)
1	Regülatör ve Su Alma Yapısı	13.625.990	504.666
2	İletim tüneli	207.902.012	7.638.193
3	Yükleme Havuzu	4.279.955	158.517
4	Hidromekanik Ekipman	2.908.617	107.727
5	Cebri Boru	6.227.368	230.643
6	Santral binası	32.933.240	1.219.750
7	Elektromekanik Ekipman	97.200.000	3.600.000
8	Enerji Nakil Hattı	12.150.000	450.000
9	Kamp tesisleri ve Ulaşım yolları	10.923.569	404.577
		Toplam Tutar (TL)	Toplam Tutar (\$)
	TOPLAM KEŞİF BEDELİ	388.150.751	14.314.072
	Bilinmeyen giderler (%10)	38.815.075	1.431.407
	TESİS BEDELİ	426.965.826	15.745.479
	Kamulaştırma	1.890.000	70.000
	Etüd, proje, mühendislik, kontrollük giderleri (%10)	42.696.583	1.574.548
	PROJE BEDELİ	471.552.408	17.390.027
	YATIRIM BEDELİ	488.690.161	18.099.636

Bu bilgilere göre Çağlar HES (2017) için çevresel maliyet dikkate alınmadan hesaplanan iç verim oranı Ek-7’de verildiği gibi %7,80 olarak bulunmuştur.

4.1.4. Çamlık HES (2011) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları

Çamlık Regülatörü ve HES için öngörülen yapının inşaat işleri için 2011 yılındaki fizibilite çalışmasına göre oluşan keşfi EK-8’de verilmiştir.

İnşaat işleri Ek-8’de özetlenen 2011 yılında fizibilite çalışması yapılan Çamlık HES için güncel kurum birim fiyatları üzerinden yapılan keşfe göre oluşan yatırım bedeli aşağıda Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çamlık HES yatırım bedeli (2011)

	Para Birimi-TL	Para Birimi-USD
TOPLAM KEŞİF BEDELİ	443.147.163	17.272.030
Bilinmeyen giderler (%10)	44.314.716	1.727.203
TESİS BEDELİ	487.461.880	18.999.234
Kamulaştırma	1.890.000	70.000
Etüd, proje, mühendislik, kontrollük giderleri (%10)	48.746.188	1.899.923
PROJE BEDELİ	538.098.067	20.969.157
YATIRIM BEDELİ	589.217.384	22.961.227

Çamlık HES-2011 için çevresel maliyet dikkate alınmadan hesaplanan iç verim oranı Ek-4-B’de verildiği gibi %6,06 olarak bulunmuştur.

4.1.5. Çamlık HES (2020) inşaat yatırım maliyetleri ve yatırımların iç verim oranları

İnşaat işleri Ek-10’da verilen 2020 yılında fizibilite çalışması yapılan Çamlık HES için güncel kurum birim fiyatları üzerinden yapılan keşfe göre oluşan yatırım bedeli aşağıdaki çizelgede verilmiştir;

Çizelge 4.5. Çamlık HES yatırım bedeli (2020)

	Para Birimi-TL	Para Birimi-USD
TOPLAM KEŞİF BEDELİ	46.485.557	1.721.687
Bilinmeyen giderler (%10)	4.648.556	172.169
TESİS BEDELİ	51.134.113	1.893.856
Kamulaştırma	1.890.000	70.000
Etüd, proje, mühendislik, kontrollük giderleri (%10)	5.113.411	189.386
PROJE BEDELİ	58.137.524	2.153.242
YATIRIM BEDELİ	63.660.589	2.357.800

Çamlık HES-2020 için çevresel maliyet dikkate alınmadan hesaplanan iç verim oranı Ek-11’de verildiği gibi %10,57 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6’ da çevresel maliyet hariç iç verim oranları bütün senaryolar için verilmiştir.

Çizelge 4.6. İncelenen örnek HES projelerinin yeni iç verim oranı

İncelenen HES	İç Verim Oranı-Çevresel Maliyet Hariç
Örenaltı HES	0,77%
Çağlar HES-2014	7,87%
Çağlar HES-2017	7,80%
Çamlık HES-2011	6,06%
Çamlık HES-2020	10,57%

4.2. Yaşam Döngüsü Analizleri -Karakterizasyon Analizleri

Bu bölümde, tüm HES'lerde inşaat aşaması için yaşam döngüsü analizleri sonucunda elde edilen CO₂ eşdeğeri cinsinden çevresel maliyetler verilmiştir. Öncelikle YDA ile

karakterizasyon analizleri yapılmıştır. Böylelikle etkinin kaynağı hakkında bilgi sahibi olmak mümkün olmuştur. Normalizasyon analizleri ile de HES'lerden kaynaklanan çevresel etkilerin en çok hangi etki kategorisinde etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.7. Karakterizasyon analiz sonuçları

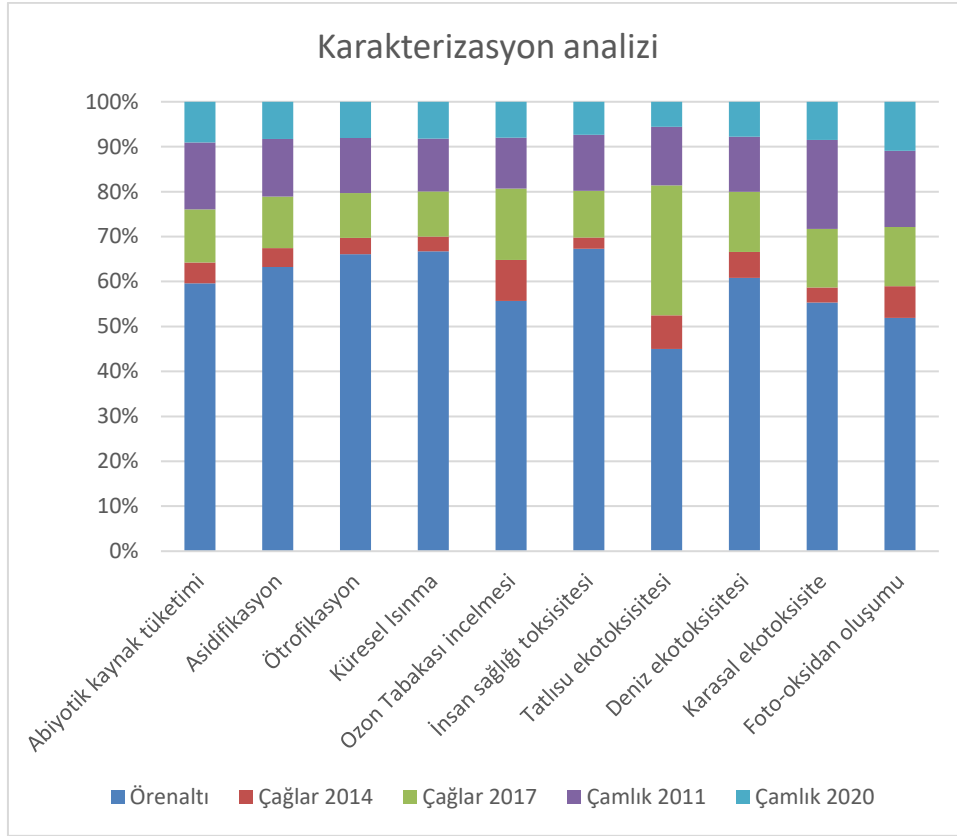
Etki kategorisi	Birim	Örenaltı	Çağlar 2014	Çağlar 2017	Çamlık 2011	Çamlık 2020
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	135889	20220	51776	53350	5114
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	97753	12458	33927	31178	3183
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	16631	1744	4828	4858	503
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	44340755	4200073	12771295	12311239	1351674
Ozon Tabakası incelmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	3.08	0.95	1.68	0.98	0.11
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	11537164	840663	3419176	3362516	312729
Tatlısu ekotoksitesite	kg 1,4-DB eşdeğeri	268746	86409	331787	122485	8223
Deniz ekotoksitesite	kg 1,4-DB eşdeğeri	92332177 8	17000000 0	39057650 3	29191341 4	2936674 6
Karasal ekotoksitesite	kg 1,4-DB eşdeğeri	139628	16148	63034	78782	5301
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	5248	1356	2553	2700	274

Her bir HES farklı elektrik üretim kapasitesine sahip olduğundan (Örenaltı HES 6,25 MW; Çağlar HES (2014,2017) 12 MW ve Çamlık HES 9,83 MW (2011), 1,55 MW (2020)) karakterizasyon ile doğrudan karşılaştırma yapılamamış; 1 MW işlevsel birim uygulanmıştır. Aşağıdaki tabloda, bu işlevsel birime dayalı karakterizasyon analizi verilmektedir.

Çizelge 4.8. 1 MW işlevsel birime göre karakterizasyon analiz sonuçları

Etki kategorisi	Birim	Örenaltı	Çağlar 2014	Çağlar 2017	Çamlık 2011	Çamlık 2020
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	21742	1685	4315	5426	3290
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	15640	1038	2827	3171	2048
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	2661	145	402	494	324
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	7094521	350006	1064275	1252160	869803
Ozon Tabakası incelmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	0.49	0.08	0.14	0.10	0.07
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	1845946	70055	284931	341997	201241
Tatlısu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	42999	7201	27649	12458	5292
Deniz ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	147731484	14166667	32548042	29690136	18897521
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eşdeğeri	22.340	1.346	5.253	8.012	3.412
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	840	113	213	275	176

Her bir HES'in etki kategorisindeki payını daha iyi anlamak için Şekil 4.1'de aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.1. 1 MW İşlevsel birime göre karakterizasyon analiz sonuçları

Şekil 4.1 ve Çizelge 4.8 incelendiğinde, Örenaltı HES tüm kategorilerde en yüksek etkiyi sergilemektedir. Bunu takiben, Çamlık 2011, Çağlar 2017 bir sonraki en yüksek etkiyi gösterirken, Çamlık 2020 ve son olarak da tüm kategoriler arasında en düşük etkiye sahip olan Çağlar 2014 HES gelmektedir. En yüksek etkinin hangi kategoride olduğunu görebilmek için normalizasyon ile karşılaştırma yapılarak bulgular Bölüm 4.3’de ‘Normalizasyon’ alt başlığı altında verilmiştir.

4.2.1. Örenaltı HES

Örenaltı HES tüm kategorilerde en yüksek etkiyi göstermektedir. Malzemelerin ve süreçlerin katkılarını daha iyi anlamak için, aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi Örenaltı HES için bir karakterizasyon analizi yapılmıştır.

Çizelge 4.9. Bileşenlere göre Örenaltı HES-karakterizasyon analiz sonuçları

Etki kategorisi	Birim	Demir	Beton	Çelik Boru
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	18093	109984	269
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	7361	82853	119
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	844	14530	13
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	2135517	41117188	54348
Ozon Tabakası incilmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	0,12	1,54	0,00
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	648382	10434748	3085
Tatlısu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	63076	131645	104
Deniz ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	53000699	650811385	315565
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eşdeğeri	37013	99784	145
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	1178	3586	23

Abiyotik kaynak tüketimi

Abiyotik Kaynak Tüketimi kategorisinde, beton üretimi ve kullanımı en yüksek etkiye sahiptir. Bunun nedeni, çimento üretimi sırasında fosil yakıtların yoğun kullanımı ile petrol ve taş kömürünün çıkarılmasıdır. İnşaat demiri bu kategoride ikinci en yüksek katkıya sahiptir. İnşaat demiri üretimi, esas olarak fosil yakıtlardan elde edilen önemli miktarda enerji gerektirmekte, bu da taş kömürü ve petrol madenciliğini Abiyotik Kaynak Tüketimi kategorisine etki eden önemli unsur haline getirmektedir. Benzer şekilde, çelik boru, bu kategoride en düşük etkiye sahip olmasına rağmen, fosil yakıtlara dayanmakta ve bu da çevre etkisine sebep olmaktadır.

Asidifikasyon

Asidifikasyon kategorisinde, beton üretimi en büyük katkıyı sağlarken, onu inşaat demiri üretimi takip etmekte, çelik boru üretimi ise en düşük etkiye sahip olmaktadır. Beton için, çimento üretimi yüksek asidifikasyon etkisinin birincil nedenidir, bunu çimento üretimi ve nakliyesi sırasında ağır makinelerde dizel yakılması takip etmektedir. İnşaat demiri üretimi söz konusu olduğunda, başlıca neden olanlar sırasıyla demir cevherinin taşınması, kok süreci ve demir sinter üretimidir. Çelik boru üretiminde ise başlıca etkenler üretim sırasında ısı

üretimi, elektrik tüketimi ve ağır makinelerde dizel yakılmasıdır.

Ötrofikasyon

Beton, tüm kategorilerde sürekli olarak en yüksek katkıyı gösterdiğinden ve inşaat demir üretimi ile çelik boru üretimi betonu takip ettiğinden, sadece bu üç malzemeyle ilgili süreçler ele alınacaktır. Beton için, ana katkı sağlayıcılar taş kömürü madenciliğinden gelen döküntü, ağır makinelerde yakılan dizel ve klinker üretimidir. İnşaat demiri söz konusu olduğunda, başlıca neden olanlar taş kömürü madenciliğinden gelen atıklar, bazik oksijen fırın cürufunun işlenmesi ve linyit madenciliğinden gelen atıklardır. Çelik boru üretimi için, başlıca neden olanlar taş kömürü madenciliğinden gelen atıklar, linyit madenciliğinden gelen atıklar ve nikel cürufunun işlenmesidir.

Küresel ısınma

Beton için, neden olanlar CO₂ gaz salımına neden olan klinker üretim işlemi, ardından ağır makinelerde yakılan dizel ve nakliye sürecidir. İnşaat demiri üretiminde, başlıca etkide bulunanlar pik demir üretimi, demir sinter üretimi ve taş kömürü madenciliği işlemleridir. Çelik boru üretiminde ise başlıca etkenler ısı üretimi, ferrokrom üretimi ve taş kömürü madenciliğidir.

Ozon tabakası incilmesi

Ozon Tabakasının İncelmesi kategorisinde, beton üretiminden kaynaklanan ana etkenler petrol üretimi ve doğal gaz çıkarımıdır. İnşaat demiri için, başlıca etkide bulunanlar kok süreci, petrol üretimi ve nakliye sürecidir. Çelik boru üretimi ile ilgili olarak, ana etkiye sahip olanlar sırasıyla petrol üretimi, kok prosesi ve doğal gaz üretimidir.

İnsan sağlığı toksisitesi

Beton açısından, ana etkide bulunanlar sırasıyla atık odun arıtımı, bakır konsantresinin eritilmesi ve madeni atıkların arıtılmasıdır. İnşaat demiri için, başlıca etki edenler sırasıyla bazik oksijen fırını cürufunun işlenmesi, koklaştırma işlemi ve taş kömürü madenciliği işlemleridir. Çelik boru üretimi açısından, başlıca etki edenler sırasıyla ferrokrom üretimi,

ferronikel üretimi ve nikel izabe cürufunun işlenmesidir.

Tatlısu ekotoksitesitesi

Beton açısından, ana etkiye sebep olanlar sırasıyla bazik oksijen fırını cürufunun işlenmesi, taş kömürü madenciliğinden elde edilen atık ve madeni atıkların işlenmesidir. İnşaat demiri için, başlıca etki sırasıyla bazik oksijen fırını cürufunun işlenmesi, nikel izabe cürufunun işlenmesi ve taş kömürü madenciliği atıklarıdır. Son olarak, çelik boru üretimi açısından, ana etki sırasıyla nikel izabe cürufunun işlenmesi, elektrik ark ocağı cürufunun işlenmesi ve taş kömürü madenciliğinden kaynaklanan atıklardır.

Deniz ekotoksitesitesi

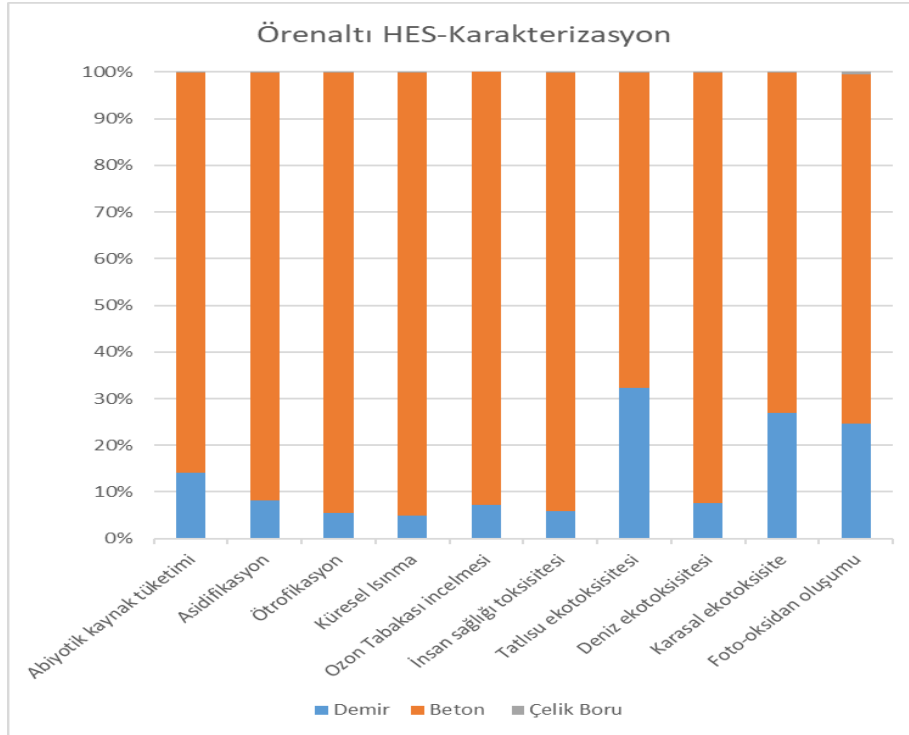
Beton açısından, ana etkide bulunanlar sırasıyla bazik oksijen fırını cürufunun işlenmesi, taş kömürü madenciliğinden elde edilen atık ve madeni atıkların işlenmesidir. İnşaat demiri için, başlıca etkide bulunanlar sırasıyla bazik oksijen fırını cürufunun işlenmesi, nikel izabe cürufunun işlenmesi ve taş kömürü madenciliği atıklarıdır. Son olarak, çelik boru üretimi açısından, ana nedenleri sırasıyla nikel izabe cürufunun işlenmesi, elektrik ark ocağı cürufunun işlenmesi ve taş kömürü madenciliğinden kaynaklanan atıklardır.

Karasal ekotoksitesite

Beton açısından, ana etki sebepleri sırasıyla klinker üretimi, bakır konsantresinin eritilmesi ve dizel üretimidir. İnşaat demiri açısından, başlıca etki edenler sırasıyla düşük alaşımlı çelik üretimi, ferronikel üretimi ve elektrik üretimidir. Son olarak, çelik boru üretimi açısından, ana etkiye sebep olanlar sırasıyla ferrokrom üretimi, ferronikel üretimi ve ısı üretimidir.

Foto-oksidan oluşumu

Beton üretiminde, üç ana etken sırasıyla beton malzemelerinin taşınması, klinker üretimi ve demir sinter üretimidir. İnşaat demiri için, başlıca etki edenler sırasıyla demir sinter üretimi, koklaştırma işlemi ve pik demir üretimidir. Son olarak, çelik boru üretiminde, ana etki nedenleri sırasıyla ısı üretimi, koklaştırma süreci ve taş kömürü madenciliği işlemleridir. Üç malzemenin Örenaltı HES'teki etkisini görselleştirmek için aşağıdaki şekil verilmiştir.



Şekil 4.2. Bileşenlere göre Örenaltı HES karakterizasyon analiz sonuçları

Şekil 4.2’de betonun en yüksek etkiyi yaptığı görülmektedir. Betonun en önemli etkisi %94,94 ile İklim Değişikliği üzerinde ve en az etkisi %67,57 ile Tatlısu ekotoksisitesi üzerindedir.

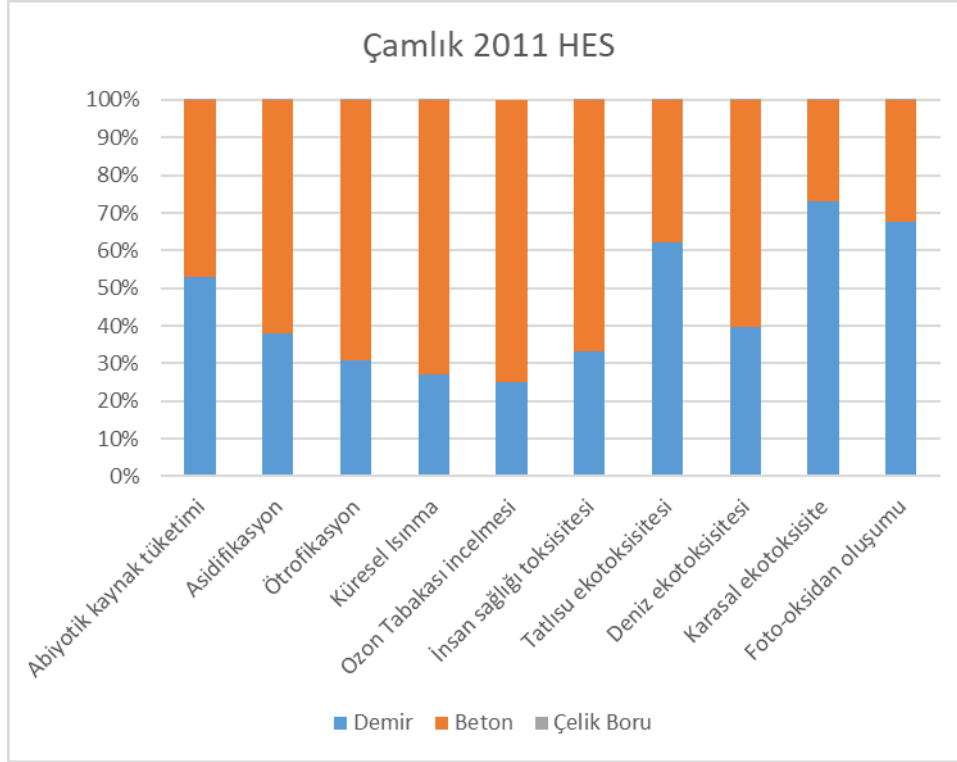
4.2.2. Çamlık HES (2011)

Çamlık 2011 HES, incelenen HES'ler arasında ikinci en yüksek çevresel etkiyi sergilemiştir (Şekil 4.1). Çamlık 2011 HES'inde beton, çelik boru ve çelik sac kıyasla daha yüksek bir miktara sahip olan ve en yoğun kullanılan malzemedir. Yapılarda (tünel betonu gibi) beton miktarına paralel inşaat demiri gerektirdiğinden, kullanılan inşaat demiri miktarı da yüksektir. Aşağıdaki tabloda Çamlık 2011 HES için kullanılan malzemelere dayalı karakterizasyon analizi sunulmaktadır.

Çizelge 4.10. Bileşenlere göre Çamlık (2011) HES-karakterizasyon analiz sonuçları - (2020 kurulu güce oranlı)

Etki kategorisi	Birim	Demir	Beton	Çelik Boru
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	4466	3958	5
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	1872	3052	2
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	236	531	0,21
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	527168	1417058	950
Ozon Tabakası incelmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	0,04	0,12	0,00
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	176230	355003	45
Tatlısu ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	12030	7322	0
Deniz ekotoksitesitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	18364212	27756691	1416
Karasal ekotoksitesite	kg 1,4-DB eşdeğeri	9078	3367	2
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	289	137	0,41

Çamlık 2011 HES kapsamında beton Asidifikasyon, Ötrofikasyon, Küresel Isınma, Ozon Tabakasının İncelmesi, İnsan Toksisitesi ve Deniz Ekotoksitesite kategorilerinde en yüksek etkiye sahiptir. Öte yandan, inşaat demiri Abiyotik Kaynak Tükenmesi, Tatlı Su Sucul Ekotoksitesite, Karasal Ekotoksitesite ve Fotokimyasal Oksidasyon kategorilerinde daha yüksek bir etki göstermektedir.



