



**T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKARSU TİPİ BİR HİDROELEKTRİK SANTRALDEN GÜÇ ÜRETİMİNİN  
TERMODİNAMİK MODELLENMESİ**

**OSMAN KAÇAR**

**Ağustos 2009**

T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKARSU TİPİ BİR HİDROELEKTRİK SANTRALDEN GÜÇ ÜRETİMİNİN  
TERMODİNAMİK MODELLENMESİ

OSMAN KAÇAR  
Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Doç. Dr. Adnan MİDİLLİ

Ağustos 2009

Doç. Dr. Adnan MİDİLLİ danışmanlığında Osman KAÇAR tarafından hazırlanan “Akarsu Tipi Bir Hidroelektrik Santralden Güç Üretiminin Termodinamik Modellenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

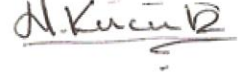
Başkan : Doç. Dr. Adnan MİDİLLİ (Niğde Üniversitesi)



Üye : Doç. Dr. Kutsi S. ERDURAN (Niğde Üniversitesi)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Haydar KÜÇÜK (Gümüşhane Üniversitesi)



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 29.10.2009 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun 14.10.2009 tarih ve 2009/21-10... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.



18.10.2009

Doç. Dr. Nurettin ACIR

Enstitü Müdür V.

## ÖZET

### AKARSU TİPİ BİR HİDROELEKTRİK SANTRALDEN GÜÇ ÜRETİMİNİN TERMODİNAMİK MODELLENMESİ

KAÇAR, Osman

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Adnan MİDİLLİ

Ağustos 2009, 78 sayfa

Bu çalışma, saatte 3 kg hidrojen üreten ve depolayan bir hidrojen gaz istasyonu için gerekli elektrik enerjisini sağlayan akarsu tipi mini bir hidroelektrik santralin termodinamik modellenmesini sunar. Bu amaçla, Termodinamiğin İkinci Kanunu dikkate alınarak sistemin ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizleri parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu parametrik çalışmayı gerçekleştirmek için, gerekli işletme parametrelerinin değerleri, Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan akarsuların ortalama debi değerleri ve topoğrafik koşullarıyla uyumlu bir şekilde seçilmiştir. Bu çalışma için dikkate alınan parametreler şunlardır: i) Düşü (20 m artışla 70-150 m aralığında alındı.), ii) Cebri borudan akan suyun debisi (0.01 m<sup>3</sup>/s artışla 0.01-0.79 m<sup>3</sup>/s aralığında alındı.), iii) Cebri borunun yatayla yaptığı açı ( sırasıyla 45° ve 75° olarak kabul edildi.), iv) Cebri boru çapı (sırasıyla 0.4 m ve 1 m olarak kabul edildi.), v) Türbin ve transformatör verimleri (0.9 olarak kabul edildi.), vi) Jeneratör verimi (0.95 olarak kabul edildi.). Tüm bu parametreleri dikkate alarak Termodinamiğin İkinci Kanunu kapsamında akarsu tipi mini bir HES (Hidroelektrik Santral)'in ekserjetik ve sürdürülebilirlik yönlerini tanımlayan gerekli termodinamik bağıntılar geliştirilmiştir. Ekserji analizi kapsamında sistemin toplam ekserji girişi ve çıkışı, toplam ekserji kayıpları ve ekserji verimi hesaplanmıştır. Ekserjetik sürdürülebilirlik analizi kapsamında ise ekserji yıkım faktörü, çevresel yıkım katsayısı, çevresel yıkım indeksi, çevresel uyum indeksi, ekserjetik kararlılık faktörü ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi gibi bazı önemli ekserjetik sürdürülebilirlik indikatörleri, ekserji analizlerinin

sonuçlarına bağlı olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, saatte 3 kg hidrojen üreten ve depolayan hidrojen gaz istasyonunun toplam net ekserji (elektrik) ihtiyacının yaklaşık 200 kW olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca debinin artmasıyla, net ekserji çıkışı ve ekserji kayıplarının arttığı fakat sistemin ekserji veriminin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin azaldığı görülmüştür. O halde mini hidroelektrik güç santrali ile hidrojen gaz istasyonunun entegrasyonu için termodinamik bakımdan çevresel yıkım indeksinin, çevresel uyum indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin özellikle dikkate alınması gerektiği önerilir.