Şekil 4.3. Bileşenlere göre Çamlık (2011) HES karakterizasyon analiz sonuçları

Yukarıdaki şekle göre, Çamlık (2011) HES için çelik boru, beton ve inşaat demirine kıyasla önemli ölçüde daha düşük bir etkiye sahiptir.

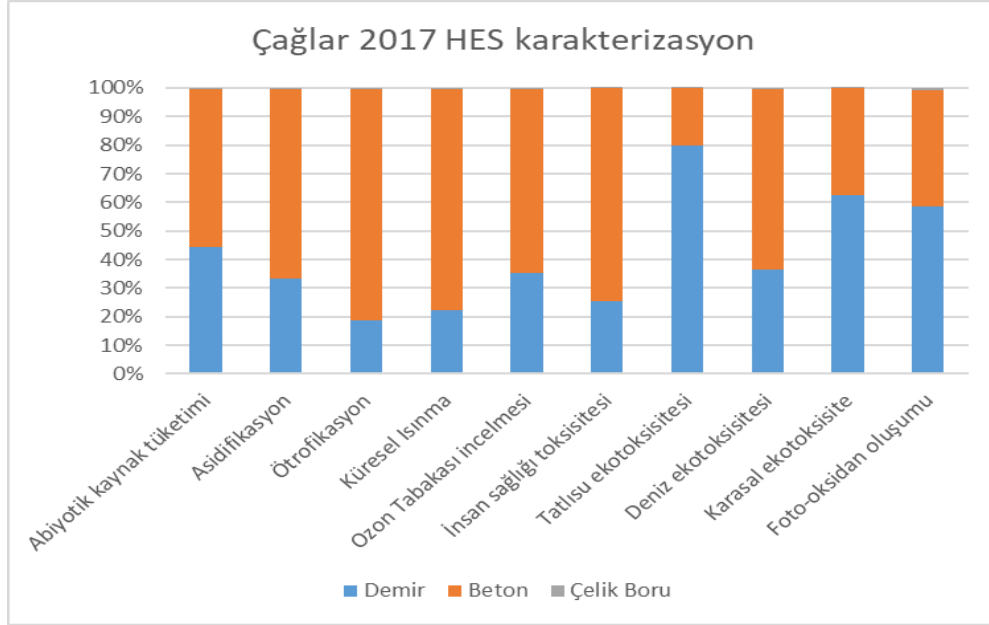
4.2.3. Çağlar HES (2017)

Çağlar 2017 HES, incelenen HES'ler arasında üçüncü en yüksek çevresel etkiyi sergilemiştir (Şekil 4.1). Aşağıdaki tablo, Çağlar 2017 HES için kullanılan malzemelere dayalı karakterizasyon analizini sunmaktadır.

Çizelge 4.11. Bileşenlere göre Çağlar (2017) HES-karakterizasyon analiz sonuçları

Etki kategorisi	Birim	Demir	Beton	Çelik Boru
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	22860	28709	205
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	11306	22504	116
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	906	3906	16
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	2862817	9869981	38496
Ozon Tabakası incilmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	0,59	1,08	0,01
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	872770	2541847	4557
Tatlısu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	264375	66880	531
Deniz ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	142989169	246081011	1506321
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eşdeğeri	39360	23573	100
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	1492	1044	17

Yukarıdaki tabloya göre, beton ve inşaat demiri üretimi tüm kategorilerde önemli katkı sağlayıcılarıdır. Özellikle beton, Abiyotik Kaynak Tükenmesi, Asidifikasyon, Ötrofikasyon, Küresel Isınma, Ozon Tabakasının İncelmesi, İnsan Toksisitesi ve Deniz Sucul Ekotoksisite kategorilerinde birincil katkı sağlayıcıdır. Öte yandan, hem inşaat demiri hem de çelik sac için çelik üretimi, Tatlı Su Sucul Ekotoksisitesi, Karasal Ekotoksisite ve Fotokimyasal Oksidasyon kategorilerinde önemli etkiye sahiptir. Kullanılan malzemeler ve üretim süreçleri tüm HES'lerde aynı olduğundan, başlıca etkiye neden olanlar Örenaltı HES'te açıklandığı gibidir. Aşağıdaki şekil her bir malzemenin her bir kategorideki payını göstermektedir.



Şekil 4.4. Bileşenlere göre Çağlar (2017) HES karakterizasyon analiz sonuçları

Yukarıdaki şekil, Çağlar HES'te beton ve inşaat demirinin çelik boruya kıyasla tüm kategorilerde en önemli etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

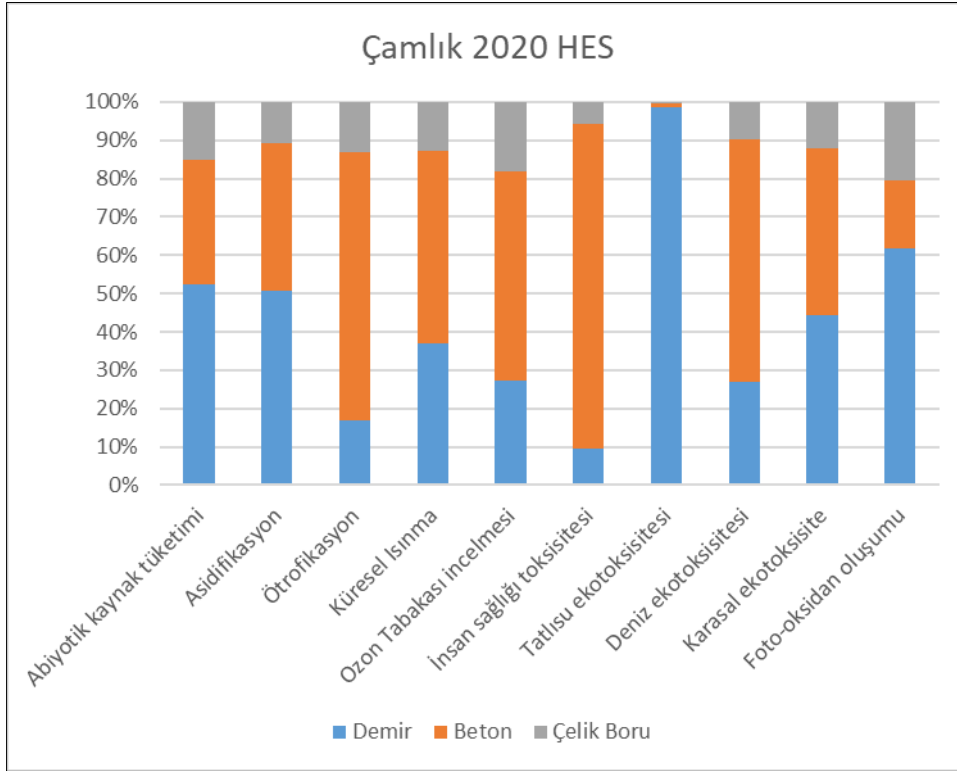
4.2.4. Çamlık HES (2020)

Çamlık 2020 HES'in yapısında büyüklüğüne göre (1,55 MW) ağırlıklı olarak beton kullanılmakta, bu da daha yüksek miktarlarda beton ve inşaat demiri kullanılmasına neden olmaktadır. Çizelge 4.12'de, Çamlık 2020 HES için kullanılan malzemelere dayalı karakterizasyon analizi sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Bileşenlere Göre Çamlık (2020) HES-Karakterizasyon analiz sonuçları

Etki kategorisi	Birim	Demir	Beton	Çelik Boru
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	2673	1669	771
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	1611	1227	344
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	85	353	66
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	501447	678520	171706
Ozon Tabakası incelmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	0,03	0,06	0,02
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	29446	265569	17713
Tatlısu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	8098	102	23
Deniz ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	7914061	18573546	2879139
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eşdeğeri	2347	2311	643
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	169	49	56

Çamlık 2020 HES kapsamında beton, Ötrofikasyon, Küresel Isınma, Ozon Tabakasının İncelmesi, İnsan Toksisitesi ve Deniz Sucul Ekotoksisite kategorilerinde en yüksek etkiye sahiptir. İnşaat demiri ise Abiyotik Kaynak Tükenmesi, Asidifikasyon, Tatlı Su Sucul Ekotoksisite, Karasal Ekotoksisite ve Fotokimyasal Oksidasyon kategorilerinde en yüksek etkiye sahiptir.



Şekil 4.5. Bileşenlere göre Çamlık (2020) HES karakterizasyon analiz sonuçları

Çelik boru, Çamlık 2020 HES kapsamındaki tüm kategorilerde gözle görülür bir etki gösterse de, beton ve donatı çeliğine kıyasla etkisi daha düşüktür

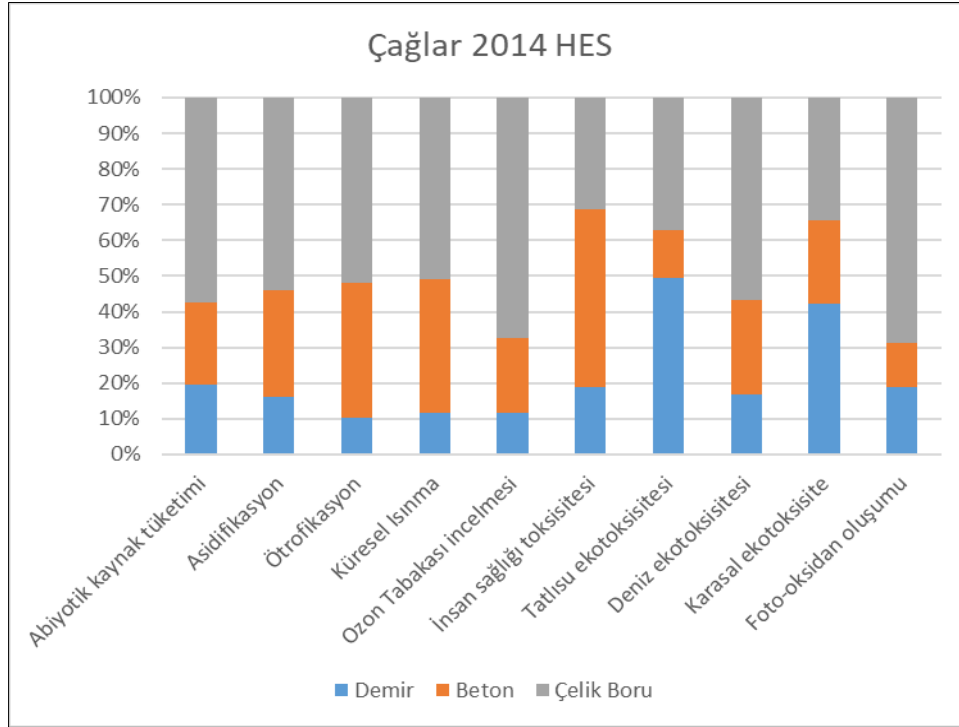
4.2.5. Çağlar HES (2014)

Çağlar 2014 HES, Çağlar 2017'ye göre daha yüksek miktarda çelik boru ve daha düşük beton miktarına sahiptir. Aşağıdaki tabloda Çağlar 2014 HES'in kullanılan malzemelere göre karakterizasyon analizi gösterilmektedir.

Çizelge 4.13. Bileşenlere göre Çağlar (2014) HES-Karakterizasyon analiz sonuçları

Etki kategorisi	Birim	Demir	Beton	Çelik Boru
Abiyotik kaynak tüketimi	kg Sb eşdeğeri	3974	4649	11596
Asidifikasyon	kg SO ₂ eşdeğeri	1996	3731	6729
Ötrofikasyon	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eşdeğeri	181	655	907
Küresel Isınma	kg CO ₂ eşdeğeri	486807	1575121	2138144
Ozon Tabakası incilmesi	kg CFC-11 eşdeğeri	0,11	0,20	0,64
İnsan sağlığı toksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	157630	420582	262450
Tatlısu ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	42797	11578	32032
Deniz ekotoksisitesi	kg 1,4-DB eşdeğeri	28423623	45226215	96350161
Karasal ekotoksisite	kg 1,4-DB eşdeğeri	6836	3751	5560
Foto-oksidan oluşumu	kg C ₂ H ₄ eşdeğeri	258	168	930

Önceki HES'lere (Örenaltı, Çamlık 2011, Çağlar 2017) benzer şekilde, Çağlar 2014 HES de her kategoride farklı örüntüler sergilemektedir. Abiyotik Kaynak Tükenmesi, Asidifikasyon, Ötrofikasyon, Küresel Isınma, Ozon Tabakasının İncelmesi, Deniz Sucul Ekotoksisite ve Fotokimyasal Oksidasyon kategorilerinde çelik boru üretimi en yüksek katkıya sahiptir. Buna karşılık, inşaat demiri ve çelik boru Tatlı Su Sucul Ekotoksisite ve Karasal Ekotoksisite kategorilerinde en yüksek etkiye sahiptir. Son olarak, İnsan Toksisitesi kategorisinde beton en yüksek etkiyi göstermektedir. Aşağıdaki şekil bu etkileri göstermektedir.



Şekil 4.6. Bileşenlere göre Çağlar (2014) HES karakterizasyon analiz sonuçları

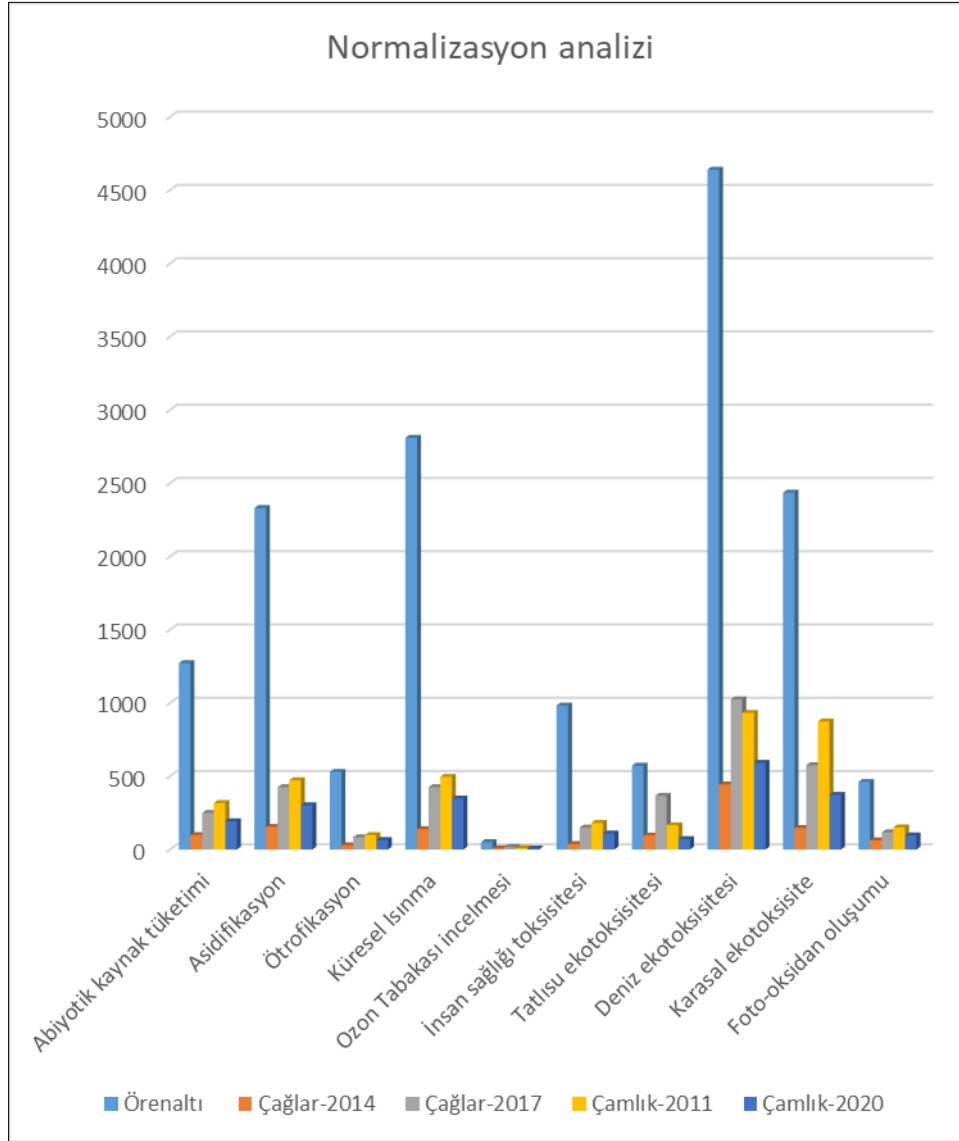
4.3. Normalizasyon Analizleri

Karakterizasyon analizine dayanarak, her etki kategorisi için niceliksel değeri ölçmek mümkündür. Ancak, kullanılan birimlerdeki farklılıklar nedeniyle kategoriler arasında doğrudan karşılaştırma yapmak zordur. Bu nedenle, farklı etki kategorilerinin büyüklüklerini birbirlerine göre karşılaştırmak için normalizasyon analizi yapılır. Aşağıdaki tabloda tüm HES'ler için normalizasyon analizi sunulmaktadır.

Çizelge 4.14. 1 MW işlevsel birime göre Normalizasyon analizi ($\times 10E8$)

Etki kategorisi	Örenaltı	Çağlar-2014	Çağlar-2017	Çamlık-2011	Çamlık-2020
Abiyotik kaynak tüketimi	1272	99	250	317	193
Asidifikasyon	2330	155	425	472	302
Ötrofikasyon	530	29	83	98	64
Küresel Isınma	2809	139	425	496	347
Ozon Tabakası incelmesi	50	8	17	10	6
İnsan sağlığı toksisitesi	982	37	150	182	109
Tatlısu ekotoksisitesi	572	96	367	166	71
Deniz ekotoksisitesi	4639	444	1.025	932	592
Karasal ekotoksisite	2435	147	575	873	373
Foto-oksidan oluşumu	461	62	117	151	97

Yukarıdaki tabloya göre, ‘deniz ekotoksitesi’ kategorisi incelenen tüm HES'ler arasında en yüksek çevresel yükü sergilerken, ‘ozon tabakasının incelmesi’ kategorisi sürekli olarak en az etkiyi göstermektedir.



Şekil 4.7. Normalizasyon analiz sonuçları 1 MW kurulu güce göre

Şekil 4.7de gösterildiği gibi, farklı HES'ler her kategoride farklı örüntüler sergilemektedir. Ancak, Örenaltı HES dışındaki tüm HES'ler tüm kategorilerde benzer bir eğilim izlemektedir.

Aşağıdaki Çizelge 4.15’de bütün HES’ler ve farklı senaryolar için en yüksek çevresel etkinin hangi kategori(ler)de olduğu ve bu etkinin kaynakları özetlenmiştir.

Çizelge 4.15. Farklı senaryolar için en yüksek çevresel etkinin hangi kategori(ler)de olduğu ve bu etkinin kaynakları

	Örenaltı		Çağlar (2014)		Çağlar (2017)		Çamlık (2011)		Çamlık (2020)	
Çevresel etkinin en fazla olduğu <u>ilk</u> kategori -yüzdesi	Deniz ekotoksitesitesi		Deniz ekotoksitesitesi		Deniz ekotoksitesitesi		Deniz ekotoksitesitesi		Deniz ekotoksitesitesi	
Bu etkinin en önemli kaynağı ve yüzdesi	Beton	% 92,43	Beton	% 26,60	Beton	%63,00	Beton	%60,18	Beton	% 74,71
	Demir	% 7,53	Demir	% 16,72	Demir	%36,61	Demir	%39,82	Demir	% 8,91
	Çelik Boru	% 0,04	Çelik Boru	% 56,68	Çelik Boru	% 0,39	Çelik Boru	% 0,00	Çelik Boru	% 16,38
Çevresel etkinin en fazla olduğu <u>ikinci</u> kategori -yüzdesi	Küresel Isınma		Asidifikasyon		Karasal ekotoksitesite		Karasal ekotoksitesite		Karasal ekotoksitesite	
Bu etkinin en önemli kaynağı ve yüzdesi	Beton	% 94,94	Beton	% 29,95	Beton	% 37,40	Beton	% 27,05	Beton	% 57,22
	Demir	% 4,93	Demir	% 16,03	Demir	% 62,44	Demir	% 72,93	Demir	% 17,55
	Çelik Boru	% 0,13	Çelik Boru	% 54,02	Çelik Boru	% 0,16	Çelik Boru	% 0,02	Çelik Boru	% 25,23

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi deniz ekotoksitesitesi ve karasal ekotoksitesite en önemli iki etki kategorisi olarak görülmektedir. Küresel ısınma ve asidifikasyon da diğer etki kategorileri olarak ön plana çıkmaktadır. Seçilen inşaat yöntemine ve buna bağlı olarak kullanılan malzemelerin miktarlarına göre kategoriler üzerinde farklı oranlardaki etkileri açıkça görülmektedir. Deniz ekotoksitesitesi kategorisi, ham petrol üretiminden kaynaklanan

beton ve çelik üretimi sırasındaki yüksek enerji tüketimi nedeniyle analiz edilen tüm HES'ler arasında en yüksek çevresel yükü sergilemiştir. Karasal ekotoksisite, açık deniz ham petrol ve taş kömürü çıkarımı nedeniyle HES'lerin çevre etkisinde deniz ekotoksitesitesi ile birlikte ön plana çıkmaktadır.

4.4. Kg CO₂ Eşdeğeri Üzerinden Çevresel Maliyet Hesabı

Karakterizasyon analizi ile örnek HES'lerin inşaat aşamasında kullanılan ana malzemeler ve taşımalarına karşılık yaşam döngüsü analizi ile eşdeğer CO₂ emisyonları elde edilmiştir. Elde edilen CO₂ emisyonlarının miktarını ekonomik olarak ifade edebilmek için çeşitli yöntemler vardır. Küresel ısınma etki kategorisini parasallaştırmak için ülkemize özgü değerler mevcut olduğundan, parasallaştırma özellikle bu çevresel etki kategorisi için yapılmıştır. Çizelge 3.1'de yer alan tabloya göre hesaplanan CO₂ emisyonundan dolayı oluşan çevresel maliyetler seçilen senaryolar için aşağıda hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16. CO₂ Maliyet hesapları

HES	CO ₂ Miktarı (kg)	Çevresel Maliyet USD/ton	Çevresel Maliyet-USD	Yatırım Maliyeti -USD	Oran (Çevresel Maliyet/Yatırım Maliyeti)
Örenaltı	44.340.755,29	41,22	1827725,93	26228249,13	6,97%
Çağlar 2014	4.200.073,05	41,22	173127,01	17999754,31	0,96%
Çağlar 2017	12.771.295,30	41,22	526432,79	18099.635,50	2,91%
Çamlık 2011 (2020 Kurulu Güce Oranlı)	1.959.241,09	41,22	80759,92	3627873,83	2,23%
Çamlık 2020	1.351.674,39	41,22	55716,02	2357799,58	2,36%

Çizelge 4.16 incelendiğinde, Örenaltı HES için bulunan çevresel maliyet, yatırım maliyetine göre örnek senaryolar içerisinde en yüksek oranda ortaya çıkarmaktadır. Çağlar (2014) HES için çevresel maliyetin yatırım maliyetine oranının %0,96'dan Çağlar (2017) HES tasarımında %2,91'e çıktığı görülmektedir. Burada Çağlar HES için iletim sistemi olarak çelik boruda tünele geçiş beton miktarını ve karbon gaz salım miktarını arttırarak oransal olarak çevresel maliyetin yatırım maliyetine göre artışa sebep olduğunu göstermektedir. Çamlık 2011 HES için Çamlık 2020 HES'in aynı kurulu güce çevrilerek yapılan hesabında çevresel maliyet 2020 yılındaki tasarımda düşse de, çevresel maliyetin yatırım maliyetine oranı %2,23'den %2,36'ya çıktığı görülmektedir. İlk durumdaki tünel ve yüksek beton kullanımına göre ikinci durumdaki çelik boru kullanımı MW başına salınan karbon miktarını düşürse de hesaplanan çevresel maliyetin yatırım maliyetine oranı artmıştır. Bu durum küçük

HES yapmanın yatırım boyutunun küçüklüğünün çevresel maliyete daha duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır.

4.5. Çevresel Maliyet (CO₂) İlave Edilerek Bulunan Yeni İç Verim Oranları

Yukarıda hesaplanan CO₂ gaz salım miktarına karşılık gelen çevresel maliyet hesaplamalarının projenin yatırım kararının ekonomik ölçütü olan iç verim oranına olan etkisi EK-12'deki gibi hesaplanmıştır ve çıkan sonuçlar aşağıdaki tablodaki gibidir.

Çizelge 4.17. İncelenen örnek HES projelerinin yeni iç verim oranı

İncelenen HES	İç Verim Oranı-Çevresel Maliyet Hariç	İç Verim Oranı Çevresel maliyet Dahil (CO ₂)
Örenaltı HES	0,77%	0,46%
Çağlar HES-2014	7,87%	7,79%
Çağlar HES-2017	7,80%	7,55%
Çamlık HES-2011	6,06%	5,90%
Çamlık HES-2020	10,57%	10,32%

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere iç verim oranı %0,77 gibi düşük bir oran olan Örenaltı HES'in iç verim oranı %0,46'ya düşmüştür. Bu durum zaten yatırım değeri düşük olan projenin neredeyse yatırım değerinin çok düşük olduğunu göstermektedir. Çağlar HES ve Çamlık HES için çevresel maliyet (sadece CO₂ gaz salım değerine bağlı hesaplanan) yatırım maliyetine ilave edilerek bulunan yeni maliyete göre iç verim oranları çeşitli oranlarda düşmektedir.

Çalışma, seçilen HES örneklerine dayalı bir maliyet analizini, mevcut koşullar altında iç getiri oranı hesaplamalarını, inşaat aşamasında kullanılan malzemelerden kaynaklanan çevresel etkilerin yaşam döngüsü analizini, çevresel maliyet tahminini (CO₂ emisyonlarına dayalı) ve eklenen çevresel maliyetleri içeren yeniden hesaplanmış iç verim oranını (IRR) kapsamaktadır. Bu kapsamlı yaklaşım, HES projelerinin finansal ve çevresel etkilerinin detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Yukarıda bahsedilen analizler sonucunda elde edilen bulgulara ilişkin genel tartışma aşağıda sunulmaktadır.

4.5.1. Örenaltı HES

6,25 MW kurulu güce sahip olarak tasarlanan Örenaltı HES 2.840 metre uzunluğunda 3 m çapında modifiye atnalı tünel şeklindeki iletim hattıyla yapılması planlanmıştır.

Çizelge 4.18. Bileşenlere göre Örenaltı HES çevresel etkiler

Etki Kategorisi	Örenaltı HES-BA Demir	Örenaltı HES Beton	Örenaltı HES Çelik Boru
Abiyotik kaynak tüketimi	0,00001058437	0,00006434092	0,00000015760
Asidifikasyon	0,00001096774	0,00012345091	0,00000017698
Ötrofikasyon	0,00000167968	0,00002891371	0,00000002624
Küresel Isınma (GWP100)	0,00000845665	0,00016282407	0,00000021522
Ozon Tabakası incilmesi (ODP)	0,00000012131	0,00000157004	0,00000000175
İnsan sağlığı toksisitesi	0,00000344939	0,00005551286	0,00000001641
Tatlısu ekotoksitesitesi	0,00000838906	0,00001750878	0,00000001389
Deniz ekotoksitesitesi	0,00001664222	0,00020435478	0,00000009909
Karasal ekotoksitesitesi	0,00004034417	0,00010876480	0,00000015829
Foto-oksidan oluşumu	0,00000646475	0,00001968695	0,00000012750
	11,97%	87,92%	0,11%

Metodoloji bölümünde de paylaşılan yaşam döngüsü analizinin çevre etkilerinin kıyaslanabilir olduğu normalizasyon değerlendirmesinde görüldüğü üzere inşaat esnasında kullanılan sırasıyla beton (%87,92) ve demir (%11,97) en yüksek çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu etki CO₂ gaz salım değeri üzerinden çevresel maliyete dönüştürülmüş ve projenin bu maliyet ilave edilerek bulunan iç verim oranı çevresel etki dikkate alınmadan bulunan iç verim oranı ile karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.19. Örenaltı HES iç verim oranı

Kurulu Güç (MW)	Yatırım Maliyeti-USD	CO ₂ -ton	Yatırım Maliyet (CO ₂ Maliyet Dahil)	İç Verim Oranı-Çevre Hariç	İç Verim Oranı Çevre Dahil (CO ₂)	CO ₂ Çevresel Etkinin Toplam Çevresel Etkiye Oranı-Normalizasyon
6,25	26228249,13	44340,76	28055975,06	0,77%	0,46%	17,47%

Çizelge 4.19'de görüldüğü üzere çevresel maliyet dikkate alınmadığı halde dahi iç verim oranı düşük (%0,77) olan Örenaltı HES çevresel maliyet, CO₂ gaz salımı üzerinden ilave edildiğinde iç verim oranı daha da düşmektedir (%0,46). Yüksek miktarda beton kullanımı bu değişimdeki ana etken olarak ön plana çıkmaktadır. Ayrıca normalizasyon ile CO₂ küresel ısınma etkisi toplam etki oranı yaşam döngüsü analizi ile Simapro yardımıyla %

17,47 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla tüm çevresel etkiler maliyete dönüştürüldüğünde projenin yatırım değerinin daha da düşeceği açıktır.

4.5.2. Çağlar HES (2014-2017)

2014 yılında 12 MW kurulu güce sahip olarak tasarlanan Çağlar HES 4.100 metre uzunluğunda 1,1 m çapında çelik boru şeklindeki iletim hattıyla yapılması planlanmıştır.

Çizelge 4.20. Bileşenlere göre Çağlar 2014 HES çevresel etkiler

Etki Kategorisi	Çağlar HES BA Demir-2014	Çağlar HES Beton-2014	Çağlar HES Çelik Boru-2014
Abiyotik kaynak tüketimi	0,00000223711	0,00000261648	0,00000652640
Asidifikasyon	0,00000279249	0,00000521850	0,00000941096
Ötrofikasyon	0,00000033532	0,00000121355	0,00000168080
Küresel Isınma (GWP100)	0,00000187905	0,00000607989	0,00000825313
Ozon Tabakası incilmesi (ODP)	0,00000009712	0,00000016636	0,00000054942
İnsan sağlığı toksisitesi	0,00000080568	0,00000214968	0,00000134143
Tatlısu ekotoksitesitesi	0,00000507382	0,00000137272	0,00000379757
Deniz ekotoksitesitesi	0,00000785990	0,00001250628	0,00002664344
Karasal ekotoksitesitesi	0,00000742872	0,00000407610	0,00000604177
Foto-oksidan oluşumu	0,00000136306	0,00000089132	0,00000492707
	22,07%	26,82%	51,11%

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere inşaat esnasında kullanılan sırasıyla çelik boru (%51), beton (%27) ve demir (%22) yüzdesel olarak belirtilen çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu etki CO₂ gaz salım değeri üzerinden çevresel maliyete dönüştürülmüş ve projenin bu maliyet ilave edilerek bulunan iç verim oranı çevresel etki dikkate alınmadan bulunan iç verim oranı ile karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.21. Çağlar 2014 HES iç verim oranı

Kurulu Güç (MW)	Yatırım Maliyeti-USD	CO ₂ -ton	Yatırım Maliyet (CO ₂ Maliyet Dahil)	İç Verim Oranı-Çevre Hariç	İç Verim Oranı Çevre Dahil (CO ₂)	CO ₂ Çevresel Etkinin Toplam Çevresel Etkiye Oranı-Normalizasyon
12,00	17999754,31	4200,07	1817.881,32	7,87%	7,79%	11,41%

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere çevresel maliyet dikkate alınmadığı halde iç verim oranı %7,87 olan Çağlar HES (2014) çevresel maliyet CO₂ gaz salımı üzerinden ilave edildiğinde iç verim oranı %7,79'a düşmektedir. Ayrıca normalizasyon ile CO₂ küresel ısınma etkisi toplam etki oranı yaşam döngüsü analizi ile Simapro yardımıyla % 11,41 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla tüm çevresel etkiler maliyete dönüştürüldüğünde projenin yatırım değerinin daha da düşeceği açıktır.

2014 yılında yukarıdaki şekilde çelik boru iletim hattıyla tasarım yapılan Çağlar HES, halkın tepkisinden dolayı 2017 yılında tünel iletim hattıyla çözülmeye çalışılmıştır. Bu durum yaşam döngüsü analiziyle irdelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Çizelge 4.22. Bileşenlere göre Çağlar 2017 HES çevresel etkiler

Etki Kategorisi	Çağlar HES-BA Demir-2017	Çağlar HES Beton-2017	Çağlar HES Çelik Boru-2017
Abiyotik kaynak tüketimi	1,34128E-05	1,68445E-05	1,20724E-07
Asidifikasyon	1,68783E-05	3,3596E-05	1,74082E-07
Ötrofikasyon	1,81275E-06	7,81269E-06	3,1091E-08
Küresel Isınma (GWP100)	1,13531E-05	3,91414E-05	1,52664E-07
Ozon Tabakası incilmesi (ODP)	5,81127E-07	1,07099E-06	1,0163E-08
İnsan sağlığı toksisitesi	4,75188E-06	1,38393E-05	2,48135E-08
Tatlısu ekotoksitesitesi	3,49337E-05	8,83737E-06	7,02466E-08
Deniz ekotoksitesitesi	4,67837E-05	8,05137E-05	4,92844E-07
Karasal ekotoksitesitesi	4,38156E-05	2,62413E-05	1,11759E-07
Foto-oksidan oluşumu	8,19517E-06	5,73818E-06	9,11398E-08
TOPLAM	0,00018251816	0,00023363547	0,00000127953
	43,72%	55,97%	0,31%

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere inşaat esnasında kullanılan sırasıyla beton (%56) ve demir (%44) yüzdesel olarak belirtilen çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu etki CO₂ gaz salım değeri üzerinden çevresel maliyete dönüştürülmüş ve projenin bu maliyet ilave

edilerek bulunan iç verim oranı çevresel etki dikkate alınmadan bulunan iç verim oranı ile karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.23. Çağlar 2017 HES iç verim oranı

Kurulu Güç (MW)	Yatırım Maliyeti-USD	CO ₂ -ton	Yatırım Maliyet (CO ₂ Maliyet Dahil)	İç Verim Oranı-Çevre Hariç	İç Verim Oranı Çevre Dahil (CO ₂)	CO ₂ Çevresel Etkinin Toplam Çevresel Etkiye Oranı-Normalizasyon
12,00	18.099.635,50	12771,30	18626068,29	7,80%	7,55%	12,32%

Tabloda görüldüğü üzere çevresel maliyet dikkate alınmadığı halde iç verim oranı %7,80 olan Çağlar HES (2017) çevresel maliyet CO₂ gaz salımı üzerinden ilave edildiğinde iç verim oranı %7,55'e düşmektedir. Ayrıca normalizasyon ile CO₂ küresel ısınma etkisi toplam etki oranı yaşam döngüsü analizi ile Simapro yardımıyla % 12,32 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla tüm çevresel etkiler maliyete dönüştürüldüğünde projenin yatırım değerinin daha da düşeceği açıktır.

Yukarıdaki 2014 ve 2017 keşiflerinin yaşam döngüsü analiziyle değerlendirmesinde aynı kurulu güç için (12 MW) ilk durumda (2014) 4200,07 ton CO₂, son durumda (2017) 12.771,30 ton CO₂ gazı ortaya çıkmaktadır ve bu yapılan planlamanın projenin çevre açısından daha olumsuz bir duruma dönüştüğünün göstergesidir.

4.5.3. Çamlık HES (2011-2020)

2011 yılında 9,83 MW kurulu güce sahip olarak tasarlanan Çamlık HES 3.640 metre uzunluğunda 4 m çapında tünel şeklindeki iletim hattıyla yapılması planlanmıştır.

Çizelge 4.24. Bileşenlere göre Çamlık 2011 HES çevresel etkiler

Etki Kategorisi	ÇAMLIK HES-BA Demir-2011	ÇAMLIK HES Beton-2011	ÇAMLIK HES Çelik Boru-2011
Abiyotik kaynak tüketimi	0,00000002829	0,00000002507	0,00000000003
Asidifikasyon	0,00000000578	0,00000000943	0,00000000001
Ötrofikasyon	0,00000000178	0,00000000401	0,00000000000
Küresel Isınma (GWP100)	0,00000001198	0,00000003221	0,00000000002
Ozon Tabakası incilmesi (ODP)	0,00000000003	0,00000000009	0,00000000000
İnsan sağlığı toksisitesi	0,00000000304	0,00000000613	0,00000000000
Tatlısu ekotoksitesitesi	0,00000000562	0,00000000342	0,00000000000
Deniz ekotoksitesitesi	0,00000002599	0,00000003929	0,00000000000
Karasal ekotoksitesitesi	0,00000003525	0,00000001307	0,00000000001
Foto-oksidan oluşumu	0,00000000276	0,00000000132	0,00000000000
	47,33%	52,64%	0,03%

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere inşaat esnasında kullanılan sırasıyla, beton (%52,64), demir (%47,33) ve çelik boru (%0,03) yüzdesel olarak belirtilen çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu etki CO₂ gaz salım değeri üzerinden çevresel maliyete dönüştürülmüş ve projenin bu maliyet ilave edilerek bulunan iç verim oranı çevresel etki dikkate alınmadan bulunan iç verim oranı ile karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.25. Çamlık 2011 HES iç verim oranı

Kurulu Güç (MW)	Yatırım Maliyeti- USD	CO ₂ -ton	Yatırım Maliyet (CO ₂ Maliyet Dahil)	İç Verim Oranı- Çevre Hariç	İç Verim Oranı Çevre Dahil (CO ₂)	CO ₂ Çevresel Etkinin Toplam Çevresel Etkiye Oranı- Normalizasyon
9,83	22961226,78	12311,24	23472365,51	6,06%	5,90%	13,41%

Tabloda görüldüğü üzere çevresel maliyet dikkate alınmadığı halde iç verim oranı %6,06 olan Çamlık HES (2011) çevresel maliyet CO₂ gaz salımı üzerinden ilave edildiğinde iç verim oranı %5,90'a düşmektedir. Ayrıca normalizasyon ile CO₂ küresel ısınma etkisinin toplam etkiye oranı yaşam döngüsü analizi ile Simapro yardımıyla % 13,41 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla tüm çevresel etkiler maliyete dönüştürüldüğünde projenin yatırım değerinin daha da düşeceği açıktır.

2011 yılında yukarıdaki şekilde tünel iletim hattıyla 9,83 MW kurulu gücüyle tasarım yapılan Çamlık HES, çevresel etki sebebi ile yol yapımı, yerleşim yerinin içinden geçmesi

ve dere yatağı probleminden dolayı 2020 yılında daha kısa (510 metre) çelik boru hatla ve daha düşük kurulu güçle (1,554 MW) yeniden tasarlanmıştır. Bu durum yaşam döngüsü analiziyle irdelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Çizelge 4.26. Bileşenlere göre Çamlık 2020 HES çevresel etkiler

Etki Kategorisi	ÇAMLIK HES BA Demir-2020	ÇAMLIK HES Beton-2020	ÇAMLIK HES Çelik Boru-2020
Abiyotik kaynak tüketimi	0,00000028813	0,00000178747	0,00000092440
Asidifikasyon	0,00000030982	0,00000331603	0,00000107415
Ötrofikasyon	0,00000006009	0,00000076459	0,00000017532
Küresel Isınma (GWP100)	0,00000024578	0,00000401054	0,00000114368
Ozon Tabakası incilmesi (ODP)	0,00000000539	0,00000007317	0,00000002144
İnsan sağlığı toksisitesi	0,00000011414	0,00000141332	0,00000017254
Tatlısu ekotoksitesitesi	0,00000013914	0,00000073030	0,00000023056
Deniz ekotoksitesitesi	0,00000082016	0,00000687317	0,00000150667
Karasal ekotoksitesitesi	0,00000101777	0,00000331867	0,00000146356
Foto-oksidan oluşumu	0,00000016839	0,00000063538	0,00000069623
	9,46%	68,43%	22,12%

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere inşaat esnasında kullanılan sırasıyla demir (%9,46), beton (%68,43) ve çelik boru (%22,12) yüzdesel olarak belirtilen çevresel etkiye neden olmaktadır. Bu etki CO₂ gaz salım değeri üzerinden çevresel maliyete dönüştürülmüş ve projenin bu maliyet ilave edilerek bulunan iç verim oranı çevresel etki dikkate alınmadan bulunan iç verim oranı ile karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.27. Çamlık 2020 HES iç verim oranı

Kurulu Güç (MW)	Yatırım Maliyeti-USD	CO ₂ -ton	Yatırım Maliyet (CO ₂ Maliyet Dahil)	İç Verim Oranı-Çevre Hariç	İç Verim Oranı Çevre Dahil (CO ₂)	CO ₂ Çevresel Etkinin Toplam Çevresel Etkiye Oranı-Normalizasyon
1,55	2357799,58	1351,67	2413515,60	10,57%	10,32%	16,88%

Yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere çevresel maliyet dikkate alınmadığı halde iç verim oranı %10,57 olan Çamlık HES (2020) çevresel maliyet CO₂ gaz salımı üzerinden ilave edildiğinde iç verim oranı %10,32'ye düşmektedir. Ayrıca normalizasyon ile CO₂ küresel ısınma etkisi toplam etki oranı yaşam döngüsü analizi ile Simapro yardımıyla % 16,88 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla tüm çevresel etkiler maliyete dönüştürüldüğünde projenin yatırım değerinin daha da düşeceği açıktır.

Yukarıdaki 2011 ve 2020 keşiflerinin yaşam döngüsü analiziyle değerlendirmesinde ilk durumda 2011 yılında 9,83 MW kurulu güç için 12.311,24 ton CO₂, son durumda (2020) 1,55 MW kurulu güç için 1.351,67 ton CO₂ gazı ortaya çıkmaktadır. Karşılaştırılabilir olması adına 1 MW için 2011 yılında 1.252,16 ton CO₂, 2020 yılında 869,80 ton CO₂ gazı ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar yapılan planlamanın projenin çevre açısından daha olumlu bir duruma dönüştüğünün göstergesidir.

4.6. Genel Tartışma

YDA, farklı hidroelektrik santralleri senaryoları için CO₂ emisyonları arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Örenaltı HES, yoğun beton kullanımı nedeniyle en yüksek toplam CO₂ emisyonlarını sergilemiştir. Bu bulgu, yüksek karbonlu malzemelerin büyük ölçekli kullanımıyla ilişkili çevresel etkinin büyüklüğünü göstermektedir. Birim enerji üretimi başına CO₂ emisyonlarının normalleştirilmesi, Örenaltı'nın diğer santrallere kıyasla kWh başına çok daha yüksek emisyonlara sahip olduğunu ortaya koymuş ve bu durum, santralin çevresel anlamda yarattığı olumsuz etkiyi ortaya koymuştur.

Çağlar HES örneği ise ilginç bir paradoks yaratmaktadır. Çelik borudan beton tünele geçiş, halkın dile getirdiği çevresel kaygıları gidermek amacıyla yapılmıştı. Ancak bu değişiklik, CO₂ emisyonlarında 2014 yılında MW başına 350,01 tondan 2017 yılında MW başına 1.064,27 tona belirgin bir artışa neden olmuştur. Bu sonuç, iyi niyetli değişikliklerin bazen istenmeyen olumsuz çevresel sonuçlara yol açabileceğini göstermektedir. Emisyonlardaki bu artış, beton üretiminin daha yüksek karbon ayak izine ve tünel inşaatında kullanılan enerji yoğun süreçlere bağlanabilir.

Çamlık HES projesindeki değişiklikler de çevresel etkileri azaltmayı hedeflemiştir. Kurulu kapasitenin 9,83 MW'tan 1,55 MW'a düşürülmesi ve geniş tünelin daha kısa bir çelik boru ile değiştirilmesi sayesinde proje MW başına CO₂ emisyonlarını azaltmayı başarmıştır. Ancak, bu durum toplam yatırımın yüzdesi olarak çevresel maliyetin artmasına yol açmış, bu da daha küçük, çevre dostu tesislerin inşasının yatırımının küçüklüğünden ötürü oransal olarak çevresel maliyete duyarlılığını yansıtmıştır. Bu bulgu, hidroelektrik santrallerin inşaatında çevresel etki ile finansal maliyetler arasında karmaşık bir dengenin olduğunu ve bunun daha detaylı bir araştırmaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.28 incelenen HES projeleri için yaşam döngüsü analizi ile bulunan CO₂ gaz salım değerlerini 1 MW kurulu güce orantılı olarak ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.28. İncelenen örnek HES Projelerinin CO₂ Gaz salım değerleri karşılaştırma

	ÖRENALTI	ÇAĞLAR- 2014	ÇAĞLAR- 2017	ÇAMLIK- 2011	ÇAMLIK- 2020
Kurulu Güç- MW	6,25	12,00	12,00	9,83	1,55
ton CO ₂ -eşd.	44340,76	4200,07	12771,30	12311,24	1351,67
ton CO ₂ - eşd./Kurulu Güç MW	<u>7094,52</u>	<u>350,01</u>	<u>1064,27</u>	<u>1252,16</u>	<u>869,80</u>
Üretilen Enerji- KWh	<u>630315346</u>	<u>1214450566</u>	<u>1214450566</u>	<u>1248918306</u>	<u>199987023</u>
gr CO ₂ - eşd./Üretilen Enerji KWh	<u>35,17</u>	<u>1,73</u>	<u>5,26</u>	<u>4,93</u>	<u>3,38</u>

HES'ler için çevresel etki her bir durum için farklı olsa da, literatürde açıklandığı üzere CO₂ gaz salım değerlerinin üretilen elektrik enerjisine oranladığı g CO₂-eşd /Kwh üzerinden ulaşılan sonuçlar mevcuttur. Örneğin, Yuwen Chu , Yunlong Pan, Hongyi Zhan, Wei Cheng, Lei Huang, Zi Wu and Ling Shaom (2022) tarafından yapılan çalışmada inşaat aşaması (%34,5) çevresel etkiye neden olmaktadır. İncelenen HES için 26,06 g CO₂-eşd./kWh olarak hesaplanmıştır.