Anahtar kelimeler: Hidroelektrik, Termodinamik, Ekserji, Sürdürülebilirlik, Ekserji verimi, çevresel yıkım indeksi, çevresel uyum indeksi, Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi.

## SUMMARY

### THERMODYNAMIC MODELING OF POWER GENERATION VIA A RUN-OF-RIVER-TYPE-HYDROPOWER PLANT

KACAR, Osman

Nigde University

Graduate Scholl of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Adnan MIDILLI

August 2009, 78 pages

This study presents thermodynamic modeling of a run-of-river-type-small hydropower plant supplying the required electricity to a hydrogen gas fueling station producing and storing 3 kg/h of hydrogen gas. For this purpose, in terms of the Second Law of Thermodynamics, exergy and exergetic sustainability analyses of the system have been parametrically performed. In order to carry out this parametric study, the required operating parameters have been selected in accordance with the topographical situations and average water flow rates of the rivers in the East Black Sea Region (Turkey). The parameters that are taken into consideration for this study are i) Head (ranging from 70 m to 150 m with 20 m interval), ii) water flow rate in the penstock (ranging from 0.01 m<sup>3</sup>/s to 0.79 m<sup>3</sup>/s with 0.01 m<sup>3</sup>/s interval), iii) slope angle of the penstock (assumed to be 45° and 75°, respectively), iv) Pipe diameter (assumed to be 0.4 m and 1 m, respectively), v) Turbine and transformator efficiencies (assumed to be 0.9), vi) Generator efficiency (assumed to be 0.95). Considering all these parameters, the required thermodynamic relations describing the exegetic and sustainability aspects of the run-of-river small hydropower plant have been derived in terms of the second law of thermodynamics. In terms of the exergy analysis, total exergy input and output, total exergy losses and exergetic efficiency have been estimated. In terms of the exergetic sustainability analysis, some important exergetic sustainability indicators such as exergetic destruction factor, environmental destruction coefficient, environmental destruction index, environmental benign index, exergetic stability factor and exergetic

sustainability index have been calculated by taking into account the results of the exergy analysis. Consequently, it is estimated that the net exergy (electricity) demand for the hydrogen gas fueling station producing and storing 3 kg H<sub>2</sub> gas per hour is approximately 200 kW. Moreover, it is noticed that the increase of the water flow rate goes up the net exergy output and exergy losses while decreasing the exergetic efficiency and exergetic sustainability index of the system. Thus, it is suggested that, in terms of thermodynamics, environmental destruction index, environmental benign index and exergetic sustainability index should be particularly taken into consideration for the integrated hydropower-based-hydrogen gas fueling stations.

Key Words: Hydropower, Thermodynamics, Exergy, Sustainability, Exergetic efficiency, Environmental destruction index, Environmental benign index, Exergetic sustainability index.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans kapsamındaki çalışmalarımın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleriyle bana bilimsel ve teknik anlamda yardımcı olan ve beni bilimselliğin temel esasları doğrultusunda yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Adnan MİDİLLİ' ye teşekkür eder, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Değerli vaktini ayırarak çalışmalarımda beni yönlendiren, bilimsel destek veren, öneri ve kıymetli yorumlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim DİNÇER' e (UOIT/Kanada) hürmet ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, Prof. Dr. Yunus A. ÇENGEL'e ve Prof. Dr. Mehmet Kanoğlu'na, özellikle HES konusunda bilimsel katkı sağlayan Doç. Dr. Kutsi S. Erduran'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince teknik desteklerini aldığım çalışma arkadaşlarım Mak. Müh. Selçuk İNAC'a ve Mak. Müh. Mert ÖZSABAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince teknik ve bilimsel desteklerini aldığım “Working Group on Exergy for Betterment” üyelerine teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında bana teknik imkânlarını kullandıran Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nın tüm akademisyenlerine ve çalışanlarına sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmam süresince bana büyük sabır gösteren ve her türlü yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen aileme minnettarım.



## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET .....	iii
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xv
BÖLÜM I. GİRİŞ .....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi .....	2
1.2. Literatür Araştırması .....	4
1.2.1. Hidrolik enerji ve gereksinimi .....	4
1.2.2. Hidroelektrik santrallerin sınıflandırılması .....	5
1.2.3 Bir hidrolik santrali oluşturan temel elemanlar .....	6
1.2.3.1 Su deposu .....	6
1.2.3.2 Cebri boru .....	6
1.2.3.3 Su türbini .....	6
1.2.3.3.1 Francis türbinleri .....	7
1.2.3.3.2 Kaplan türbinleri .....	7
1.2.3.3.3 Pelton tipi türbinler .....	8
1.2.3.4 Jeneratör .....	8
1.2.3.5 Transformatör .....	8
1.2.4. Mini HES'lerin enerji, çevresel ve sürdürülebilirlik yönleri .....	8
1.2.5 Mini HES'ler üzerine yapılan çalışmalar .....	10
1.2.6 Ekserji ve sürdürülebilirlik analizinin gereksinimi .....	12
BÖLÜM II. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	14
2.1. Giriş .....	14
2.2. Teorik Çalışmalar .....	14
2.2.1 Genel kabuller .....	14
2.2.2. Sistemdeki etkili büyüklükler .....	15
2.2.2.1. Sabit büyüklükler .....	15
2.2.2.2 Ölçülebilen büyüklükler .....	16
2.2.2.3. Hesaplanabilen büyüklükler .....	17
2.2.3 Cebri borulu bir hidrolik güç santralinin çalışma prensibi .....	18

2.2.4 Cebri borulu bir hidrolik güç santralinin akış şeması .....	18
2.3. Termodinamik Çalışmalar .....	19
2.3.1 Mini HES'ten güç üretimi için parametrik hesaplamalar .....	19
2.3.1.1 Cebri boru içerisinde geçen suyun hızının hesaplanması .....	19
2.3.1.2 Sistemde meydana gelen lokal (yerel) kayıplar .....	20
2.3.1.3 Darcy-Weisbach sürtünme katsayısının hesaplanması ( $\lambda$ ) .....	20
2.3.1.4 Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar .....	20
2.3.1.5 Sistemde meydana gelen toplam kayıplar .....	21
2.3.1.6 Net düşünün hesaplanması ( $H_0$ ) .....	21
2.3.2 Mini HES'ten güç üretiminin ekserji analizi .....	22
2.3.2.1 Isı geçişi ile ekserji geçişi .....	22
2.3.2.2 İş ile ekserji geçişi .....	22
2.3.2.3 Kütle ile (m) ekserji geçişi .....	22
2.3.2.4 Kinetik ve potansiyel enerji ile ekserji geçişi (İş potansiyeli) .....	23
2.3.2.5 Türbine bırakılan maksimum ekserji .....	23
2.3.2.6 Türbine bırakılan net ekserji .....	24
2.3.2.7 Cebri boru hattında meydana gelen ekserji kayıpları .....	24
2.3.2.8 Türbinden elde edilen net ekserji .....	24
2.3.2.9 Jeneratörden elde edilen net ekserji .....	25
2.3.2.10 Transformatörden elde edilen net ekserji .....	26
2.3.3 Mini HES'ten güç üretiminin sürdürülebilirlik analizi .....	27
2.3.3.1 Sistemin ekserji verimi .....	27
2.3.3.2 Sistemin ekserjetik yıkım faktörü .....	28
2.3.3.3 Sistemin çevresel yıkım katsayısı .....	28
2.3.3.4 Sistemin çevresel yıkım indeksi .....	29
2.3.3.5 Sistemin çevresel uyum indeksi .....	30
2.3.3.6 Sistemin ekserjetik kararlılık faktörü .....	30
2.3.3.7 Sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi .....	31
2.3.3.8 Sistemin kayıp-üretim oranı .....	31
BÖLÜM III. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	32
BÖLÜM IV. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	70
KAYNAKLAR .....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1	Sistemdeki sabit büyüklükler .....	15
Çizelge 2.2	Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler .....	16
Çizelge 2.3	Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler .....	17