Buna karşılık bu tez kapsamında incelenen HES projeleri için bulunan gaz salım değerlerini literatür ile karşılaştırmak adına IPCC 2014'e göre seçilen elektrik tedarik teknolojilerinden yaşam döngüsü CO₂ eşdeğeri için bulunan değerler aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Enerji elde etme teknolojilerine göre kWh başına CO₂ gaz salım değerleri (gCO₂eşd./kWh)

IPCC 2014'e göre seçilen elektrik tedarik teknolojilerinden yaşam döngüsü CO ₂ eşdeğeri (gCO ₂ eşd./kWh)			
Yöntem	Minimum	Ortalama	Maksimum
Şu anda ticari olarak mevcut yöntemler			
Taşkömürü	740	820	910
Gaz – Kombine çevrim	410	490	650
Biyokütle	130	230	420
Güneş PV	18	48	180
Jeotermal	6	38	79
Hidroelektrik	1	24	2.200
Rüzgar-Açık Deniz	8	12	35
Nükleer	3,70	12	110
Rüzgar-Karada	7	11	56
Ticaret öncesi yöntemler			
Okyanus (Gelgit ve dalga)	5,60	17	28

Tez kapsamında sadece inşaat aşamasındaki etkiler gözönüne alındığında en düşük çevresel etkiye sahip olan Çağlar 2014 (1,73 gCO₂eşd./kWh) ve en yüksek çevresel etkiye sahip olan Örenaltı HES (35,17 gCO₂eşd./kWh) yukarıdaki tablodaki değer aralığıyla karşılaştırıldığında çıkan sonuçlar IPCC-2014 bulguları ile tutarlı gözükmemektedir.

Sadece inşaat aşamasındaki CO₂ gaz salım değerleri dikkate alındığında Örenaltı HES açık ara en yüksek çevresel etkiye neden olmaktadır. Sonrasında diğer HES projeleri birbiriyle karşılaştırılabilir farklarla sıralanmaktadır.

Diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyas yapıldığında, incelenen örneklerden elde edilen sonuçlara göre güneş, biyokütle ve jeotermal enerjiye göre daha düşük, rüzgar ve nükleer enerjiye göre de daha yüksek karbon salım değerlerine ulaşılmıştır. Ancak bu değerler sadece inşaat aşamasındaki etkilerden kaynaklanan sonuçlardır. Karbon salım değeri olarak düşük değerler gözükse dahi, küçük HES'lerin inşaatı ve bunun gerekliliği sorgulanarak yaşam döngüsü analizi gibi kapsayıcı yaklaşımlarla irdelenip çevreye verilecek tahribat ile ilgili muhasebe dikkatlice yapılmalıdır.

Çalışmada çevresel maliyetlerin finansal entegrasyonu da önemli bir yenilik olarak öne çıkmaktadır. CO₂ vergi oranlarını kullanarak CO₂ emisyonlarının parasallaştırılması, çevresel maliyetlerin genel proje bütçesine entegre edilmesini sağlamıştır. Bu yaklaşım, hem doğrudan inşaat maliyetlerini hem de uzun vadeli çevresel etkileri dikkate alarak her bir projenin finansal uygulanabilirliğinin daha bütüncül bir şekilde değerlendirilmesini sağlamıştır. Örneğin, Çağlar HES için toplam yatırımın yüzdesi olarak çevresel maliyet 2014 planında %0,96'dan 2017 planında %2,91'e yükselirken, Çamlık HES için 2011'de %2,23'ten 2020'de %2,36'ya yükselmiştir. Bu artışlar, daha yüksek çevresel standartların mali sonuçlarını ve çevresel maliyetlerin proje fizibilite çalışmalarına dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Bu çalışma ayrıca, çevresel etkilere önemli ölçüde etkide bulunan belirli malzemeleri de tespit etmiştir. Beton, üretim süreci nedeniyle deniz ve karasal ekotoksositeye önemli bir etkide bulunurken, inşaat demiri ve çelik boru üretimi de yüksek enerji tüketimi ve üretim sırasında atık oluşumu nedeniyle önemli çevresel etkilere sahiptir. Bu bulgular, hidroelektrik santrallerinin çevresel ayak izini en aza indirmek için çevre dostu malzemelerin seçilmesi ve malzeme kullanımının optimize edilmesi gerektiğinin altını çizmektedir.

4.7. Bulguların Çıkarımları

Çeşitli Hidroelektrik Santrallerinin (HES) çevresel etki değerlendirmesinden elde edilen bulgular, bu tür altyapının gelecekteki tasarımı, inşası ve işletimi için önemli sonuçlar doğurmaktadır. Bu çıkarımlar, her biri daha sürdürülebilir hidroelektrik enerji üretimini teşvik etmek için kritik öneme sahip çevresel, ekonomik ve politika boyutlarını kapsamaktadır.

4.7.1. Çevresel etkiler

Bu çalışmada incelenen örnekler, beton ve çelik (inşaat demiri, çelik boru ve sac) gibi malzemelerin Abiyotik Kaynak Tükenmesi, Küresel Isınma ve İnsan Toksisitesi dahil olmak üzere çeşitli çevresel etki kategorilerine birincil etkide bulunduğunu açıkça göstermektedir. Bu noktadan hareketle, HES projelerinde malzeme kullanımının yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Örneğin, daha düşük çevresel ayak izi ile benzer yapısal faydalar sunabilecek alternatif malzemelerin araştırılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca,

potansiyel olarak daha sürdürülebilir uygulamalar ve teknolojiler kullanılarak beton ve çelik üretim süreçlerinin iyileştirilmesi, çevresel etkileri azaltabilir.

4.7.2. Ekonomik etkiler

Alternatif malzemelerin benimsenmesi ve mevcut malzeme kullanımının optimize edilmesinin hem kısa hem de uzun vadeli ekonomik etkileri olabilir. Kısa vadede, araştırma, geliştirme ve yeni malzeme veya teknolojilerin ilk benimsenmesi ile ilgili maliyetler artabilir. Ancak, uzun vadede, bu değişiklikler iyileştirilmiş verimlilik, azaltılmış malzeme kullanımı ve daha düşük çevresel uyum maliyetleri yoluyla önemli maliyet tasarruflarına yol açabilir. Ayrıca, HES projelerinin çevresel etkilerinin azaltılması, bu projelerin kamuoyu tarafından kabulünü artırabilir ve çevresel iyileştirme ve düzenleyici cezalarla ilgili potansiyel maliyetleri azaltabilir.

4.7.3. Politika çıkarımları

Bulgular, politika yapıcıların HES projelerinin çevresel etkileriyle ilgili düzenlemeleri gözden geçirmesi ve güçlendirmesi gerektiğini göstermektedir. Politikalar, sürdürülebilir malzeme ve teknolojilerin kullanımını, belki de çevresel etkilerin azaltıldığını gösteren projeler için vergi avantajları veya hibeler yoluyla teşvik edebilir. Ayrıca, potansiyel etkilerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini ve azaltılmasını sağlamak için tüm yeni HES projeleri için sıkı çevresel etki değerlendirme protokolleri zorunlu hale getirilebilir. Politika yapıcılar ayrıca sürdürülebilir inşaat uygulamalarında araştırma ve geliştirmeyi destekleyerek sektörde yenilikçiliği teşvik edebilirler.

4.7.4. Tasarım ve mühendislik çıkarımları

Mühendisler ve tasarımcılar için bulgular, sürdürülebilirliğin HES proje planlaması ve uygulamasının özüne entegre edilmesinin önemini altını çizmektedir. Bu, modüler inşaat teknikleri veya hafif tasarım stratejileri gibi malzeme kullanımını en aza indiren tasarım ilkelerinin benimsenmesini içerebilir. Ayrıca, yaşam döngüsü değerlendirme araçlarının tasarım aşamasına dahil edilmesi, potansiyel çevresel etkilerin proje yaşam döngüsünün başlarında belirlenmesine ve azaltılmasına yardımcı olarak daha sürdürülebilir sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

4.7.5. Eğitim ve Öğretim etkileri

Daha sürdürülebilir HES projelerine geçiş, mühendisler, mimarlar ve inşaat profesyonelleri için eğitim ve öğretim programlarında buna uygun bir değişimi gerektirmektedir. Müfredat sürdürülebilir tasarım ilkelerini, yaşam döngüsü değerlendirme yöntemlerini ve inşaat malzemelerinin çevresel etkilerini vurgulamalıdır. Sürekli eğitim ve mesleki gelişim programları, sektör profesyonellerini en son sürdürülebilir uygulamalar ve teknolojiler konusunda güncel tutabilir.

4.7.6. Toplum ve Paydaş etkileri

HES projelerinde yer alan veya bu projelerden etkilenen toplumlar ve paydaşlar, çevresel etkilerin azalmasından fayda sağlayacaktır. Gelişmiş çevresel performans, sağlık sonuçlarının iyileşmesine, yerel ekosistemlerin korunmasına ve HES projelerinin sosyal kabulünün artmasına yol açabilir. Paydaşları planlama sürecine dahil etmek ve yeni yaklaşımların çevresel faydalarını şeffaf bir şekilde iletmek, sürdürülebilir hidroelektrik enerji gelişimi için güven ve destek oluşturabilir.

4.7.7. Araştırma sonuçları

Bulgular, gelecekteki araştırmalar için çeşitli yollar açmaktadır. Daha düşük çevresel etkiler sunan alternatif malzemelerin ve yenilikçi inşaat tekniklerinin araştırılması önemli bir araştırma önceliğidir. Ayrıca, HES projelerinde sürdürülebilir uygulamaların uzun vadeli çevresel ve ekonomik faydalarının araştırılması değerli bilgiler sağlayabilir. Araştırmalar, potansiyel etkileri daha iyi yakalamak ve azaltmak için yaşam döngüsü değerlendirme araçlarını ve yöntemlerini geliştirmeye de odaklanabilir.

Sonuç olarak, bu bulguların hidroelektrik enerji geliştirmenin çeşitli yönlerini etkileyen geniş kapsamlı etkileri vardır. Paydaşlar, belirlenen çevresel zorlukları ele alarak daha sürdürülebilir ve ekonomik olarak uygulanabilir HES projelerine katkıda bulunabilir ve daha geniş çevresel yönetim ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyum sağlayabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tezin Sonuçları

Bu çalışmada, Türkiye'deki üç hidroelektrik santralinin inşaat aşamasına ilişkin çevresel ve finansal etkilerinin kapsamlı bir analizi sunulmuştur. Bu HES'ler; konvansiyonel yöntem ve projelerin yanı sıra, beton tünellerin çelik boru yapılarla değiştirildiği, çevre dostu alternatif senaryolar kapsamında da irdelenmiş ve bu tür değişikliklerin CO₂ emisyonları ve genel proje maliyetleri üzerindeki etkileri hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgulara bakıldığında; beklenildiği üzere, HES'lerin çevresel etkilerinin, inşaat aşamasında kullanılan malzemelerin bileşimi ve kullanım şekillerine bağlı olarak önemli değişkenlikler gösterdiği görülmektedir. Betonun en yoğun olarak kullanıldığı Örenaltı HES, tüm etki kategorileri için en yüksek çevresel etkiye sahip proje olarak ortaya çıkmaktadır. Çamlık 2011 HES örneğinde, önemli miktarda inşaat demiri ile birlikte beton kullanımının fazlalığı, 'asidifikasyon' ve 'ötrofikasyon' dahil olmak üzere birçok kategoride betonun en yüksek çevresel etkiye sahip olmasıyla sonuçlanmaktadır. Çamlık HES 2011'in ardından Çağlar 2017 HES üçüncü en yüksek çevresel etkiyi göstermektedir. Çağlar 2017 ve Örenaltı HES arasındaki malzeme kullanımındaki benzerlikler, her iki projenin de benzer çevresel etkilere neden olduğunu göstermektedir. Özellikle beton ve inşaat demiri üretimi, birçok kategoride çevresel bozulmaya en büyük katkıyı yapan unsurlar olarak tanımlanmaktadır. Çamlık 2020 HES, Çamlık 2011 HES'te görülen, beton ve inşaat demirinin yoğun kullanımının çevresel etkilerde etkin olduğunu vurgulamaktadır. Son olarak Çağlar 2014 HES için; Çağlar 2017'ye kıyasla daha fazla çelik boru kullanılması ve beton kullanımının azalması nedeniyle daha farklı bir sonuca ulaşılmıştır. Bu değişim, çelik boru üretiminin 'abiyotik kaynak tükenmesi' ve 'küresel ısınma' gibi çeşitli etki kategorilerinde en yüksek katkıya sahip olmasıyla sonuçlanmıştır.

Bu bulgular HES inşaatında kullanılan geleneksel malzemelerle ilgili sistematik sorunlara işaret etmektedir. Beton ve inşaat demirinin çevresel etkilerin azaltılması için, kritik alanlar olduğunu bir kez daha teyit etmektedir. Ayrıca, çelik boruların beton ve inşaat demirine kıyasla önemli ölçüde daha düşük etkisi, yapısal bütünlüğü çevresel hususlarla dengelemek için malzeme karışımlarının yeniden değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu

malzemelerin kullanımında yapılacak herhangi bir azaltmanın veya üretim süreçlerindeki iyileştirmelerin genel çevresel etkiyi önemli ölçüde azaltılabileceği sonucuna varmak mümkündür.

Farklı senaryolardaki YDA bulguları irdelendiğinde, özellikle yoğun beton kullanımı nedeniyle Örenaltı HES'in MW başına 7.094,52 ton CO₂ ile en yüksek CO₂ emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. Çağlar HES örneğinde, kamuoyunun çevresel kaygılarına yanıt olarak çelik borudan tünele doğru bir proje değişikliği gerçekleştirilmiştir. Ancak bu değişiklik, CO₂ emisyonlarının 2014 yılında MW başına 350,01 tondan 2017 yılında MW başına 1.064,27 tona yükselmesine yol açarak kararın daha olumsuz bir çevresel etkisi olduğunu göstermiştir.

Benzer şekilde, Çamlık HES projesinde de çevresel ve teknik nedenlerle değişiklikler yapılmıştır. Projenin kurulu gücü 9,83 MW'tan (2011'de planlanan) 1,55 MW'a düşürülmüş (2020) ve ilk durumdaki 3.640 m tünel son durumda 510 m çelik boru ile değiştirilmiştir. Sonuç olarak, CO₂ emisyonları MW başına 1.252 tondan MW başına 869,80 tona düşerek çevresel açıdan daha uygulanabilir bir seçenek haline gelmiştir.

YDA sonuçlarına göre incelenen tüm kategoriler arasında, 'Denizel Ekosistem Ekotoksitesitesi ve Karasal Ekosistem Ekotoksitesitesi' kategorileri en yüksek etkiye sahiptir. Bu durum özellikle çimento ve inşaat demiri üretim süreçlerinden kaynaklanmaktadır. Burada en yüksek çevresel etki, Örenaltı HES'de tünel betonuna ilave olarak regülatör yapısında da SSB (Silindirle Sıkıştırılmış Beton) beton kullanımının sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

Analiz edilen HES projeleri için CO₂ emisyonlarından kaynaklanan çevresel maliyetler, toplam yatırım maliyetlerinin bir yüzdesi olarak değerlendirildiğinde; Çağlar HES için, yatırımın yüzdesi olarak çevresel maliyet 2014 planında %0,96'dan 2017 planında %2,91'e yükselmiştir. Çamlık HES için çevresel maliyet 2011 planında %2,23 iken 2020 planında %2,36'ya yükselmiştir. Çamlık HES için MW başına CO₂ emisyonları 1.252 ton CO₂/MW'dan 869,80 ton CO₂/MW'a düşmüş olsa da, çevresel maliyetin yatırım maliyetine oranının 2011'e kıyasla 2020'de daha yüksek olması, proje daha çevre dostu hale gelirken daha küçük bir HES inşa etmenin oranla çevresel maliyete daha duyarlı olduğunu göstermektedir. CO₂ emisyonlarından kaynaklanan çevresel etkiler, ölçülen toplam çevresel

etkilerin %11,41 ila %17,47'sini oluşturmaktadır. Bu durum, tüm etki kategorilerinin maliyet-etkin olarak kabul edilmesi halinde, bu etkilerin azaltılmasının ekonomik getirisinin önemli olacağını göstermektedir.

Bu bulgular doğrultusunda ulaşılan sonuçları çalışma kapsamında ele alınan HES'ler özelinde aşağıda verilen şekilde özetlemek mümkündür:

- Örenaltı HES en yüksek CO₂ emisyonuna ve en yüksek çevresel etkiye sahiptir. Ardından Çamlık 2011, sonra Çağlar 2017 ve sonra Çamlık 2020 gelmektedir. Çağlar 2014 HES tüm kategorilerin toplamında en düşük etkiye sahiptir.
- Çağlar HES'te çelik borudan tünele geçiş CO₂ emisyonlarını artırarak çevresel etkisini artırmıştır.
- Çamlık HES'te yapılan değişiklikler MW başına CO₂ emisyonlarını azaltmış, ancak yatırımın yüzdesi olarak çevresel maliyeti artırarak daha küçük, daha çevre dostu HES'lerin inşasıyla ilişkili daha yüksek oranlı çevresel maliyetleri vurgulamıştır.

Çevresel etki kategorileri anlamında bakıldığında ise; 'deniz ekotoksitesitesi' kategorisi, ham petrol üretiminden kaynaklanan beton ve çelik üretimi sırasındaki yüksek enerji tüketimi nedeniyle analiz edilen tüm HES'ler arasında en yüksek çevresel yükü sergilerken, 'ozon tabakasının incilmesi' kategorisi sürekli olarak en az etkiyi göstermektedir. Deniz ekotoksitesitesi için beton en etkili bileşendir ve beton için ana etkide bulunanlar sırasıyla bazik oksijen fırın cürufunun işlenmesi, taş kömürü madenciliğinden kaynaklanan atıklar ve sülfidik atıklardır. İnşaat demiri için ana etkenler sırasıyla bazik oksijen fırını cürufunun işlenmesi, nikel izabe cürufunun işlenmesi ve taş kömürü madenciliği atıklarıdır. Son olarak, çelik boru üretimi için, ana etkide bulunanlar sırasıyla nikel izabe cürufu işleme, elektrik ark ocağı cürufu işleme ve kömür madenciliği kalıntılarıdır.

'Karasal ekotoksitesite' ise, açık deniz ham petrol ve taş kömürü çıkarımı nedeniyle yine tüm HES'ler arasında ikinci sırada yer alarak en yüksek ikinci etkiye sahiptir. Karasal ekotoksitesite de beton için, ana etkide bulunanlar sırasıyla klinker üretimi, bakır konsantresinin eritilmesi ve dizel üretimidir. İnşaat demiri için, ana etkide bulunanlar düşük alaşımlı çelik üretimi, ferronikel üretimi ve elektrik üretimidir. Son olarak, çelik boru üretimi açısından, ana etkide bulunanlar sırasıyla ferrokrom üretimi, ferronikel üretimi ve ısı üretimidir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde; gelecekteki HES değerlendirmeleri ve inşaatları için bazı önemli öneriler öne çıkmaktadır:

İlk olarak, Simapro gibi YDA araçlarının kullanıldığı kapsamlı çevresel değerlendirmeler, HES projelerinin planlama aşamalarına entegre edilmelidir. Bu, çevresel etkilerin ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasını sağlayacak ve malzeme seçimi ile tasarım değişiklikleri hakkında bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olacaktır. Yaşam döngüsü analizi ile çevre dostu olarak görülen HES'lerle ilgili çevresel etkiler belirlenebilir ve bu etkilerin ölçülebilir olduğu Simapro gibi programlar aracılığıyla etki kategorileri ve şiddetleri ortaya çıkarılabilir. CO₂ emisyonları, deniz ekotoksitesi ve karasal ekotoksiste gibi temel etki kategorilerine odaklanılabilir. Malzeme kullanımını optimize ederek ve çevre dostu alternatifler tedarik ederek deniz ekotoksitesi ve karasal ekotoksiste kategorilerindeki etkileri azaltmaya odaklanılabilir.

Ayrıca bu etkiler maliyete dönüştürülüp projenin toplam maliyetine eklenerek projenin çevresel ölçülebilir değerler dahil maliyeti bulunabilir ve iç verimlilik hesaplanarak gerçek kârlılık bulunabilir. Bunun sonucunda aslında kurulu güç açısından küçük olan HES'lerin çevresel maliyeti de dahil olmak üzere yapılma kararı aşamasında yapılmaya değer olup olmadığına karar verilebilir ve gerekirse yapılmaması yönünde bir karar verilebilir.

İnşa kararı verilmesi durumunda, kullanılan ve çevresel etkisi yüksek olan malzemelerin çevre dostu olarak seçilmesi sağlanabilir. Örneğin beton üretimi için kullanılan çimentoda çevre dostu yaklaşımın klinker oranının düşürülmesi ile sağlandığı bilinmektedir. Klinker oranı azaltılmış çimento veya daha düşük karbon ayak izine sahip alternatif malzemeler gibi çevresel etkileri daha düşük olan inşaat malzemeleri seçilebilir. Malzeme seçerken, daha yüksek ilk yatırım maliyetlerini dengeleyebileceğinden, azaltılmış çevresel etkiden kaynaklanan kazanım uzun vadeli maliyet tasarrufları olarak hesaba katılabilir.

İkinci olarak, yerel toplulukların planlama sürecinin erken aşamalarında sürece dahil edilmesi, çevresel kaygıların giderilmesi ve muhalefetin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Projenin faydaları ve etkileri hakkında şeffaf iletişim, halkın desteğini artırabilir ve daha sorunsuz bir proje uygulamasını kolaylaştırabilir.

Üçüncü olarak, çevresel maliyetlerin proje bütçelerine entegre edilmesi standart bir uygulama haline gelmelidir. Çevresel etkileri parasal değerlere dönüştürerek, proje planlayıcıları finansal uygulanabilirliğin ve gerçek iç verim oranının daha doğru bir ölçüsünü elde edebilirler. Bu yaklaşım, çevresel sürdürülebilirliğin HES projelerinin ekonomik değerlendirmesine dahil edilmesini sağlar. Çevresel etkileri parasal değerlere dönüştürüp bunlar toplam proje maliyetine dahil edilebilir. Bu yaklaşım, gerçek iç verimliliği dikkate alarak proje karlılığının daha doğru bir ölçüsünü sağlayacaktır.

Küçük HES'lerin, daha çevre dostu olmalarına rağmen, hem çevresel hem de finansal maliyetleri göz önünde bulundurarak ekonomik olarak uygulanabilir olup olmadıklarını dikkatlice değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, projenin fizibilitesi hakkında bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olabilir. Küçük HES'lerin inşasına ancak daha yüksek maliyetlerine rağmen önemli çevresel etki göstermiyorsa yapımına öncelik verilebilir.

Son olarak, politika yapıcılarının HES projelerinin çevresel etkileriyle ilgili düzenlemeleri gözden geçirmesi ve güçlendirmesi gerekmektedir. Politikalar, sürdürülebilir malzeme ve teknolojilerin kullanımını teşvik edebilir ve çevresel etkilerin azaltıldığını gösteren projeler için vergi avantajları veya hibeler sunabilir. Ayrıca, tüm yeni yapılacak HES projeleri için sıkı çevresel etki değerlendirme protokollerinin zorunlu hale getirilmesi, potansiyel etkilerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini ve en aza indirmesini sağlayabilir. Bu önerilerle gelecekteki HES projeleri sosyal kabul, ekonomik uygulanabilirlik, siyasi fizibilite ve çevresel sürdürülebilirliği dikkate alan dengeli bir yaklaşımla uygulanabilir.

5.3. Gelecek Çalışmaları

Hidroelektrik santral (HES) projelerinde sürdürülebilir uygulamaların anlaşılmasını ve uygulanmasını daha da ilerletmek için, gelecekteki araştırmalar için çeşitli yollar önerilmektedir:

5.3.1. Alternatif malzeme araştırması

Beton ve çeliğin yerini alabilecek veya onları tamamlayabilecek alternatif malzemelerin araştırılması kritik önem taşımaktadır. Gelecekteki çalışmalar, benzer yapısal özellikler sunan ancak çevresel etkileri önemli ölçüde daha düşük olan gelişmiş kompozitlerin, geri

dönüştürülmüş malzemelerin veya biyo-bazlı malzemelerin geliştirilmesine ve test edilmesine odaklanabilir. Ayrıca, HES uygulamalarında bu alternatif malzemelerin uzun vadeli dayanıklılığı ve performansı üzerine araştırma yapılması da elzem olacaktır.

5.3.2. Sürdürülebilir üretim teknolojileri

Beton ve çelik üretim süreçlerinin sürdürülebilirliğini artırmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbon yakalama ve depolama (CCS) teknolojileri ve karbon emisyonlarını azaltmak için çimento kimyasındaki gelişmeler gibi düşük karbonlu üretim yöntemlerinin araştırılabilir. Ayrıca uçucu kül veya cüruf gibi endüstriyel yan ürünlerin beton üretiminde yeniden kullanılma potansiyeli de araştırılabilir.

5.3.3. Yaşam döngüsü değerlendirme metodolojileri

HES projelerinin çevresel etkilerini daha doğru bir şekilde yakalamak için YDA metodolojilerinin iyileştirilmesi şarttır. Gelecekteki çalışmalar, en son verileri içeren ve malzeme üretimi ve nakliyesindeki bölgesel farklılıkları hesaba katan YDA araçlarını geliştirebilir ve iyileştirebilir. Ayrıca, YDA'nın sosyal yaşam döngüsü analizi (S-YDA) ve ekonomik yaşam döngüsü analizi (E-YDA) gibi diğer sürdürülebilirlik değerlendirme çerçeveleriyle entegre edilmesi, HES projelerinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlayabilir.

5.3.4. HES tasarımının optimizasyonu

Performanstan ödün vermeden malzeme kullanımını en aza indirmek için HES tasarımının optimize edilmesine yönelik araştırmalar çok önemlidir. Bu, en verimli tasarım konfigürasyonlarını belirlemek için modüler inşaat tekniklerini, hafif tasarım stratejilerini ve gelişmiş hesaplamalı modellemeyi keşfetmeyi içerir. Çalışmalar, yeni inşaat ihtiyacını azaltmak için mevcut altyapının uyarlanabilir yeniden kullanım potansiyelini de değerlendirebilir.

5.3.5. Çevresel etki azaltma stratejileri

Mevcut HES projelerinde tespit edilen çevresel etkilerin azaltılması için stratejilerin belirlenmesi ve test edilmesi gereklidir. Gelecekteki araştırmalar, yerel ekosistemler üzerindeki etkileri azaltmak için bitkilendirilmiş tampon alanlar ve inşa edilen sulak alanlar gibi yeşil altyapının kullanımını araştırabilir. Ayrıca, olumsuz çevresel etkilerin bir kısmını dengelemek için HES sahalarının çevresindeki doğal habitatların ve biyolojik çeşitliliğin restore edilmesi potansiyeli araştırılabilir.

5.3.6. Politika ve düzenleme analizi

Sürdürülebilir HES projelerinin teşvik edilmesinde mevcut politika ve düzenlemelerin etkinliğinin incelenmesi önemlidir. Gelecekteki çalışmalar, çeşitli düzenleyici çerçevelerin HES projelerinin çevresel performansı üzerindeki etkisini analiz edebilir ve dünyadaki en iyi uygulamaları belirleyebilir. Araştırmalar yapılarak, hidroelektrik enerji sektöründe daha sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmek için yeşil sertifikalar veya sürdürülebilirlik teşvikleri gibi yeni politika araçlarının potansiyeli de değerlendirilebilir.

5.3.7. Ekonomik ve Sosyal etkiler

HES projelerinde sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesinin daha geniş ekonomik ve sosyal etkilerinin anlaşılması önemlidir. Gelecekteki araştırmalar, hem ilk yatırım hem de uzun vadeli tasarrufları göz önünde bulundurarak farklı sürdürülebilirlik müdahalelerinin maliyet etkinliğini değerlendirilmesini sağlayabilir. Ayrıca, yapılacak çalışmalarla çevresel etkilerin azaltılmasının, halk sağlığının iyileştirilmesi ve HES projeleri için toplum desteğinin artırılması gibi sosyal faydaları da araştırılabilir.

5.3.8. Teknolojik yenilikler

HES projelerinin sürdürülebilirliğini artıracak teknolojik yeniliklerin araştırılması umut verici bir araştırma alanıdır. Bu, proje planlama, izleme ve bakımı iyileştirmek için bina bilgi modellemesi (BIM) ve Nesnelerin İnterneti (IoT) gibi dijital teknolojilerin potansiyelinin araştırılmasını içerir. Ayrıca, 3D baskı ve robotik inşaat gibi gelişmiş inşaat teknikleri üzerine yapılacak araştırmalar, HES projelerinin daha verimli ve çevresel açıdan daha az

zararlı olmasını sağlayabilir.

5.3.9. Paydaş katılımı ve iletişim

Gelecekteki çalışmalar, paydaşların katılımını sağlamak ve sürdürülebilir HES uygulamalarının faydalarını iletmek için etkili stratejiler geliştirmeye odaklanabilir. Bu, yerel toplulukların planlama ve karar alma süreçlerine dahil edilmesine yönelik yöntemlerin araştırılmasını ve sürdürülebilir uygulamaların çevresel ve ekonomik avantajlarının aktarılmasında farklı iletişim araçlarının etkinliğinin değerlendirilmesini içerir.

5.3.10. Vaka çalışmaları ve pilot projeler

HES uygulamalarında sürdürülebilir uygulamaları test etmek ve iyileştirmek için vaka çalışmaları ve pilot projeler yürütmek çok önemlidir. Bu çalışmalar, sürdürülebilir malzemeler, teknolojiler ve tasarım stratejilerinin uygulanmasıyla ilgili pratik zorluklar ve olası fırsatlar hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Ayrıca, bu vaka çalışmalarından çıkarımların yapılması ve yaygınlaştırılması, gelecekteki HES projelerinin daha sürdürülebilir sonuçlara doğru yönlendirilmesine yardımcı olabilir. Bu alanları ele alarak, gelecekteki araştırmalar, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğinin azaltılmasına yönelik küresel hedeflerle uyumlu, daha sürdürülebilir, verimli ve sosyal olarak kabul edilebilir hidroelektrik santrallerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

KAYNAKLAR

- Alnaboee, A. D. A. (2023). Environmental and Economic Impacts of Hydropower Plants. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 1(6), 275-284.
- Alp, E., Yetiş, Ü. (2010). Application of the contingent valuation method in a developing country: a case study of the Yusufeli Dam in northeast Turkey. *Water Science and Technology*, 62(1), 99-105.
- Arshad, R, S., Tariq, Niaz, M.U., Jamil, M. (2014). Improvement in solar panel efficiency using solar concentration by simple mirrors and by cooling. İçinde *2014 International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE)*, 292–95.
- Atilgan, B., Azapagic, A. (2015). Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey, *Journal of Cleaner Production*, 106, 555-564.
- Bassi, S. A., Boldrin, A., Frenna, G., Astrup, T. F. (2021). An environmental and economic assessment of bioplastic from urban biowaste. The example of polyhydroxyalkanoate, *Bioresource Technology*, 327, 124813.
- Bayazıt, Y. (2021). The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey, *Renewable Energy*, 170, 181-187.
- Bhat, V.I. K., ve Prakash, R. (2014). Life Cycle Analysis of Run-of River Small Hydro Power Plants in India. *The Open Renewable Energy Journal* 1(1): 11–16.
- Bor, A., Üçtuğ, F. G. (2022). Environmental and economic life cycle assessment of a run-of-the-river type hydroelectricity power plant in Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 41(1), e13716.
- Botelho, A., Ferreira, P., Lima, F., Pinto, L. M. C., Sousa, S. (2017). Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 896-904.
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Trisos, C. H., Barrett, K., Otzo, F. (2023). IPCC, 2023: Climate change 2023: synthesis report.: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC*, 13(3),35-115.
- Chevalier, J., Rousseaux, P. (1999). Classification in LCA: building of a coherent family of criteria. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4, 352-356.
- Chu, Y., Pan, Y., Zhan, H., Cheng, W., Huang, L., Wu, Z., Shao, L. (2022). Systems accounting for carbon emissions by hydropower plant. *Sustainability*, 14(11), 6939.
- Clark, G. (2014). The industrial revolution. In *Handbook of economic growth*, 2, 217-262. Elsevier.

- Dabaieh, M., Emami, N., Heinonen, J. T., Marteinsson, B. (2020). A life cycle assessment of a 'minus carbon' refugee house: global warming potential and sensitivity analysis. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 14(3), 559-579.
- Eurostat. 2018. Statistics Explained *Irena 2018, Renewable Energy Statistics 2018*. http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Category:Tourism_glossary.
- Fatimatuzzahro, N., Puteri, H.E. (2016). Executive Summary Executive Summary Executive Summary" *South African Medical Journal* 101(2003): 16.
- Fischer, D., Brettel, M., Mauer, R. (2020). The three dimensions of sustainability: A delicate balancing act for entrepreneurs made more complex by stakeholder expectations. *Journal of Business Ethics*, 163, 87-106.
- Fischer, R. J., Halibozek, E. P., Walters, D. C. (2019). Origins and development of 21st century security. *Introduction to Security*, 3, 1–3.
- Forouzbakhsh, F., Hosseini, S. M. H., Vakilian, M. (2007). An approach to the investment analysis of small and medium hydro-power plants. *Energy Policy*, 35(2), 1013-1024.
- Fuentes-Bargues, J. L., Ferrer-Gisbert, P. S. (2015). Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Miño-Sil river basin, Spain. *Ecological Engineering*, 85, 307-316.
- Gayen, D., Chatterjee, R., Roy, S. (2024). A review on environmental impacts of renewable energy for sustainable development. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5), 5285-5310.
- Gollessi, S., Valerio, G. (2013). Hydropower and Environment Technical and Operational Procedures to Better Integrate Small Hydropower Plants in the Environment, <https://www.yumpu.com/en/document/view/16033617/hydropower-and-environment-esh>
- Hanafi, J., Riman, A. (2015). Life cycle assessment of a mini hydro power plant in Indonesia: A case study in Karai River. *Procedia Cirp*, 29, 444-449.
- İnternet: Hydropower generation by country 2022 Web Statista. <https://www.statista.com/statistics/474799/global-hydropower-generation-by-major-country/> Son Erişim Tarihi: 01/07/2024.
- Idsø, J. (2017). Small scale hydroelectric power plants in Norway. Some microeconomic and environmental considerations. *Sustainability*, 9(7), 1117.
- İnternet: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Devlet. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Web: <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/759> ,Son Erişim Tarihi: 04/07/2023.
- İnternet: Effective Carbon Rates 2021.Web: <https://www.oecd.org/tax/tax-policy/effective-carbon-rates-2021-0e8e24f5-en.html> Son Erişim Tarihi: 04/07/2023.

- İnternet: International Hydropower Association. 2024. 2023 World Hydropower Outlook - Opportunities to advance net zero, Web: 1–71. <https://indd.adobe.com/view/4201016f-a51a-4f6f-998b-ec85219d1dfd>. Son Erişim Tarihi: 04/ 07/2024.
- İnternet: IPCC Çalışma Grubu III – İklim Değişikliğinin Azaltılması, Web Ek II Ölçümler ve Metodoloji - A.II.9.3 (Yaşam Döngüsü sera gazı emisyonları) (PDF) s. 1306–1308. 23 Nisan 2021 tarihinde kaynağından arşivlendi (PDF). Son Erişim Tarihi: 14/12/ 2018.
- İnternet: ISO 14040:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. <https://www.iso.org/standard/37456.html>, Son Erişim Tarihi: 30/03/ 2023.
- İnternet: Dünya Doğayı Koruma Vakfı (World Wide Fund for Nature Web WWF”. <https://www.wwf.org.tr/> Son Erişim Tarihi: 04/07/2024.
- İnternet: “Buildings – Analysis - IEA”. <https://www.iea.org/reports/buildings> Son Erişim Tarihi: 26/07/2023.
- İnternet: Avustralya Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Örgütü CSIRO. State of the Climate, Son Erişim Tarihi: 26/06/2023.
- İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 01/07/2024.
- Jiménez, C., Barra, M., Josa, A., Valls, S. (2015). LCA of recycled and conventional concretes designed using the Equivalent Mortar Volume and classic methods. *Construction and Building Materials*, 84, 245-252.
- Johnsen, F. M., Løkke, S. (2013). Review of criteria for evaluating LCA weighting methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 840-849.
- Karadeniz, V., Akpınar, E., Başbüyük, A. (2011). Nehir tipi hidroelektrik santraller ve çevresel etkileri (Reşadiye hidroelektrik santralleri örneği). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 16(26), 95-114.
- Kentel, E., Alp, E. (2013). Hydropower in Turkey: Economical, social and environmental aspects and legal challenges. *Environmental science & policy*, 31, 34-43.
- Khan, M. A., Uddin, I., Othman, N. S. (2024). Factors determining water stress: do environmental distress, energy consumption and industrialization matter?. *Environment, Development and Sustainability*, 1-25.
- Lasvaux, S., Habert, G., Peuportier, B., Chevalier, J. (2015). Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1473-1490.
- Li, X., Gui, F., Li, Q. (2019). Can hydropower still be considered a clean energy source? Compelling evidence from a middle-sized hydropower station in China. *Sustainability*, 11(16), 4261.

- Mahmud, M. A. P., Huda, N., Farjana, S. H., Lang, C. (2018, May). Environmental sustainability assessment of hydropower plant in Europe using life cycle assessment. In *IOP conference series: Materials science and engineering*, IOP Publishing. 351, 012006.
- Maja, M. M., Ayano, S. F. (2021). The impact of population growth on natural resources and farmers' capacity to adapt to climate change in low-income countries. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 271-283.
- Maradin, D., Cerović, L., Šegota, A. (2021). The efficiency of wind power companies in electricity generation. *Energy strategy reviews*, 37, 100708.
- Mhadhbi, M. (2024). The interconnected carbon, fossil fuels, and clean energy markets: Exploring Europe and China's perspectives on climate change. *Finance Research Letters*, 62, 105185.
- Moriarty, P., Honnery, D. (2012). What is the global potential for renewable energy?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 244-252.
- Morsali, S. (2018). A novel perspective to bitumen refineries life cycle assessment and processes emissions. *Acta Ecologica Sinica*, 38(3), 242-247.
- Morsali, S., Yildirim, F. (2024). Life cycle assessment of residential building in Iran: a case study on construction phase and material impacts. *Environment, Development and Sustainability*, 26(5), 11653-11680.
- Morshed, S. R., Esraz-Ul-Zannat, M., Fattah, M. A., Saroar, M. (2024). Assessment of the future environmental carrying capacity using machine learning algorithms. *Ecological Indicators*, 158, 111444.
- Onüçyıldız, M., Büyükkaracıgan, N. Erkan Erkmen, M. (2013) *Küçük Hidroelektrik Santrallerin Enerji Potansiyelleri Ve Çevresel Etkileri*, Sosyoteknik Sosyal ve Araştırmalar Dergisi, 37–59.
- Qin, Y., Cucurachi, S., Suh, S. (2020). Perceived uncertainties of characterization in LCA: a survey. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 1846-1858.
- Pang, M., Zhang, L., Wang, C., Liu, G. (2015). Environmental life cycle assessment of a small hydropower plant in China. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 796-806.
- Pant, R., Saurabh, A., Kalpit, J. (2016). International Journal of Current Engineering and Technology Life Cycle Assessment of Small Hydro Power Plants in Uttarakhand. 289| *International Journal of Current Engineering and Technology* 6(1): 289–94.
- Parlevliet, D., Moheimani, N. R. (2014). Efficient conversion of solar energy to biomass and electricity. *Aquatic biosystems*, 10(1), 4.

- Ponce, R. D., Vásquez, F., Stehr, A., Debels, P., Orihuela, C. (2011). Estimating the economic value of landscape losses due to flooding by hydropower plants in the Chilean Patagonia. *Water Resources Management*, 25,(10), 2449-2466.
- Prakash, R., Bhat, I. K. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions estimation for small hydropower schemes in India. *Energy*, 44(1), 498-508.
- Roesch, A., Sala, S., Jungbluth, N. (2020). Normalization and weighting: the open challenge in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(9), 1859-1865.
- Rotilio, M., Marchionni, C., De Berardinis, P. (2017). The small-scale hydropower plants in sites of environmental value: an Italian case study. *Sustainability*, 9(12), 2211.
- Serencam, U. (2019). Küçük Hidrolik Santrallerde Kapasite Faktör Analizi Ve Giresun Özelinde Bir Uygulama. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 691-698.
- Taagepera, R., Nemčok, M. (2024). World population growth over millennia: Ancient and present phases with a temporary halt in-between. *The Anthropocene Review*, 11(1), 163-183.
- Tillman, A. M., Ekvall, T., Baumann, H., Rydberg, T. (1994). Choice of system boundaries in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2(1), 21-29.
- Tu, S. (2024). Assessing the Prospects and Challenges of Hydroelectric Power Generation in Malaysia: A Multidimensional Analysis. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 83, 463-468.
- Ullah, S., Lin, B. (2024). Natural resources, renewable energy-environment nexus for Pakistan: A policy perspective. *Resources Policy*, 90, 104788.
- Vougioukli, A. Z., Didaskalou, E., Georgakellos, D. (2017). Financial appraisal of small hydro-power considering the cradle-to-grave environmental cost: A case from Greece. *Energies*, 10(4), 430.
- Verán-Leigh, D., Vázquez-Rowe, I. (2019). Life cycle assessment of run-of-river hydropower plants in the Peruvian Andes: a policy support perspective. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 24, 1376-1395.
- Yaman, M., Haşıl, F. (2018). No Title. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 3(5), 145-56.
- Yuan, K. Y., Lin, Y. C., Chiueh, P. T., Lo, S. L. (2018). Spatial optimization of the food, energy, and water nexus: A life cycle assessment-based approach,. *Energy Policy*, 119, 502-514.
- Zarrouk, S. J., Moon, H. (2014). Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. *Geothermics*, 51, 142-153.

Zhang, Q., Karney, B., MacLean, H. L., Feng, J. (2007). Life-cycle inventory of energy use and greenhouse gas emissions for two hydropower projects in China. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(4), 271-279.





EKLER

EK-1. Örenaltı HES keşfi

Örenaltı Regülatörü (RCC Gövde) Keşif Özeti					
Poz No	İşin cinsi	Birimi	Miktarı	B.Fiyat(TL)	Tutarı(TL)
1-KAZI ve DOLGU İŞLERİ					
55.114.2060	Barajlarda beton,betonarme ve kargir inşaata su boşaltma zammı	m ³	9.114	142,96	1.302.937
55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler hariç her cins ve klasta zeminlerin kazılması	m ³	24.303	22,23	540.265
2-SULAMA ve SIKIŞTIRMA İŞLERİ					
55.115.1052	Barajlarda titreşimli silindirle sedde,dolgu veya baraj dolgusunun sıkıştırılması(baraj tipi titreşimli silindirlerle)	saat	339	1019,16	345.990
55.115.1054	Barajlarda keçiayağı silindirle,sedde,dolgu veya baraj dolgusunun sıkıştırılması(baraj tipi keçiayağı)	saat	3	1043,35	2.879
55.115.1321	Barajlarda sedde, dolgu veya baraj dolgusunun sulanması (keçiayağı ile sıkıştırılan dolgular)	m ³	828	37,59	31.115
55.115.1322	Barajlarda sedde,dolgu veya baraj dolgusunun sulanması (kaya dolgu ve keçiayağı ile sıkıştırılan dolgular haricinde)	m ³	101.846	25,91	2.638.820
3-STABİLİZASYON İŞLERİ					
55.115.1380	Kayadan gayri zemin şevlerinin ve taş dolgu şevlerinin düzeltilmesi	m ²	200	23,44	4.688
55.115.1382	Kayalık zeminlerde önceden ayırma (Presplitting) kazı metoduyla şev elde edilmesi	m ²	200	282,85	56.570
55.116.1582	Açıkta püskürtme betonu (shotcrete) yapılması	ton	22	1504,69	33.103
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portland çimentosu; TS 19 :PÇ 32.5)	ton	6	2071,88	12.431
55.350.1310	Ankraj ve kaya bulonu deliği açılması	m	27	283,71	7.566
55.350.1311	Ankraj demiri konulması	kg	111	50,26	5.586
55.350.1408	Tel kafes yapılması	kg	500	51,54	25.770
4-BETON İŞLERİ					
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portland çimentosu; TS 19 :PÇ 32.5)	ton	8.689	2071,88	18.003.288
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (B-Portland çimentosu; TS 19 :PÇ 42.5)	ton	8.214	2071,88	17.018.153
55.116.1511	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve gravye kullanılarak betoniyerle karıştırılan ve vibratörle dövülen betonarme beton	m ³	14.704	1781,49	26.195.573
55.116.1510	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve gravye kullanılarak betoniyerle karıştırılan,beton tuluması ile dökülen vibratörle dövülen beton	m ³	102.673	1610,43	165.348.283
55.117.1028	İdarece istenilen dozajlı çimento harçlı 5 cm kalınlıkta tesviye betonu	m ²	713	200,88	143.229
5-DEMİR İŞLERİ					
55.230.1001	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı Ø 6)	ton	75	33.981,88	2.558.128
55.230.1005	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı Ø 14 ve daha büyük çaplı)	ton	407	29.473,13	11.982.238
55.230.1005	Basit demir işleri	kg	482	76,74	36.975
7-TAŞIMALAR					
ANALİZ	Çimento Taşınması (f=150 km)	ton	16.909	245,03	4.143.181
ANALİZ	Demir Taşınması (f=100 km)	ton	482	163,35	78.725
ANALİZ	Her cins yük ve malzemenin taşınması	ton	7.187	245,03	1.761.028
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar	m ³	24.303	2,61	63.519
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar	m ³	44.507	26,14	1.163.240
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar	m ³	82.656	26,14	2.160.303
				T O P L A M (TL)	255.664.000
				T O P L A M (\$)	9.469.000