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Hidrolik enerji ile hidrojen ilişkisinin şematik gösterimi .....	13
Şekil 2.1	Hidrojen istasyonu için gerekli olan net ekserji ihtiyacını sağlayan akarsu tipi bir mini HES'in güç üretimi akış şeması .....	18
Şekil 2.2	Su türbininin ekserji etkileşim diyagramı şeması .....	25
Şekil 2.3	Jeneratörün ekserji etkileşim diyagramı .....	25
Şekil 2.4	Transformatörün ekserji etkileşim diyagramı .....	26
Şekil 3.1	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi.....	33
Şekil 3.2	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	34
Şekil 3.3	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	36
Şekil 3.4	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	37
Şekil 3.5	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	38
Şekil 3.6	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	40
Şekil 3.7	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	41

Şekil 3.8	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	43
Şekil 3.9	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	45
Şekil 3.10	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi ...	47
Şekil 3.11	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	49
Şekil 3.12	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	51
Şekil 3.13	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	52
Şekil 3.14	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	54
Şekil 3.15	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	55

Şekil 3.16	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi .....	57
Şekil 3.17	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin ekserji verimine göre değişimi .....	58
Şekil 3.18	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin ekserji verimine göre değişimi .....	60
Şekil 3.19	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin ekserji verimine göre değişimi .....	61
Şekil 3.20	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin maksimum ekserji verimine göre değişimi .....	63
Şekil 3.21	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi .....	64
Şekil 3.22	Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi .....	66
Şekil 3.23	Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi .....	67

Şekil 3.24 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi ..... 69

## KISALTMALAR VE SİMGELER

HES	Hidroelektrik santral
$\pi$	Pi sayısı
$k_v$	Vana için lokal (yerel) kayıp katsayısı
$k_h$	Hazne çıkışı için lokal (yerel) kayıp katsayısı
$g$	Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$\lambda$	Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı
$\rho$	Suyun yoğunluğu ( $kg/m^3$ )
$\dot{Q}_b$	Cebri boru içerisinde geçen suyun debisi ( $m^3/s$ )
$v$	Cebri boru içerisinde geçen suyun hızı ( $m/s$ )
$D$	Cebri borunun çapı (m)
$k_s$	Cebri borunun pürüz kalınlığı (mm)
$L$	Cebri borunun uzunluğu (m)
$H_g$	Suyun türbine bırakıldığı brüt düşü yüksekliği (m)
$\xi_l$	Sistemde meydana gelen lokal (yerel) kayıplar (m)
$\xi_s$	Sistemde meydana gelen sürekli kayıpları (m)
$\Sigma\xi$	Sistemde meydana gelen toplam kayıplar (m)
$H_o$	Suyun türbine bırakıldığı net düşü yüksekliği (m)
$\dot{E}x$	Ekserji (kW)
$\dot{E}x_m^{H_g}$	Suyun türbine bıraktığı maksimum ekserji (kW)
$\dot{E}x_n^{H_o}$	Suyun türbine bıraktığı net ekserji (kW)
$\dot{E}x_{k,b}$	Cebri boruda meydana gelen ekserji kayıpları (kW)
$\dot{E}x_{k,t}$	Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)
$\dot{E}x_t^W$	Türbinden elde edilen net ekserji (kW)



$\dot{E}x_{k,j}$	Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)
$\dot{E}x_j^W$	Jeneratörden elde edilen net ekserji (kW)
$\dot{E}x_{k,trs}$	Transformatörde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)
$\dot{E}x_{trs}^W$	Transformatörden elde edilen net ekserji (kW)
$\eta_{ex}^{hes}$	Sistemin ekserji verimi
$f_{exy}^{hes}$	Sistemin ekserjetik yıkım faktörü
$C_{\text{çy}}^{hes}$	Sistemin çevresel yıkım katsayısı
$\theta_{\text{çy}}^{hes}$	Sistemin çevresel yıkım indeksi
$\theta_{\text{çu}}^{hes}$	Sistemin çevresel uyum indeksi
$f_{exk}^{hes}$	Sistemin ekserjetik kararlılık faktörü
$\theta_{exs}^{hes}$	Sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

Alt ve üst indisler

<b>hes</b>	Hidroelektrik santral
<i>exs</i>	Ekserjetik sürdürülebilirlik
<i>exk</i>	Ekserjetik kararlılık
<i>çu</i>	Çevresel uyum
<i>çy</i>	Çevresel yıkım
<i>exy</i>	Ekserjetik yıkım
<i>trs</i>	Transformatör
<i>k, trs</i>	Transformatördeki kayıplar
<i>k, j</i>	Jeneratördeki kayıplar
<i>j</i>	Jeneratör
<i>k, t</i>	Türbindeki kayıplar

$k, b$	Cebri borudaki kayıplar
$n$	Net
$m$	Maksimum
$o$	Net (yükseklik için)
$s$	Sürekli (üniversal)
$l$	Lokal (yerel)
$g$	Geometrik (brüt)
$W$	İş
$b$	Cebri boru

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınmanın, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarda temel unsuru olan sürdürülebilir enerjinin ve teknolojilerinin gereksinimi; dünya nüfusunun, teknolojik gelişmelerin ve yaşam standartlarının gün geçtikçe yükselmesi ile birlikte giderek artmaktadır [1]. Günümüz koşulları dikkate alındığında, uzun zamandan beridir yerel ve endüstriyel uygulamalarda yaygın ve sorumsuz bir şekilde kullanılmakta olan doğal gaz, kömür ve petrol gibi fosil kökenli yakıtların yerel, bölgesel ve küresel huzursuzluğu ne derece artırdığı açıkça görülmektedir [2,3]. Ayrıca, artan enerji ihtiyacı, hızlı nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, hayat standardının düşmesi gibi önemli faktörler de yerel ve küresel kararlılığı bozmakta ve küresel huzursuzluğu artırmaktadır. Bütün bu faktörler, kullanılabilir fosil yakıt rezervlerinin azalmasına, çevre, hava ve su kirliliğinin giderek artmasına, ozon tabakasının zarar görmesine, yerel ve küresel ısınma ve kirlenmeye, sel ve deprem felaketlerine, kıtasal kaymalara, yeşil ve sulak alanların giderek azalmasına, yerel ve küresel enerji gereksiniminin artmasına, vb. gibi olumsuzluklara neden olmaktadır [4]. Bu olumsuzlukların neticesinde; kıtalararası göçler, yerel ve bölgesel nüfus değişimleri, açlık, kullanılabilir yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kirlenmesi, sağlık ve hastalık problemleri, terörist faaliyetler, yerel, bölgesel ve dünya savaşları gibi küresel sorunların arttığı açıkça görülmektedir [5,6].