Şekil 1.1. Örenaltı Regülatörü Keşif Özeti

EK-1. (devam) Örenaltı HES keşfi

Örenaltı İletim ve Derivasyon Tüneli Keşif Özeti					
Poz No	İşin cinsi	Birimi	Miktarı	B.Fiyat(TL)	Tutarı(TL)
	1-KAZI İŞLERİ				
43.630.1001	Tünel kazısı	m ³	41.310	2.217,98	91.625.005
	2-BETON İŞLERİ				
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portlant çimentosu; TS 19 ;PÇ 32.5)	ton	4.605	2.071,88	9.541.996
55.116.1538	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve gravye kullanılarak betoniyerle karıştırılan, beton tulumbası ile dökülen ve vibratörle dövülen tünel betonarme betonu	m ³	15.352	2.179,73	33.462.321
	3-DRENAJ İŞLERİ				
55.118.1017	PVC su ve enjeksiyon tutucuların temini ve yeraltında veya yerüstündeki yapılarda terine konulması	kg	31.319	137,89	4.318.523
	4-DEMİR VE KALIP İŞLERİ				
55.210.7722	Tünelde F2 cinsi eğri yüzeyli beton ve betonar. kalıbı yapılması	m ³	29.606	1.114,26	32.989.263
55.230.1006	Tünelde betonarme demirin (yerli malı Ø 14 ve daha büyük çaplı)	ton	921	30.407,50	28.008.208
	5-STABİLİZASYON İŞLERİ				
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portlant çimentosu; TS 19 ;PÇ 32.5)	ton	16	2.071,88	32.737
55.116.1581	Yer altında püskürtme betonu (shotcrete) yapılması	ton	58	2.418,89	140.139
PIYASA	Shotcrete katkı maddesi	kg	474	16,50	7.821
55.320.1103	Tünellerde daimi çelik iksa yapılması	kg	7.542	21,53	162.382
55.350.1310	Ankraj ve kaya bulonu deliği açılması	m	2.585	283,71	733.411
55.350.1311	Ankraj demiri konulması	kg	9.177	50,26	461.237
55.350.1408	Tel kafes yapılması	kg	790	51,54	40.718
	6-ENJEKSİYON İŞLERİ				
TEKLİF	0-10 metre arasında karotsuz enjeksiyon deliğinin açılması	m	20.722	300,00	6.216.736
TEKLİF	0-20 metre arasında delik boyunca bir metreye ortalama:	m ³	3.626	350,00	1.269.250
56.520.1800	Her türlü tünel ve galerilerde kontak enjeksiyonu yapılması	m ³	768	985,55	756.488
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portlant çimentosu; TS 19 ;PÇ 32.5)	ton	2.821	2.071,88	5.843.905
	6-TAŞIMALAR				
ANALİZ	Çimento Taşınması (f=150 km)	ton	7.442	245,03	1.823.557
ANALİZ	Demir Taşınması (f=100 km)	ton	921	163,35	150.461
ANALİZ	Beton Agregası taşınması (f=2000 m)	m ³	23.067	8,17	188.399
ANALİZ	Kazı Taşınması (f=2000 m)	m ³	41.310	8,17	337.400
				T O P L A M (TL)	218.110.000
				T O P L A M (\$)	8.078.000

Şekil 1.2 Örenaltı İletim ve Derivasyon Tüneli Keşif Özeti

EK-1. (devam) Örenaltı HES keşfi

Örenaltı Yükleme Odası Keşif Özeti					
Poz No	İşin cinsi	Birimi	Miktarı	B.Fiyat(TL)	Tutarı(TL)
	1-KAZI İŞLERİ				
B-15.301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler hariç her cins ve klasta zeminlerin kazılması ve depoya konulması	m ³	7 305	22,23	162 390
B-15.306	Barajlarda yumuşak kaya zeminlerin kazılması,dolgu ve/veya depoya konulması	m ³	4 870	84,24	410 249
B-15.310	Barajlarda kaya kazılması,dolgu ve/veya depoya konulması	m ³	12 175	129,64	1 578 367
	2-BETON İŞLERİ				
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portlant çimentosu;TS 19 :PÇ 32.5)	ton	1 001	2 071,88	2 072 916
55.116.1510	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve gravye kullanılarak betoniyele karıştırılan ve vibratörle dövülen beton	m ³	345	1 610,43	555 598
55.116.1511	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve gravye kullanılarak betoniyele karıştırılan ,beton tulumbası ile dökülen ve vibratörle dövülen betonarme betonu	m ³	3 105	1 781,49	5 531 526
	3- KALIP İŞLERİ				
55.210.2241	F1 cinsi beton veya betonarme yüzeyi veren eğri kalıp	m ²	900	696,41	626 769
55.210.1150	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme betonu kalıbı yapılması (F2 cinsi)	m ²	1 350	384,80	519 480
55.230.1005	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı Ø 14 ve daha büyük çaplı)	ton	20	29 473,13	589 463
	4-DEMİR İMALAT İŞLERİ				
55.230.1023	Giriş ızgarası, her türlü demir kapaklar	kg	8 750	262,13	2 293 638
55.230.1025	Kapak kaldırma tertibatı ve kumanda teçhizatının yapılması ve yerine montajı	kg	875	412,35	360 806
15.550.1203	Demir borudan korkuluk yapılması	kg	450	70,35	31 658
	4-DİĞER				
55.118.1017	PVC su ve enjeksiyon tutucularının temini ve yer altında veya yer üstündeki yapılarda yerine konulması	kg	525	137,89	72 392
	6-TAŞIMALAR				
ANALİZ	Çimento Taşınması (f=150 km)	ton	1 001	245,03	245 148
ANALİZ	Demir Taşınması (f=100 km)	ton	21	163,35	3 496
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar (2000 m)	m ³	4 870	8,17	39 776
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar (2000 m)	m ³	7 305	8,17	59 664
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar (2000 m)	m ³	12 175	8,17	99 439
ANALİZ	Karayolu ile taşımalar (2000 m)	m ³	4 313	8,17	35 222
				T O P L A M (TL)	15.288.000
				T O P L A M (\$)	566.000

Şekil 1.3 Örenaltı Yükleme Odası Keşif Özeti

EK-1. (devam) Örenaltı HES keşfi

Örenaltı Cebri Boru Keşif Özeti					
Poz No	İşin cinsi	Birimi	Miktarı	B.Fiyat(TL)	Tutarı(TL)
	1 -KAZI İŞLERİ				
B-15.306	Barajlarda yumuşak kaya zeminlerin kazılması,dolgu ve/veya depoya konulması	m ³	104	84,24	8.744
B-15.310	Barajlarda kaya kazılması,dolgu ve/veya depoya konulması	m ³	1.972	129,64	255.659
	2-BETON İŞLERİ				
B-16.501	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimentonun bedeli (A-Portlant çimentosu;TS 19 ;PÇ 32.5)	ton	242	2.071,88	501.068
55.116.1511	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve gravye kullanılarak betoniyele karıştırılan ,beton tulumbası ile dökülen ve vibratörle dövülen betonarme betonu	m ³	806	1.781,49	1.436.132
	3-KALIP ve DEMİR İŞLERİ				
55.210.2241	Her cins düz yüz.beton ve betonarme betonu kalıbı yapıl. (F2 cinsi)	m ²	55	696,41	38.013
55.210.1150	Her cins eğri yüzeyli beton ve betonarme betonu kalıbı yapılması (F2 cinsi)	m ²	53	384,80	20.415
55.230.1029	Açıktaki cebri borular ve çelik mesnetleri	kg	56.001	179,98	10.078.997
	4-TAŞIMALAR				
ANALİZ	Çimento Taşınması (f=150 km)	ton	242	245,03	59.257
ANALİZ	Kazı Taşınması (f=2000 m)	m ³	104	8,17	848
ANALİZ	Beton Agregası taşınması (f=2000 m)	m ³	1.209	8,17	9.876
ANALİZ	Kazı Taşınması (f=2000 m)	m ³	1.972	8,17	16.107
				T O P L A M (TL)	12.425.000
				T O P L A M (\$)	460.000

Şekil 1.4 Örenaltı Cebri Boru Keşif Özeti

EK-2. YEKDEM tarife

Çizelge 2.1 YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması) Tarife

YEKDEM Fiyatları – 01.10.2023 (TL kr/kWh)		
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Alım Fiyatı	Yerli Aksam Desteği
Rezervuarlı Hidroelektrik üretim tesisi	191,99	38,4
Nehir Tipi Hidroelektrik üretim tesisi	179,99	38,4
Karasal Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	141,32	38,4
Deniz Üstü Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	191,99	51,26
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	269,32	38,4
Çöp Gazı / Atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynaklar	141,32	38,4
Biyometanizasyon	230,65	38,4
Termal Bertaraf (Belediye atıkları, bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıklar, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri, sanayi atık çamurları ile arıtma çamurları)	179,86	28,77
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	141,32	38,4

EK-2. (devam) YEKDEM tarife

Rüzgar veya güneş enerjisine dayalı üretim tesisi ile bütünleşik elektrik depolama tesisi	166,65	51,26
Pompaj depolamalı hidroelektrik üretim tesisi	269,32	51,26
Dalga veya akıntı enerjisine dayalı üretim tesisi	179,99	51,26



EK-3. Örenaltı HES iç verim oranı (IRR) hesabı

	Yatırım Maliyet			
Toplam	26.228.249,13			
1. Yıl	9.704.452,18			
2. Yıl	16.523.796,95			
	Yıllık Operasyon Masrafı			
	171.522,00			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
6,00	117,57	6,23	882.173,27	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		9.704.452,18	-9.704.452,18	0,77%
2		16.523.796,95	-16.523.796,95	
3	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
4	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
5	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
6	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
7	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
8	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
9	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
10	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
11	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
12	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
13	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
14	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
15	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
16	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
17	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
18	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
19	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
20	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
21	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
22	882.173,27	210.569,00	671.604,27	
23	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
24	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
25	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
26	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
27	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
28	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
29	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
30	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
31	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
32	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
33	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
34	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
35	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
36	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
37	882.173,27	1.733.385,00	-851.211,73	
38	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
39	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
40	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
41	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
42	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
43	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
44	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
45	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
46	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
47	882.173,27	782.870,00	99.303,27	
48	882.173,27	171.522,00	710.651,27	
49	882.173,27	171.522,00	710.651,27	

Şekil 3.1 Örenaltı HES İç Verim Oranı Hesabı

EK-4. Çağlar Hes (2014) keşfi

METRAJ CETVELİ							
GÖVDE VE ENJEKSİYON İŞLERİ							
Ait Olduğu İş : ÇAĞLAR HES							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1310	Barajlarda kaya kazılması, dolgu veya depoya konulması	m ³	22.830	129,64	2.959.681	109.618
	55.115.1308	Barajlarda ocak ve/veya malzeme arıyet sahalarında yumuşak kaya kazılması ve dolgu, sedde ve/veya baraj dolgusu yapılması	m ³	3.108	94,68	294.265	10.899
	55.115.1052	Barajlarda titreşimli silindirlerle sedde, dolgu veya	saat	152	1.019,16	154.912	5.737
	55.115.1323	Barajlarda kaya dolgunun tazyikli su ile y ıkanması	m ³	10.375	23,61	244.954	9.072
	B.15.330	Baraj temeli kazısı ve dolguya hazırlanması	m ³	4.440	162,75	722.588	26.763
	55.115.1342	Barajlarda filtre malzemesi konulması (tuvenan)	m ³	431	36,79	15.856	587
	55.115.1343	Barajlarda filtre malzemesi konulması (elenmiş)	m ³	7.056	182,70	1.289.131	47.746
	55.115.1344	Barajlarda filtre malzemesi y ıkanması	m ³	7.056	12,71	89.682	3.322
	55.115.1444	Barajlarda kum ve grav y e y ıkanması	m ³	1.533	12,71	19.484	722
		ARA TOPLAM I				5.790.554	214.465
		İMALAT İŞLERİ					
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat aksamının bünyesine giren çimento bedeli (TS.19 -PÇ.32,5)	Ton	304	1.750,00	532.000	19.704
	55.116.1502	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve grav y e kullanılarak betoniyerle karıştırılan ve vibratörle	m ³	462	1.689,23	780.424	28.905
	55.116.1503	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve grav y e kullanılarak betoniyerle karıştırılan ve vibratörle	m ³	154	1.860,18	286.468	10.610
	55.116.1591	Öny üzü beton kaplamalı barajlarda idarece istenilen dozda kum ve kırmataş ile Betonarme betonu kaplaması yapılması	m ³	616	3.536,27	2.178.342	80.679
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	1.280	137,89	176.499	6.537
	55.210.1150	Her cins dü z yüzeyli beton veya betonarme kalıbı	m ²	1.825	384,80	702.260	26.010
	55.210.1152	F3 cinsi beton veya betonarme yüzeyi veren dü z	m ²	1.825	500,24	912.938	33.813
	55.230.1002	Barajlarda betonarme demiri (Ø 8-12 mm)	Ton	62	33.848,13	2.098.584	77.725
	55.230.1006	Barajlarda betonarme demiri (Ø 14 mm ve daha	Ton	62	30.407,50	1.885.265	69.825
		ARA TOPLAM II				9.552.781	353.807
		ENJEKSİYON İŞLERİ					
	31-16-7828	0-10 m arası nda orta sert formasyonda karotsuz enjeksiyon deliğinin açılması	m	900	2.411,11	2.170.001	80.370
	31-16-7829	10-30 m arası nda orta sert formasyonda karotsuz enjeksiyon deliğinin açılması	m	1.350	3.721,73	5.024.329	186.086
	31-7838	0-20 m arası nda delik boyunca 1 m.'ye ortalama 50-100 kg katı madde basılması	m ³	170	5.767,66	980.503	36.315
	31-7839	20-40 m arası nda delik boyunca 1 m.'ye ortalama 50-100 kg katı madde basılması	m ³	170	7.321,86	1.244.717	46.101
	B.16.501/A	Çimento bedeli	Ton	338	1.750,00	591.500	21.907
	10.450.9602	Bentonit bedeli	Ton	14	1.679,00	23.506	871
		ARA TOPLAM III				10.034.555	371.650
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (190 km)	Ton	642	310,37	199.254	7.380
	B.07.D/1	Bentonit taşınması (190 km)	Ton	14	310,37	4.345	161
	B.07.D/2-1	Demir nakli (986 km)	Ton	131	1.610,63	210.993	7.815
	B.07.D/5	Kaya nakli (2 km)	m ³	22.830	6,53	149.171	5.525
	B.07.D/4	Kum-Çakıl nakli (2 km)	m ³	9.020	6,53	58.937	2.183
	B.07.D/3	Sıyırma kazısı Nakli (2 km)	m ³	4.440	6,53	29.011	1.074
		ARA TOPLAM IV				651.711	24.137
		TOPLAM				26.029.601	964.059

Şekil 4.1. Çağlar HES 2014 Keşfi-Gövde Enjeksiyon

EK-4. (devam) ÇAĞLAR HES (2014) keşfi

METRAJ CETVELİ DİPSAVAK VE SUALMA YAPISI						
Ait Olduğu İş : ÇAĞLAR HES						
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Miktar	Birim	2013 Yılı DSİ Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)
		KAZI İŞLERİ				
	55.115.1310	Kaya kazılması	1.000	m³	129,64	129.640
					ARA TOPLAM I	129.640
		BETON İŞLERİ				
	55.116.1503	300 Doz Betonarme betonu	216	m³	1860,18	401.799
	55.116.1506	Tıkaç betonu	119	m³	1703,98	202.774
	B-16.501	Çimento	101	ton	2071,88	209.260
					ARA TOPLAM II	813.832
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ				
	55.230.1006	Betonarme Demiri	11	ton	30.407,50	334.482,50
	55.210.1151	F1 cinsi düz kalıp	140	m²	269,36	37.710,40
	55.210.2242	F3 cinsi eğri kalıp	320	m²	1.160,69	371.420,80
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	158	kg	137,89	21.786,62
					ARA TOPLAM III	765.400
		TAŞIMALAR VE DİĞER İŞLER				
	B-07.D/1	Çimento nakli (102 km)	101	ton	310,37	31.346,87
	B-07.D/4	Kum-çakıl nakli	419	m³	6,53	2.737,75
	B-07.D/2	Demir nakli (636 km)	11	ton	1.610,63	17.716,94
	B-07.D/5	Kaya kazısının taşınması	1.000	m³	6,53	6.534,00
	55.230.1023	Giriş ızgarası, her türlü demir kapak	5.625	kg	262,13	1.474.481,25
	55.230.1028	Cebri borular ve çelik mesnetleri	16.708	kg	81,00	1.353.348,00
	Faturalı	Kelebek Vana f1.80 m	1	adet	1.001.135,36	1.001.135,36
	Faturalı	Howell Bunker Vana f 1.80 m	1	adet	2.002.270,70	2.002.270,70
					ARA TOPLAM IV	5.889.571
					TOPLAM	7.598.444
						281.424

Şekil 4.2 Çağlar HES 2014 Keşfi-Dipsavak Su Alma Yapısı

EK-4. (devam) ÇAĞLAR HES (2014) keşfi

METRAJ CETVELİ DOLUSAVAK							
Ait Olduğu İş : ÇAĞLAR HES							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Miktar	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI, DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1301	Her cins klasta zeminin	933	m ³	22,23	20.741	768
	55.115.1306	Yumuşak kaya kazısı	467	m ³	84,24	39.340	1.457
	55.115.1310	Kaya kazılması	3.266	m ³	129,64	423.404	15.682
	55.115.1327	Kaplama betonunun altının	245	m ³	87,29	21.386	792
					ARA TOPLAM I	504.871	18.699
		BETON İŞLERİ					
	55.116.1503	Beton	441	m ³	1860,18	820.339	30.383
	B-16.501	Çimento Bedeli	132	ton	2071,88	273.488	10.129
					ARA TOPLAM II	1.093.828	40.512
		KALIP, DEMİR İŞLERİ					
	55.210.1151	F1 cinsi beton veya betonarme betonu	320	m ²	269,36	86.195	3.192
	55.210.1152	F3 cinsi beton veya betonarme betonu	32	m ²	500,24	16.008	593
	55.210.2242	F3 cinsi beton veya betonarme yüzeyi	74	m ²	1160,69	85.891	3.181
	55.210.1150	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme betonu kalıbı vanılması /F2	303	m ²	384,80	116.594	4.318
	55.230.1005	Betonarme demiri	22	ton	29473,13	648.409	24.015
	KGM/18.409/K	200 mm drenaj borusu	180	m	279,50	50.310	1.863
	55.118.1017	PVC Su tutucu	630	kg	137,89	86.871	3.217
					ARA TOPLAM III	1.090.278	40.381
		STABİLİZASYON İŞLERİ					
	55.115.1380	Kayadan gayri zemin şevlerinin düzeltilmesi	500	m ²	23,44	11.720	434
	55.115.1381	Kaya zeminde şev	500	m ²	93,75	46.875	1.736
	55.115.1382	Kaya zeminde prespliting ile şev yapılması	5.000	m ²	282,85	1.414.250	52.380
					ARA TOPLAM IV	1.472.845	54.550
		TAŞIMALAR					
	B-07.D/1	Çimento nakli (102 km)	132	ton	310,37	40.968	1.517
	B-07.D/2	Demir nakli (636 km)	22	ton	1610,63	35.434	1.312
	B-07.D/5	Kaya kazısının taşınması (2	3.266	m ³	6,53	21.340	790
	B-07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin taşınması (2	933	m ³	6,53	6.096	226
	B-07.D/3	Kum-Çakıl nakli (2 km)	551	m ³	6,53	3.600	133
					ARA TOPLAM VI	107.439	3.979
					TOPLAM	4.269.260	158.121

Şekil 4.3 Çağlar HES 2014 Keşfi-Dolusavak

EK-4. (devam) ÇAĞLAR HES (2014) keşfi

METRAJ CETVELİ ÇELİK BORU(L _{boru} = 4100 m)							
Ait Olduğu İş : ÇAĞLAR HES							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Miktar	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI-DOLGU İŞLERİ					
	KGM/14.101	Kayadan başka zemin kazılması	5.354	m ³	24,94	133.529	4.946
	55.115.1310	Kaya Kazısı	85.667	m ³	129,64	11.105.870	411.329
	55.115.1306	Yumuşak kaya kazılması	16.063	m ³	84,24	1.353.147	50.117
	55.115.1058	Lastik tekerlekli silindir veya paletli traktörle dolgu sıkıştırılması	41	saat	850,53	34.872	1.292
	55.350.1403	Kırmataş Malzeme ile kaplama aştu malzemesi hazırlanması ve yerine konması	14.997	m ³	199,59	2.993.251	110.861
	55.115.1311	Barajlarda kazılardan gelen kaya malzemesi ile dolgu, sedde ve/veya baraj dolgusu yapılması	6.191	m ³	22,44	138.926	5.145
					ARA TOPLAM I	15.759.595	583.689
		BETON İŞLERİ					
	55.116.1507	Betonarme betonu	3.000	m ³	1875,04	5.625.120	208.338
	B-16.501	Çimento	900	ton	2071,88	1.864.692	69.063
	55.115.1444	Kum-çakıl yıkınması	3.750	m ³	12,71	47.663	1.765
					ARA TOPLAM II	7.537.475	279.166
		DEMİR, İSKELE VE KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Betonarme Demiri	90	ton	29473,13	2.652.582	98.244
	55.210.1151	F1 cinsi düz kalıp	3.951	m ²	269,36	1.064.241	39.416
	PIYASA	Açıktaki cebro borular ve çelik mesnetleri	1.784.197	kg	81,00	144.519.957	5.352.591
					ARA TOPLAM III	148.236.780	5.490.251
		TAŞIMALAR					
	B-07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin kazısı taşınması (3 km)	5.354	m ³	8,17	43.729	1.620
	B-07.D/5	Kaya kazısının taşınması (5 km)	101.730	m ³	13,61	1.384.800	51.289
	B-07.D/1	Çimento Nakli (198 km)	900	ton	323,43	291.090	10.781
	B-07.D/2	Demir Nakli (986 km)	90	ton	1610,63	144.957	5.369
	B-07.D/4	Kum Çakıl Nakli (5 km)	18.747	m ³	13,61	255.194	9.452
					ARA TOPLAM IV	2.119.768	78.510
					ARA TOPLAM =	173.653.618	6.431.615

Şekil 4.4 Çağlar HES 2014 Keşfi-İletim Hattı (Çelik Boru)

METRAJ CETVELİ ŞANTİYE TESİSLERİ VE YOLLAR							
Ait Olduğu İş : ÇAĞLAR REGÜLATÖRÜ ve HES							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Miktar	Birim	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		ŞANTİYE TESİSLERİ					
	B-D.410	Şantiye tesisleri	300	m ²	15382,89	4.614.867	170.921
		SERVİS VE ULAŞIM YOLLARI					
	Ulaşım Yolu	Çağlar HES Rölakosyon Yolu	700	m	4738,23	3.316.761	122.843
	Ulaşım Yolu	Çağlar HES Köprü	2	adet	1579410,00	3.158.820	116.993
					ARA TOPLAM =	11.090.448	410.757

Şekil 4.5 Çağlar HES 2014 Keşfi-Şantiye Tesisleri ve Yollar

EK-4. (devam) ÇAĞLAR HES (2014) keşfi

	TESİS İNŞAAT KALEMLERİ	KEŞİF BEDELİ	
		(TL)	(US \$)
1	DERİVASYON VE SUALMA YAPISI	7.598.444	281.424
2	ÇAĞLAR GÖVDE	26.029.601	964.059
3	ÇAĞLAR DOLUSAVAK	4.269.260	158.121
4	ÇAĞLAR İLETİM HATTI (L=4100 m)	173.653.618	6.431.615
5	ÇAĞLAR SANTRAL	27.000.000	1000000
7	ELEKTROMEKANİK EKİPMAN	61.956.000	3.600.000
8	ENERJİ NAKİL HATTI	7.744.500	450.000
9	ŞANTİYE TESİSLERİ VE YOLLAR	11.090.448	410.757
	İNŞAAT İŞLERİ GENEL TOPLAMI :	319.341.870	13.295.977

Şekil 4.6 Çağlar HES 2014-İnşaat İşleri Keşif Özeti

EK-5. Çağlar HES (2014) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı

	Yatırım Maliyet			
Toplam	17.999.754,31			
1. Yıl	5.939.918,92			
2. Yıl	12.059.835,39			
	Yıllık Operasyon Masrafı			
	184.776,00			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
2,80	506,14	12,00	1.699.714,01	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		5.939.918,92	-5.939.918,92	7,87%
2		12.059.835,39	-12.059.835,39	
3	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
4	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
5	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
6	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
7	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
8	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
9	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
10	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
11	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
12	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
13	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
14	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
15	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
16	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
17	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
18	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
19	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
20	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
21	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
22	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
23	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
24	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
25	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
26	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
27	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
28	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
29	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
30	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
31	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
32	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
33	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
34	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
35	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
36	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
37	1.699.714,01	3.033.423,75	-1.333.709,74	
38	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
39	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
40	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
41	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
42	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
43	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
44	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
45	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
46	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
47	1.699.714,01	1.174.305,00	525.409,01	
48	1.699.714,01	171.522,00	1.528.192,01	
49	1.699.714,01	171.522,00	1.528.192,01	

Şekil 5.1 Çağlar HES (2014) İç Verim Oranı Hesabı

EK-6. Çağlar Hes (2017) keşfi

Çağlar Regülatörü ve HES Taşımlar Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No		Birim	B.F.	Birim		
DSİ 2017 Birim Fiyatları İle							
1	07-D/1	Beton nakli (ARTVİN 30 km)	ton	61,26	TL		
2	07.D/2	Demir nakli (986 km)	ton	1610,63	TL		
Çağlar Regülatörü ve HES Şantiye Tesisleri ve Yollar							
Sıra No	Poz No	İşin Cinsi ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ Birim Fiyatları İle							
1	55.350.1407	Şantiye Tesisleri	350	m ²	15.382,89	5.384.011,50	199.407,83
2		Menfez Yapımı (3x4 L=8)	4	adt	193.200,00	772.800,00	28.622,22
3		Tesis Yerlerine Ulaşım Yolu	500	m	4.738,23	2.369.115,00	87.745,00
					Toplam	8.525.927	315.775
Çağlar Regülatörü ve HES Regülatör Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Cinsi ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ 2017 Birim Fiyatları İle							
1	55.115.13.01	Kaya ve Batak Zemin Hariç Her Cins Zemin Kazısı	475,00	m ³	22,23	10.559,25	391,08
2	55.115.13.06	Yumuşak Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	285,00	m ³	84,24	24.008,40	889,20
3	55.115.13.10	Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	190,00	m ³	129,64	24.631,60	912,28
4	55.350.13.12	Duvar arka ve üstlerinin mevcut toprakla doldurulması	142,50	m ³	140,63	20.039,78	742,21
5	55.116.15.05	Betonarme betonu	3.250,00	m ³	1852,41	6.020.332,50	222.975,28
6	55.210.11.51	Düz yüzeyli kalıp (F1 Cinsi)	945,00	m ²	269,36	254.545,20	9.427,60
7	55.210.11.52	Düz yüzeyli kalıp (F3 Cinsi)	405,00	m ²	500,24	202.597,20	7.503,60
8	55.230.10.05	Barajlarda ø 14 ve büyük çaplı betonarme demiri	130,00	ton	29473,13	3.831.506,90	141.907,66
9	15.550.12.02	Basit Demir İşleri	650,00	kg	76,74	49.881,00	1.847,44
10	55.118.10.17	A Tipi PVC su tutucu	399,00	kg	137,89	55.018,11	2.037,71
11	07-D/1	Beton nakli (ARTVİN 30 km)	3.250,00	ton	61,26	199.082,81	7.373,44
12	07.D/2	Demir nakli (986 km)	130,00	ton	1610,63	209.382,03	7.754,89
13	B-07.D/3	Kazı malzemesi nakli (10 km)	807,50	m ³	27,23	21.984,19	814,23
					TOPLAM	10.923.569	404.576,63

Şekil 6.1 Çağlar HES (2017) İnşaat İşleri Keşfi

EK-6. (devam) Çağlar Hes (2017) keşfi

Çağlar Regülatörü ve HES Çökeltim Havuzu Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Cinsi ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ Birim Fiyatları İle							
1	55.115.13 01	Kaya ve Batak Zemin Hariç Her Cins Zemin Kazısı	795,00	m3	22,23	17.672,85	654,55
2	55.115.13 06	Yumuşak Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	477,00	m3	84,24	40.182,48	1.488,24
3	55.115.13 10	Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	318,00	m3	129,64	41.225,52	1.526,87
4	55.350.13 12	Duvar arka ve üstlerinin mevcut toprakla doldurulması	159,00	m3	140,63	22.360,17	828,15
5	55.116.15 05	Betonarme betonu	650,00	m3	1852,41	1.204.066,50	44.595,06
6	55.210.11 51	Düz yüzeyli kalıp (F1 Cinsi)	518,00	m2	269,36	139.528,48	5.167,72
7	55.210.11 52	Düz yüzeyli kalıp (F3 Cinsi)	222,00	m2	500,24	111.053,28	4.113,08
8	15.550.12 02	Barajlarda ø 14 ve büyük çaplı betonarme demiri	32,50	ton	29473,13	957.876,73	35.476,92
9	55.118.10 17	PVC su tutucu	270,75	kg	137,89	37.333,72	1.382,73
10	07-D/1	Beton nakli (ARTVİN 30 km)	650,00	ton	61,26	39.816,56	1.474,69
11	07.D/2	Demir nakli (986 km)	32,50	ton	1610,63	52.345,51	1.938,72
12	B-07.D/3	Kazı malzemesi nakli (10 km)	1.431,00	m3	27,23	38.958,98	1.442,93
					TOPLAM	2.702.421	100.089,66
Çağlar Regülatörü ve HES Tünel Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Cinsi ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ 2017 Birim Fiyatları İle							
1	43.630.1001	Her cins zeminde kazı kesiti 6 m2 den büyük olan tünel kazısı (ahşap geçici içsali)	61.370,40	m3	2217,98	136.118.319,79	5.041.419,25
2	55.116.150 5	Betonarme betonu	19.500,00	m3	1852,41	36.121.995,00	1.337.851,67
3	15.550.120 2	Barajlarda ø 14 ve büyük çaplı betonarme demiri	780,00	ton	29473,13	22.989.041,40	851.445,98
4	55.320.110 3	Tünelde kalıcı çelik iksa hazırlanması	150.000,00	kg	21,53	3.229.500,00	119.611,11
5	55.116.158 1	Yer altında püskürtme betonu (shotcrete) yapılması	2.200,00	ton	2418,89	5.321.558,00	197.094,74
6	07-D/1	Beton nakli (ARTVİN 30 km)	19.500,00	ton	61,26	1.194.496,88	44.240,63
7	07.D/2	Demir nakli (986 km)	780,00	ton	1610,63	1.256.292,18	46.529,34
8	B-07.D/3	Kazı malzemesi nakli (10 km)	61.370,40	m3	27,23	1.670.809,14	61.881,82
					TOPLAM	207.902.012	7.638.193
Çağlar Regülatörü ve HES Yükleme Havuzu Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Cinsi ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ Birim Fiyatları İle							
1	55.115.130 1	Kaya ve Batak Zemin Hariç Her Cins Zemin Kazısı	140,00	m3	22,23	3.112,20	115,27
2	55.115.130 6	Yumuşak Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	280,00	m3	84,24	23.587,20	873,60
3	55.115.131 0	Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	280,00	m3	129,64	36.299,20	1.344,41
4	55.350.131 2	Duvar arka ve üstlerinin mevcut toprakla doldurulması	280,00	m3	140,63	39.376,40	1.458,39
5	55.116.150 5	Betonarme betonu	1.142,00	m3	1852,41	2.115.452,22	78.350,08
6	55.210.115 1	Düz yüzeyli kalıp (F1 Cinsi)	660,00	m2	269,36	177.777,60	6.584,36
7	55.210.115 2	Düz yüzeyli kalıp (F3 Cinsi)	660,00	m2	500,24	330.158,40	12.228,09
8	15.550.120 2	Barajlarda ø 14 ve büyük çaplı betonarme demiri	45,68	ton	29473,13	1.346.332,58	49.864,17
10	55.118.101 7	A tipi PVC su tutucu	438,90	kg	137,89	60.519,92	2.241,48
11	07-D/1	Beton nakli (ARTVİN 30 km)	1.142,00	ton	61,26	69.954,64	2.590,91
12	07.D/2	Demir nakli (986 km)	45,68	ton	1610,63	73.573,62	2.724,95
13	B-07.D/3	Kazı malzemesi nakli (10 km)	140,00	m3	27,23	3.811,50	141,17
					TOPLAM	4.279.955	158.517

Şekil 6.2 Çağlar HES (2017) İnşaat İşleri Keşfi (devam)

EK-6. (devam) Çağlar Hes (2017) keşfi

Çağlar Regülatörü ve HES Hidromekanik Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Adı ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ 2017 Birim Fiyatları İle							
1	55.230.10 23	Cebri boru giriş ızgarası	157,00	kg	262,13	41.154,41	1.524,24
2	55.230.10 23	Cebri boru giriş kapağı	157,00	kg	262,13	41.154,41	1.524,24
3	55.230.10 25	Cebri boru giriş kap. kaldırma tert.	23,55	kg	412,35	9.710,84	359,66
4	55.230.10 24	Çakıl Geçidi Kapağı ve Gömülü Parçaları	265,33	kg	301,45	79.983,73	2.962,36
5	55.230.10 25	Çakıl Geçidi Kapak Kaldırma Tertibatı	66,33	kg	412,35	27.351,18	1.013,01
6	55.230.10 23	Su alma yapısı giriş ızgarası	2.100,00	kg	262,13	550.473,00	20.387,89
7	55.230.10 23	Su Alma Yapısı Kapağı	3.200,00	kg	262,13	838.816,00	31.067,26
8	55.230.10 25	Su Alma Yapısı Kapak Kaldırma Tertibatı	780,00	kg	412,35	321.633,00	11.912,33
9	B-23.D/8	Santral binası gezer vinci (30 ton)	1	adet	998.340,00	998.340,00	36.975,56
					TOPLAM	2.908.617	107.727
Çağlar Regülatörü ve HES Cebri Boru Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Adı ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ 2017 Birim Fiyatları İle							
1	55.115.13 01	Kaya ve Batak Zemin Hariç Her Cins Zemin Kazısı	6,90	m ³	22,23	153,39	5,68
2	55.115.13 06	Yumuşak Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	27,59	m ³	84,24	2.324,18	86,08
3	55.115.13 10	Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	34,48	m ³	129,64	4.469,99	165,56
4	55.210.11 51	Düz yüzeyli kalıp (F1 Cinsi)	37,44	m ²	269,36	10.084,84	373,51
5	55.116.15 05	Betonarme betonu	47,04	m ³	1.852,41	87.137,37	3.227,31
6	15.550.12 02	Barajlarda ø 14 ve büyük çaplı betonarme demiri	1,88	ton	29.473,13	55.409,48	2.052,20
7	55.230.10 29	Açıktaki cebri borular ve çelik mesnetleri	33.145,06	kg	179,98	5.965.447,90	220.942,51
8	07-D/1	Beton nakli (ARTVN 30 km)	47,04	ton	61,26	2.881,49	106,72
9	07.D/2	Demir nakli (986 km)	1,88	ton	1.610,63	3.027,99	112,15
10	07.005	Kazı malzemesi nakli (5 km)	3.542,00	m	27,23	96.430,95	3.571,52
					TOPLAM	6.227.368	230.643
Çağlar Regülatörü ve HES Santral Binası Keşif Tablosu							
Sıra No	Poz No	İşin Adı ve Tarifi	Miktarı	Birimi	Birim Fiyatı (TL)	Tutarı (TL)	Tutarı (\$)
DSİ 2017 Birim Fiyatları İle							
1	55.115.13 01	Kaya ve Batak Zemin Hariç Her Cins Zemin Kazısı	3.618,75	m ³	22,23	80.444,81	2.979,44
2	55.115.13 06	Yumuşak Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	14.475,00	m ³	84,24	1.219.374,00	45.162,00
3	55.115.13 10	Kaya Kazılması ve Depoya Konulması	18.093,75	m ³	129,64	2.345.673,75	86.876,81
4	55.350.13 12	Duvar arka ve üstlerinin mevcut toprakla doldurulması	3.618,75	m ³	140,63	508.904,81	18.848,33
5	55.116.15 05	Betonarme betonu	6.654,00	m ³	1.852,41	12.325.936,14	456.516,15
6	15.550.12 02	Barajlarda ø 14 ve büyük çaplı betonarme demiri	465,78	ton	29.473,13	13.727.994,49	508.444,24
7	55.210.11 51	Düz yüzeyli beton ve betonarme betonu yüzeyi kalıbı (F2 cinsi)	2.190,00	m ²	269,36	589.898,40	21.848,09
9	55.118.10 17	A tipi PVC su tutucu	2.800,00	kg	137,89	386.092,00	14.299,70
10		Çatı yalıtımı,sıva,boya,havalandırma,yalıtım,drenaj,aydınlatma işleri		x		0,00	0,00
11	07-D/1	Beton nakli (ARTVN 30 km)	6.654,00	ton	61,26	407.599,09	15.096,26
12	07.D/2	Demir nakli (986 km)	465,78	ton	1.610,63	750.199,71	27.785,17
13	07.006/12	Kazı malzemesi taşınması (1 km'ye)	21.712,50	m ³	27,23	591.122,81	21.893,44
					TOPLAM	32.933.240	1.219.750

Şekil 6.3 Çağlar HES (2017) İnşaat İşleri Keşfi (devam)

EK-7. Çağlar Hes (2017) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı

	Yatırım Maliyet			
Toplam	18.099.635,50			
1. Yıl	5.972.879,72			
2. Yıl	12.126.755,79			
	Yıllık Operasyon Masrafı			
	188.781,79			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
2,70	533,98	12,00	1.699.714,01	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		5.972.879,72	-5.972.879,72	7,80%
2		12.126.755,79	-12.126.755,79	
3	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
4	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
5	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
6	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
7	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
8	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
9	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
10	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
11	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
12	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
13	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
14	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
15	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
16	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
17	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
18	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
19	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
20	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
21	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
22	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
23	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
24	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
25	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
26	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
27	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
28	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
29	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
30	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
31	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
32	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
33	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
34	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
35	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
36	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
37	1.699.714,01	3.033.423,75	-1.333.709,74	
38	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
39	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
40	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
41	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
42	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
43	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
44	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
45	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
46	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
47	1.699.714,01	1.174.305,00	525.409,01	
48	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
49	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	

Şekil 7.1 Çağlar HES İç Verim Oranı Hesabı

EK-8. Çamlık Hes (2011) Keşfi

METRAJ CETVELİ							
GÖVDE VE ENJEKSİYON İŞLERİ							
Ait Olduğu İş : ÇAMLIK HES-REGÜLATÖR GÖVDE VE ÇAKIL							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	3.520	22,23	78.250	2.898
	55.115.1306	Barajlarda yumuşak kaya	m3	880	84,24	74.131	2.746
		ARA TOPLAM I				152.381	5.644
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1502	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve	m3	726	1.689,23	1.226.381	45.422
	55.116.1509	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	2904	1.789,25	5.195.982	192.444
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat	ton	1089	2.071,88	2.256.277	83.566
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	1500	137,89	206.835	7.661
		ARA TOPLAM II				8.885.475	329.092
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <t> 14 ve daha büyük çaplı)	ton	70	29.473,13	2.054.277	76.084
	55.230.1006	B- 23 00211 Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <t>)	ton	17	30.407,50	529.091	19.596
	55.210.1150	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme B-21.015 betonu kalıbı yapılması (F2 cinsi)	m2	14987	384,80	5.766.998	213.593
	55.210.5400	B-21.054 Binalarda 4-8 m yükseklik için kalıp	m3	827	30,75	25.430	942
	55.210.2242	B-21.024/2 F3 cinsi eğri kalıp	m2	440	1.160,69	510.704	18.915
	55.230.1023	B- _ Dolu Gö, ije işletme Kapakları ve Gömülü	kg	10791	262,13	2.828.645	104.765
	55.230.1023	Çakıl Geçidi Batardo Kapağı ve Gömülü Aksamı (1 tk)	kg	1542	262,13	404.204	14.971
	55.230.1025	Kapak Kaldırma Tertibatı ve Kumanda Techizatı (Çakıl Geçidi ve Dolu Gö, ije)	kg	2484	412,35	1.024.277	37.936
		ARA TOPLAM II				13.143.626	486.801
		STABİLİZASYON İŞLERİ					
	55.117.1029	Ocak moloz taşıyla tahkimat	m3	1000	716,46	716.460	26.536
		ARA TOPLAM II				716.460	26.536
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	1089	196,02	213.466	7.906
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	87	245,03	21.317	790
	B.07.D/4	Kum-Kırmetaş nakli (2 km)	m3	4538	6,53	29.651	1.098
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	3520	6,53	23.000	852
	B.07.D/3	Kaya taşınması (2 km)	m3	880	6,53	5.750	213
	B.07.D/3	Ocaktan Kaya taşınması (2 km)	m3	1000	6,53	6.534	242
		ARA TOPLAM II				299.718	11.101
		ARA TOPLAM I				23.197.660	859.173

Şekil 8.1 Çamlık Regülatörü ve HES İnşaat İşleri Keşfi (2011)

EK-8. (devam) ÇAMLIK HES (2011) Keşfi

Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-REGÜLATÖR GÖVDE VE ÇAKIL							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	1.760	22,23	39.125	1.449
	55.115.1306	Barajlarda yumuşak kaya	m3	440	84,24	37.066	1.373
		ARA TOPLAM I				76.190	2.822
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1502	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve	m3	363	1.689,23	613.190	22.711
	55.116.1509	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	1452	1.789,25	2.597.991	96.222
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat	ton	545	2.071,88	1.129.175	41.821
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	750	137,89	103.418	3.830
		ARA TOPLAM II				4.443.774	164.584
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <t> 14 ve daha büyük çaplı)	ton	35	29.473,13	1.025.665	37.988
	55.230.1006	B- 23 00211 Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <t>)	ton	9	30.407,50	264.545	9.798
	55.210.1150	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme B-21.015 betonu kalıbı yapılması (F2 cinsi)	m2	7494	384,80	2.883.691	106.803
	55.210.5400	B-21.054 Binalarda 4-8 m yükseklik için kalıp	m3	413	30,75	12.700	470
	55.210.2242	B-21.024/2 F3 cinsi eğri kalıp	m2	220	1.160,69	255.352	9.457
	55.230.1023	B- _ Dolu Göi, ije işletme Kapakları ve Gömülü	kg	1542	262,13	404.204	14.971
	55.230.1023	Kapak Kaldırma Tertibatı ve Kumanda Teçhizatı (Çakıl Geçidi ve Dolu Göi, ije)	kg	311	262,13	81.522	3.019
		ARA TOPLAM II				4.927.680	182.507
		STABİLİZASYON İŞLERİ					
	55.117.1029	Ocak moloz taşıyla tahkimat	m3	500	716,46	358.230	13.268
		ARA TOPLAM II				358.230	13.268
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	545	196,02	106.831	3.957
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	44	245,03	10.781	399
	B.07.D/4	Kum-Kırmetaş nakli (2 km)	m3	2269	6,53	14.826	549
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	1760	6,53	11.500	426
	B.07.D/3	Kaya taşınması (2 km)	m3	440	6,53	2.875	106
	B.07.D/3	Ocaktan Kaya taşınması (2 km)	m3	500	6,53	3.267	121
		ARA TOPLAM II				150.079	5.558
		ARA TOPLAM I				9.955.953	368.739

Şekil 8.2 Çamlık Regülatörü ve HES İnşaat İşleri Keşfi (2011) (devam)

EK-8. (devam) ÇAMLIK HES (2011) Keşfi

Ait Olduğu İş : ÇAMLIK HES-REGÜLATÖR SU ALMA YAPISI VE ÇÖKELTİM HAVUZU							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	1.840	22,23	40.903	1.515
	55.115.1306	Barajlarda yumuşak kaya	m3	2.760	84,24	232.502	8.611
		ARA TOPLAM I				273.406	10.126
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1502	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve	m3	462	1.689,23	780.424	28.905
	55.116.1509	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	1846	1.789,25	3.302.956	122.332
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat	ton	692	2.071,88	1.433.741	53.102
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	1400	137,89	193.046	7.150
		ARA TOPLAM II				5.710.167	211.488
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <t> 14 ve daha büyük çaplı)	ton	28	29.473,13	825.248	30.565
	55.230.1006	B- 23 00211 Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <t> 14 ve daha büyük çaplı)	ton	28	30.407,50	851.410	31.534
	55.210.1150	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme B-21.015 betonu kalıbı yapılması (F2 cinsi)	m2	3300	384,80	1.269.840	47.031
	55.230.1023	Giriş izgarası	kg	2000	262,13	524.260	19.417
	Maktuen	izgara Temizleme Makinası	adet	2	965.455,19	1.930.910	71.515
	55.230.1023	Su Alma Yapısı işletme Kapakları ve Gömülü Aksamı (2 tk)	kg	3083	262,13	808.147	29.931
	55.230.1023	Su Alma Yapısı Batardo Kapağı ve Gömülü Aksamı (1 tk)	kg	1542	262,13	404.204	14.971
	55.230.1025	Kapak Kaldırma Tertibatı ve Kumanda Teçhizatı (Çakıl Geçidi ve Dolu Göli, je)	kg	932	412,35	384.310	14.234
		ARA TOPLAM II				6.998.329	259.197
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	692	196,02	135.646	5.024
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	55	245,03	13.476	499
	B.07.D/4	Kum-Kırmetaş nakli (2 km)	m3	2885	6,53	18.851	698
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	1840	6,53	12.023	445
	B.07.D/3	Kaya taşınması (2 km)	m3	2760	6,53	18.034	668
		ARA TOPLAM II				198.029	7.334
		ARA TOPLAM I				13.179.931	488.146

Şekil 8.3 Çamlık Regülatörü ve HES İnşaat İşleri Keşfi (2011) (devam)

EK-8. (devam) ÇAMLIK HES (2011) Keşfi

Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-REGÜLATÖR GÖVDE VE ÇAKIL							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	920	22,23	20.452	757
	55.115.1306	Barajlarda yumuşak kaya	m3	1.380	84,24	116.251	4.306
		ARA TOPLAM I				136.703	5.063
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1502	Barajlarda idarece istenilen dozda kum ve	m3	231	1.689,23	390.212	14.452
	55.116.1509	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	923	1.789,25	1.651.478	61.166
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat	ton	346	2.071,88	716.870	26.551
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	700	137,89	96.523	3.575
		ARA TOPLAM II				2.855.083	105.744
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı <1>	ton	14	29.473,13	412.624	15.282
	55.230.1006	B- 23 00211 Barajlarda betonarme demiri	ton	14	30.407,50	425.705	15.767
	55.210.1150	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme B-	m2	1650	384,80	634.920	23.516
	B-23.255	Barajlarda betonarme demiri (yerli malı >4>	kg	1000	16,00	15.996	592
	Maktuen	DEMİR, İSKELE VE KALIP İŞLERİ	adet	1	965.481,00	965.481	35.759
	55.230.1023	Su Alma Yapısı işletme Kapakları ve	kg	3083	262,13	808.147	29.931
	55.230.1023	Su Alma Yapısı Batardo Kapağı ve	kg	1542	262,13	404.204	14.971
	55.230.1025	Kapak Kaldırma Tertibatı ve Kumanda	kg	932	412,35	384.310	14.234
		ARA TOPLAM II				4.051.387	150.051
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	346	196,02	67.823	2.512
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	28	245,03	6.861	254
	B.07.D/4	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	1443	6,53	9.429	349
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	920	6,53	6.011	223
	B.07.D/3	Kaya taşınması (2 km)	m3	1380	6,53	9.017	334
		ARA TOPLAM II				99.140	3.672
		ARA TOPLAM I				7.142.314	264.530
Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-DERİVASYON TUNELİ L=2500							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI İŞLERİ					
	43.630.1001	Tünel Kazısı	m3	35.729	2.217,98	79.246.207	2.935.045
		ARA TOPLAM				79.246.207	2.935.045
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1536	Tünel BA Betonu	m3	6806	2.279,69	15.515.570	574.651
	B.16.501	Barajlarda her türlü inşaat	ton	2042	2.071,88	4.230.779	156.696
		ARA TOPLAM II				19.746.349	731.346
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Tünel Betonarme Demiri	ton	680	29.473,13	20.041.728	742.286
	55.210.7723	Tünelde F3 Cinsi eğri kalıp	m2	14137	1.337,11	18.902.724	700.101
	55.210.7713	Tünelde F3 düz kalıp	m2	13655	554,11	7.566.372	280.236
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	0	137,89	0	0
		ARA TOPLAM II				46.510.825	1.722.623
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	2042	196,02	400.273	14.825
	B.07.D/4	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	8847	6,53	57.806	2.141
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	680	245,03	166.617	6.171
	B.07.D/5	Tünel Kazısı taşınması (2 km)	m3	35729	6,53	233.453	8.646
		ARA TOPLAM II				858.149	31.783
		ARA TOPLAM I				146.361.530	5.420.797