Yukarıda sıralanan olumsuz etkiler, temiz ve her yerde bulunabilecek yeni bir enerji kaynağı ile kısmen veya tamamen yok edilebilir. Mükemmel bir enerji taşıyıcısı olan hidrojenin, fosil kökenli olmayan kaynaklardan (biyokütle, su vb.) elde edilebilecek özellikte olması, hidrojenin sınırlı rezervlere sahip fosil kökenli yakıtlara çok iyi bir alternatif oluşturacağı gerçeğini ortaya koymaktadır [2,3,7].

Hidrojen çok iyi bir enerji taşıyıcısıdır, fakat hidrojeni fosil kökenli veya fosil kökenli olmayan kaynaklardan üretmek içinde enerji gerekmektedir. Hidrojen üretimini gerçekleştirebilmek için gerekli enerjiyi sağlayabilecek, sürdürülebilir ve de yenilenebilir enerji kaynaklarından biri de hidrolik enerjidir. Hidrolik enerjinin varlığı ülkemizde yerel farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Doğu Karadeniz Bölgesi hidrolik enerji bakımından oldukça zengindir. Bu bölgede hidrolik enerjinin faydalı işe

dönüştürülmesi üzerine çalışmalar yaygın bir şekilde sürdürülmektedir. Bu bölgede hidrolik enerji kaynaklarını kullanarak “hidrolik enerji destekli hidrojen yakıt istasyonu” geliştirmek mümkün olamaz mı? Bilindiği üzere, hidrojenin elektroliz tekniği yardımıyla sudan üretilmesi ve yüksek basınçlı hidrojen kompresörleri yardımıyla sıkıştırılıp depolanabilmesi için elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. O halde, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde kurulabilecek bir hidrojen gaz yakıt istasyonunda, hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli olan elektrik enerjisi ihtiyacı, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olan hidrolik enerjiden mümkün mertebe karşılanabilir.

Bu düşünceler ışında, hidrojen gaz istasyonuna entegre edilmesi düşünülen bir HES’in ekserjetik performansının ve ekserjetik sürdürülebilirlik davranışının nasıl olduğu araştırılmalı ve ortaya konulmalıdır. Bu çerçevede, Termodinamiğin İkinci Kanunu kapsamında ekserji analizi yapılmalı, elde edilen ekserji analizi sonuçlarını dikkate alarak ekserjetik sürdürülebilirlik analizi gerçekleştirilmelidir. Burada şunu da ifade etmek gerekir ki, yapılan literatür araştırmaları bir HES’in hem ekserjetik hem de ekserjetik sürdürülebilirlik analizi kapsamında herhangi bir çalışmanın olmadığını ortaya koymuştur. Bu, yapılan bu tez çalışmasının bilimsel ve endüstriyel orijinalitesini açıkça göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, hidrolik enerji destekli hidrojen gaz yakıt istasyonunda hidrojen üretimi, sıkıştırılması ve depolanması aşamalarında gerekli elektrik enerjisinin mini bir hidroelektrik santral (HES) tarafından karşılanacağı düşünülmüştür. Bu türden bir çalışmanın Doğu Karadeniz Bölgesi’nde gerçekleştirilebileceği dikkate alınarak, bölgedeki su kaynaklarının ortalama debileri ve yerel coğrafi koşulları göz önünde bulundurularak, işletme parametreleri için değerler belirlenmiştir. Sonuç olarak, saatte 3 kg hidrojen üreten ve depolayan hidrojen gaz istasyonunun toplam net ekserji (elektrik) ihtiyacının yaklaşık 200 kW olduğu hesaplanmıştır.

### **1.1 Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi**

Bu çalışmada amaç; hidrolik enerji destekli hidrojen istasyonunda yer alan hidrojen üretimi, hidrojenin sıkıştırılması ve depolanması işlemleri için gerekli elektrik enerjisini sağlamak için kullanılan akarsu tipi bir HES’in termodinamik analizini yapmaktır.