Şekil 8.4 Çamlık Regülatörü ve HES İnşaat İşleri Keşfi (2011) (devam)

EK-8. (devam) ÇAMLIK HES (2011) Keşfi

Ait Olduğu İş : ÇAMLIK HES-DERİVASYON TUNELİ L=2500							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI İŞLERİ					
	43.630.1001	Tünel Kazısı	m3	54.208	2.217,98	120.232.260	4.453.047
		ARA TOPLAM				120.232.260	4.453.047
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1536	Tünel BA Betonunu	m3	10325	2.279,69	23.537.799	871.770
	B.16.501	Barajlarda her türlü inşaat	ton	3098	2.071,88	6.418.684	237.729
		ARA TOPLAM II				29.956.483	1.109.499
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Tünel Betonarme Demiri	ton	1032	29.473,13	30.416.270	1.126.529
	55.210.7723	Tünelde F3 Cinsi eğri kalıp	m2	21449	1.337,11	28.679.672	1.062.210
	55.210.7713	Tünelde F3 düz kalıp	m2	20483	554,11	11.349.558	420.354
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	0	137,89	0	0
		ARA TOPLAM II				70.445.501	2.609.093
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	3098	196,02	607.270	22.491
	B.07.D/4	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	13423	6,53	87.706	3.248
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	1032	245,03	252.866	9.365
	B.07.D/5	Tünel Kazısı taşınması (2 km)	m3	54208	6,53	354.195	13.118
		ARA TOPLAM II				1.302.037	48.224
		ARA TOPLAM I				221.936.281	8.219.862
Ait Olduğu İş : ÇAMLIK HES-YÜKLEME HAVUZU							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1310	Kaya Kazılması	m3	7.981	129,64	1.034.657	38.321
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	887	22,23	19.718	730
	55.115.1308	Kazıdan gelen kaya malzeme ile	m3	623	94,68	58.986	2.185
		ARA TOPLAM I				1.113.360	41.236
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1507	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	2310	1.875,04	4.331.342	160.420
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat	ton	739	2.071,88	1.531.119	56.708
		ARA TOPLAM II				5.862.462	217.128
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Betonarme Demiri	ton	173	29.473,13	5.098.851	188.846
	55.210.1151	F1 Cinsi Düz Kalıp	m2	1069	269,36	287.946	10.665
	55.210.1150	F2 Cinsi Düz Kalıp	m2	1023	384,80	393.650	14.580
	55.210.1152	F3 Cinsi Düz Kalıp	m2	0	500,24	0	0
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	6382	137,89	880.014	32.593
		ARA TOPLAM II				6.660.462	246.684
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	739	196,02	144.859	5.365
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	173	245,03	42.389	1.570
	B.07.D/4	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	2888	6,53	18.870	699
	B.07.D/5	Kaya taşınması (2 km)	m3	7981	6,53	52.148	1.931
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	887	6,53	5.796	215
		ARA TOPLAM II				264.062	9.780
		ARA TOPLAM I				13.900.346	514.828

Şekil 8.5 Çamlık Regülatörü ve HES İnşaat İşleri Keşfi (2011) (devam)

EK-8. (devam) ÇAMLIK HES (2011) Keşfi

Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-VANA ODASI							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1310	Kaya Kazılması	m3	2.163	129,64	280.411	10.386
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	240	22,23	5.335	198
	55.115.1308	Kazıdan gelen kaya malzeme ile	m3	274	94,68	25.942	961
		ARA TOPLAM I				311.689	11.544
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1507	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	468	1.875,04	877.519	32.501
	B.16.501	Barajlarda her türlü inşaat	ton	150	2.071,88	310.782	11.510
		ARA TOPLAM II				1.188.301	44.011
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1005	Betonarme Demiri	ton	35	29.473,13	1.031.560	38.206
	55.210.1151	F1 Cinsi Düz Kalıp	m2	0	269,36	0	0
	55.210.1150	F2 Cinsi Düz Kalıp	m2	361	384,80	138.913	5.145
	55.210.1152	F3 Cinsi Düz Kalıp	m2	0	500,24	0	0
		ARA TOPLAM II				1.170.472	43.351
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	150	196,02	29.403	1.089
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	35	245,03	8.576	318
	B.07.D/4	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	586	6,53	3.829	142
	B.07.D/5	Kaya taşınması (2 km)	m3	2163	6,53	14.133	523
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	240	6,53	1.568	58
		ARA TOPLAM II				57.509	2.130
	FATURALI	Kelebek Vana				300.000	11.111
		ARA TOPLAM I				3.027.971	112.147
Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-SANTRAL BİNASI							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	55.115.1310	Kaya Kazılması	m3	2.417	129,64	313.340	11.605
	55.115.1301	Barajlarda kaya ve bataklık zeminler	m3	3.625	22,23	80.584	2.985
		ARA TOPLAM I				393.924	14.590
		Beton İŞLERİ					
	55.116.1507	Barajlarda idarece istenilen dozda	m3	1257	1.875,04	2.356.925	87.294
	B.16.501/A	Barajlarda her türlü inşaat	ton	402	2.071,88	832.896	30.848
		ARA TOPLAM II				3.189.821	118.142
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	55.230.1029	Açıkta Cebri Boru ve Çelik Mesnetleri	kg	542	179,98	97.549	3.613
	55.230.1005	Betonarme Demiri	ton	38	29.473,13	1.119.979	41.481
	55.210.1151	F1 Cinsi Düz Kalıp	m2	88	269,36	23.704	878
		ARA TOPLAM II				1.241.232	45.972
		TAŞIMALAR					
	B.07.D/1	Çimento nakli (120 km)	ton	402	196,02	78.800	2.919
	B.07.D/2	Demir nakli (150 km)	ton	38	245,03	9.311	345
	B.07.D/4	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	1572	6,53	10.271	380
	B.07.D/5	Kaya taşınması (2 km)	m3	2417	6,53	15.793	585
	B.07.D/4	Kaya ve bataklık zemin hariç her cins zemin	m3	3625	6,53	23.686	877
		ARA TOPLAM II				137.861	5.106
		ARA TOPLAM I				4.962.837	183.809
		TOPLAM				443.664.823	16.432.030

Şekil 8.6 Çamlık Regülatörü ve HES İnşaat İşleri Keşfi (2011) (devam)

EK-8. (devam) ÇAMLIK HES (2011) Keşfi

	TESİS İNŞAAT KALEMLERİ	KEŞİF BEDELİ	
		(TL)	(US \$)
1	DERİVASYON ve BATARDOLAR	6.480.000	240.000
2	REGÜLATÖRLER ve ÇAKIL GEÇİTLERİ	9.955.953	1.227.912
3	SU ALMA YAPILARI VE ÇÖKELTİM HAVUZLARI	20.322.245	752.676
4	İLETİM HATLARI	368.297.811	13.640.660
5	YÜKLEME HAVUZU	13.900.346	514.828
6	CEBRİ BORU ve VANA ODASI	3.027.971	112.147
7	SANTRAL BİNASI	4.962.837	183.809
8	ŞANTIYE TESİSLERİ ve ULAŞIM YOLLARI	16.200.000	600.000
	İNŞAAT İŞLERİ GENEL TOPLAMI :	443.147.163	17.272.030

Şekil 8.7 Çamlık HES Keşif Özeti (2011)

EK-9. Çamlık HES (2011) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı

	Yatırım Maliyet			
Toplam	22.961.226,78			
1. Yıl	7.577.204,84			
2. Yıl	15.384.021,95			
	Yıllık Operasyon Masrafı			
	197.686,00			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
16,00	70,42	9,83	1.747.954,17	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		7.577.204,84	-7.577.204,84	6,06%
2		15.384.021,95	-15.384.021,95	
3	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
4	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
5	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
6	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
7	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
8	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
9	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
10	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
11	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
12	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
13	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
14	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
15	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
16	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
17	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
18	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
19	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
20	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
21	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
22	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
23	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
24	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
25	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
26	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
27	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
28	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
29	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
30	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
31	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
32	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
33	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
34	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
35	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
36	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
37	1.747.954,17	3.759.700,00	-2.011.745,83	
38	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
39	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
40	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
41	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
42	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
43	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
44	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
45	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
46	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
47	1.747.954,17	1.467.881,25	280.072,92	
48	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
49	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	

Şekil 9.1 Çamlık HES İç Verim Oranı Hesabı (2011)

EK-10. Çamlık Hes (2020) Keşfi

METRAJ CETVELİ GÖVDE VE ENJEKSİYON İŞLERİ							
Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-DOLUSAVAK VE DÜŞÜ							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı (TL)	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	52.115.1310	Barajlarda kaya kazılması	m3	1.700	129,64	220.388	8.163
	52.115.1304	Barajlarda kaya ve bataklık	m3	6.800	20,78	141.304	5.233
		ARA TOPLAM I				361.692	13.396
		Beton İŞLERİ					
	52.140.1104	Barajlarda idarece istenilen	m3	1868	831,75	1.553.310	57.530
	52.140.1002	Barajlarda her türlü inşaat	ton	560	2.015,63	1.129.277	41.825
		ARA TOPLAM II				2.682.587	99.355
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	52.180.1023	Barajlarda betonarme demiri (yerli)	ton	47	26.029,58	1.215.321	45.012
	55.210.1152	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme B-21.015 betonu	m2	277	500,24	138.466	5.128
	55.210.2242	Her cins düz yüzeyli beton ve betonarme B-21.015 betonu	m2	370	1.160,69	429.780	15.918
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	413	137,89	56.983	2.110
		ARA TOPLAM II				1.840.551	68.169
		TAŞIMALAR					
	07.006/37	Çimento nakli (80 km)	ton	560	130,68	73.215	2.712
	07.006/45	Demir nakli (230 km)	ton	47	375,71	17.542	650
	55.107.1003	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	2334	6,53	15.253	565
	55.107.1003	Kaya taşınması (2 km)	m3	1700	6,53	11.108	411
	55.107.1003	Kaya ve bataklık zemin hariç her	m3	6800	6,53	44.431	1.646
		ARA TOPLAM II				161.548	5.983
		ARA TOPLAM I				5.046.378	186.903
Alt Olduğu İş : ÇAMLIK HES-ÇAKIL GEÇİDİ							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	52.115.1310	Barajlarda kaya kazılması	m3	99	129,64	12.834	475
	52.115.1304	Barajlarda kaya ve bataklık	m3	396	20,78	8.229	305
		ARA TOPLAM I				21.063	780
		Beton İŞLERİ					
	52.140.1104	Barajlarda idarece istenilen	m3	225	831,75	186.811	6.919
	52.140.1002	Barajlarda her türlü inşaat	ton	67	2.015,63	135.813	5.030
		ARA TOPLAM II				322.624	11.949
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	52.180.1023	Barajlarda betonarme demiri (yerli)	ton	11	26.029,58	292.312	10.826
	55.210.1152	Her cins düz yüzeyli beton ve	m2	312	500,24	156.075	5.781
		ARA TOPLAM II				448.387	16.607
		TAŞIMALAR					
	07.006/37	Çimento nakli (80 km)	ton	67	130,68	8.805	326
	07.006/45	Demir nakli (230 km)	ton	11	375,71	4.219	156
	55.107.1003	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	ton	281	6,53	1.834	68
	55.107.1003	Kaya ve bataklık zemin hariç her	m3	99	6,53	647	24
	55.107.1003	Kum -kırmataş nakli (2 km)	m3	396	6,53	2.587	96
		ARA TOPLAM II				18.093	670
		ARA TOPLAM I				810.168	30.006
		MEKANİK AKSAMLAR					
	52.180.1050	Her türlü demir kapak, kapak	kg	5000	228,99	1.144.950	42.406
		ARA TOPLAM I				1.144.950	42.406
		ARA TOPLAM I				1.955.118	72.412

Şekil 10.1 Çamlık HES İnşaat İşleri Keşfi (2020)

EK-10. (devam) Çamlık Hes (2020) Keşfi

Ait Olduğu İş : ÇAMLIK HES-DOLUSAVAK ve DÜŞÜ HAVUZU							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	52.115.1310	Barajlarda kaya kazılması	m3	299	129,64	38.698	1.433
	52.115.1304	Barajlarda kaya ve bataklık	m3	1.194	20,78	24.811	919
		ARA TOPLAM I				63.509	2.352
		Beton İŞLERİ					
	52.140.1104	Barajlarda idarece istenilen	m3	1151	831,75	957.660	35.469
	52.140.1002	Barajlarda her türlü inşaat	ton	345	2.015,63	696.219	25.786
		ARA TOPLAM II				1.653.879	61.255
		DEMİR, İSKELE ve KALIP İŞLERİ					
	52.180.1023	Barajlarda betonarme demiri (yerli)	ton	29	26.029,58	749.131	27.746
	55.210.1152	Her cins düz yüzeyli beton ve	m2	765	500,24	382.684	14.173
	55.118.1017	A tipi PVC su tutucu	kg	285	137,89	39.299	1.456
		ARA TOPLAM II				1.171.114	43.375
		TAŞIMALAR					
	07.006/37	Çimento nakli (80 km)	ton	345	130,68	45.138	1.672
	07.006/45	Demir nakli (230 km)	ton	29	375,71	10.813	400
	55.107.1003	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	1439	6,53	9.404	348
	55.107.1003	Kaya Kazısı nakli (2 km)	m3	299	6,53	1.950	72
	55.107.1003	Kaya ve bataklık zemin hariç her	m3	1194	6,53	7.802	289
		ARA TOPLAM II				75.107	2.782
		ARA TOPLAM I				2.963.608	109.763
Ait Olduğu İş : ÇAMLIK HES-GÖMÜLÜ CEBRİ BORU- L=510 metre							
Sıra No	Poz No.	Yapılan İşin Cinsi	Birim	Miktar	Birim Fiyatı	Toplam (TL)	Toplam (US \$)
		KAZI VE DOLGU İŞLERİ					
	52.130.1001	Küskülük ve kayadan	m3	6.059	54,96	332.992	12.333
	52.130.1002	Her cins küskülük zeminde	m3	2.020	82,63	166.880	6.181
		ARA TOPLAM I				499.871	18.514
		Beton İŞLERİ					
	52.125.1106	Makine ile granülometrik	m3	2084	201,68	420.325	15.568
	52.125.1107	Makine ile tuvenan kum-	m3	499	101,68	50.711	1.878
	52.125.1108	Makine ile kırmataş	m3	1263	234,00	295.474	10.943
		ARA TOPLAM II				766.510	28.389
		BORU BEDELİ					
	PIYASA	Cebri Borular ve Çelik Mesnetleri	kg	242290	54,00	13.083.681	484.581
		ARA TOPLAM II				13.083.681	484.581
		TAŞIMALAR					
	07.006/45	Boru nakli (230 km)	ton	242	375,71	91.030	3.371
	55.107.1003	Kum-Kırmataş nakli (2 km)	m3	4649	6,53	30.377	1.125
	55.107.1003	Stabilize Nakli	m3	2273	6,53	14.851	550
		ARA TOPLAM II				136.258	5.047
		ARA TOPLAM I				14.486.320	536.530

	TESİS İNŞAAT KALEMLERİ	KEŞİF BEDELİ	
		(TL)	(US \$)
1	DOLUSAVAK VE DÜŞÜ HAVUZU	5.046.378	186.903
2	ÇAKIL GEÇİDİ	1.955.118	72.412
3	İSTİNAT YAPISI VE BALIK GEÇİDİ	2.963.608	109.763
6	CEBRİ BORU	14.486.320	536.530
7	SANTRAL BİNASI	7.348.833	272.179
8	ELEKTROMEKANİK DONANIM	14.685.300	543.900
	İNŞAAT İŞLERİ GENEL TOPLAMI :	46.485.557	1.721.687

Şekil 10.2 Çamlık HES İnşaat İşleri Keşfi (2020) (devam)

EK-11. Çamlık HES (2020) İç Verim Oranı (IRR) Hesabı

	Yatırım Maliyet			
Toplam	2.357.799,58			
1. Yıl	778.073,86			
2. Yıl	1.579.725,72			
	Yıllık Operasyon Masrafı			
	188.781,79			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
8,00	11,09	1,55	279.896,73	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		778.073,86	-778.073,86	10,57%
2		1.579.725,72	-1.579.725,72	
3	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
4	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
5	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
6	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
7	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
8	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
9	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
10	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
11	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
12	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
13	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
14	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
15	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
16	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
17	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
18	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
19	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
20	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
21	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
22	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
23	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
24	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
25	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
26	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
27	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
28	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
29	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
30	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
31	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
32	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
33	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
34	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
35	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
36	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
37	279.896,73	543.900,00	-264.003,27	
38	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
39	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
40	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
41	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
42	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
43	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
44	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
45	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
46	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
47	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
48	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
49	279.896,73	17.998,00	261.898,73	

Şekil 11.1 Çamlık HES İç Verim Oranı Hesabı (2020)

EK-12. (devam) Örnek HES projelerinin çevresel maliyet dahil yeni iç verim oranı (IRR) hesabı

Yatırım Maliyet (CO2 Maliyet Dahil)				
Toplam	18.172.881,32			
1. Yıl	5.997.050,83			
2. Yıl	12.175.830,48			
Yıllık Operasyon Masrafı				
	184.776,00			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
2,80	506,14	12,00	1.699.714,01	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		5.997.050,83	-5.997.050,83	7,79%
2		12.175.830,48	-12.175.830,48	
3	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
4	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
5	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
6	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
7	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
8	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
9	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
10	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
11	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
12	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
13	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
14	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
15	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
16	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
17	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
18	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
19	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
20	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
21	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
22	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
23	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
24	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
25	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
26	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
27	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
28	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
29	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
30	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
31	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
32	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
33	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
34	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
35	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
36	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
37	1.699.714,01	3.033.423,75	-1.333.709,74	
38	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
39	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
40	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
41	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
42	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
43	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
44	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
45	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
46	1.699.714,01	184.776,00	1.514.938,01	
47	1.699.714,01	1.174.305,00	525.409,01	
48	1.699.714,01	171.522,00	1.528.192,01	
49	1.699.714,01	171.522,00	1.528.192,01	
			49.217.536,22	

Şekil 12.2 Çağlar HES İç Verim Oranı-2014 Çevresel Maliyet (CO₂) Dahil

EK-12. (devam) Örnek HES projelerinin çevresel maliyet dahil yeni iç verim oranı (IRR) hesabı

Yatırım Maliyet (CO2 Maliyet Dahil)				
Toplam	18.626.068,29			
1. Yıl	6.146.602,54			
2. Yıl	12.479.465,76			
Yıllık Operasyon Masrafı				
	188.781,79			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
2,70	533,98	12,00	1.699.714,01	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		6.146.602,54	-6.146.602,54	7,55%
2		12.479.465,76	-12.479.465,76	
3	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
4	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
5	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
6	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
7	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
8	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
9	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
10	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
11	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
12	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
13	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
14	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
15	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
16	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
17	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
18	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
19	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
20	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
21	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
22	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
23	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
24	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
25	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
26	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
27	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
28	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
29	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
30	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
31	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
32	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
33	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
34	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
35	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
36	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
37	1.699.714,01	3.033.423,75	-1.333.709,74	
38	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
39	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
40	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
41	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
42	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
43	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
44	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
45	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
46	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
47	1.699.714,01	1.174.305,00	525.409,01	
48	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
49	1.699.714,01	188.781,79	1.510.932,22	
				48.557.580,70

Şekil 12.3 Çağlar HES İç Verim Oranı-2017 Çevresel Maliyet (CO₂) Dahil

EK-12. (devam) Örnek HES projelerinin çevresel maliyet dahil yeni iç verim oranı (IRR) hesabı

Yatırım Maliyet (CO2 Maliyet Dahil)				
Toplam	23.472.365,51			
1. Yıl	7.745.880,62			
2. Yıl	15.726.484,89			
Yıllık Operasyon Masrafı				
	197.686,00			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
16,00	70,42	9,83	1.747.954,17	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		7.745.880,62	-7.745.880,62	5,90%
2		15.726.484,89	-15.726.484,89	
3	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
4	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
5	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
6	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
7	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
8	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
9	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
10	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
11	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
12	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
13	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
14	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
15	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
16	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
17	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
18	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
19	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
20	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
21	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
22	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
23	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
24	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
25	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
26	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
27	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
28	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
29	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
30	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
31	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
32	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
33	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
34	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
35	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
36	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
37	1.747.954,17	3.759.700,00	-2.011.745,83	
38	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
39	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
40	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
41	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
42	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
43	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
44	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
45	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
46	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
47	1.747.954,17	1.467.881,25	280.072,92	
48	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
49	1.747.954,17	197.686,00	1.550.268,17	
			44.558.029,45	

Şekil 12.4 Çamlık HES İç Verim Oranı-2011 Çevresel Maliyet (CO₂) Dahil

EK-12. (devam) Örnek HES projelerinin çevresel maliyet dahil yeni iç verim oranı (IRR) hesabı

Yatırım Maliyet (CO2 Maliyet Dahil)				
Toplam	2.413.515,60			
1. Yıl	796.460,15			
2. Yıl	1.617.055,45			
Yıllık Operasyon Masrafı				
	188.781,79			
Ortalama Debi (m3/s)	Net düşü (m)	Kurulu Güç (MW)	Üretilen Enerji Mali değeri (USD)	
8,00	11,09	1,55	279.896,73	
YIL	Üretilen Enerji-USD	Giderler-USD	(Gelir-Gider)-USD	İç Verim Oranı
1		796.460,15	-796.460,15	10,32%
2		1.617.055,45	-1.617.055,45	
3	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
4	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
5	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
6	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
7	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
8	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
9	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
10	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
11	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
12	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
13	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
14	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
15	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
16	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
17	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
18	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
19	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
20	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
21	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
22	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
23	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
24	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
25	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
26	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
27	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
28	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
29	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
30	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
31	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
32	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
33	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
34	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
35	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
36	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
37	279.896,73	543.900,00	-264.003,27	
38	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
39	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
40	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
41	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
42	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
43	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
44	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
45	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
46	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
47	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
48	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
49	279.896,73	17.998,00	261.898,73	
			9.369.822,80	

Şekil 12.5 Çamlık HES İç Verim Oranı-2020 Çevresel Maliyet (CO₂) Dahil



Gazili olmak ayrıcalıktır