Bu çerçevede, HES'in ekserji analizi ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma parametrik niteliklidir. Bu parametrik çalışmada, bir mini HES için cebri borudan akan suyun debisi, düşü, cebri borunun yatayla yaptığı açı ve cebri borunun çapı gibi ana işletme parametreleri dikkate alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak; akarsu tipi bir mini HES'ten güç üretimini etkileyen parametreler incelenmiştir. Bu aşamada, sistemde meydana gelen yerel ve sürekli kayıplar, cebri boru içerisindeki suyun hızı, sistemde güç üretiminde doğrudan etkili olan net yükseklik ( $H_o$ ) gibi parametreler hesaplanmıştır. Bu parametrelerin hesaplanmasında debi değerleri olarak 0.01-0.79 m<sup>3</sup>/s aralığındaki değerler, brüt düşü ( $H_g$ ) olarak da 70-150 m aralığındaki değerler alınmıştır. Sistemde güç üretimini sağlayan elemanlardan türbin verimi 0.90, jeneratör verimi 0.95 ve transformatör verimi 0.90 kabul edilmiştir. Ayrıca, cebri boru çapı sırasıyla 0.4 m ve 1 m, cebri borunun yatayla yapmış olduğu açı 45° ve 75° kabul edilmiştir. İkinci olarak; hidrojen istasyonu için gerekli net ekserjinin üretilmesi sırasında sistemin ekserji ve sürdürülebilirlik parametreleri belirlenmiştir. Son aşamada ise, ilgili parametreler dikkate alınarak hem ekserji hem de ekserjetik sürdürülebilirlik analizlerinin sonuçları grafikler halinde sunulmuş ve detaylı bir şekilde yorumlanmıştır.

Bu kapsamda gerçekleştirilen tez çalışmasının, aşağıda sıralanan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik yararları sağlayacağı tahmin edilmektedir.

- Akarsu tipi mini bir HES'ten güç üretiminin termodinamik analizi kapsamında yapılan ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik çalışmalarının hem endüstriyel hem de bilimsel nitelikli orijinal bir referans oluşturması,
- Sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji teknolojileri üzerine yapılan bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik çalışmalara yeni bir alternatif oluşturması,
- Yerel ve endüstriyel alanlarda güç üretiminin sağlanması konusunda termodinamik ve sürdürülebilirlik bakımından yeni bir anlayış ortaya koyması,
- Hidrolik enerji destekli hidrojen gaz yakıt istasyonlarının geliştirilmesi ve uygulamaya konulması için bilimsel, endüstriyel, teknolojik ve akademik bir kaynak oluşturması,
- Farklılığını, oluşturulan entegrasyon ünitesinden alan bu parametrik çalışmanın gelecekte yapılması düşünülen deneysel çalışmalara bir referans oluşturması,

- Özellikle, termodinamik analiz kapsamında, hidrolik güç üretiminin ekserjetik ve sürdürülebilirlik yönünün en kapsamlı bir biçimde literatüre kazandırılmış olması, yapılan çalışmanın önemini ve orijinalitesini ortaya koymaktadır.

## **1.2 Literatür Araştırması**

Bu tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırması; hidrolik enerji destekli hidrojen istasyonları, hidrolik enerjinin gereksinimi, hidrolik enerjinin diğer enerjilere göre avantajları, hidrolik enerjiden güç elde edilmesi, hidrolik enerjiden güç üretim yöntemleri, hidrolik santraller hakkında genel bilgileri ve yapılan çalışmaları sunar.

### **1.2.1 Hidrolik enerji ve gereksinimi**

Hidrolik gücün ekonomik olarak uygun olması için kullanılan standartlar, teknolojik imkânlar ve çevre koruma yasaları farklı zamanlarda yapılan analizlerde farklı sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır. İstatistik bilgilerin yanı sıra Birleşmiş Milletler ve Dünya Enerji Konseyi gibi tanınmış kuruluşlar tarafından yapılan çalışmaların değerlendirilmesi dünya çapında yaklaşık 40.000 TWh/yıl hidrogüç potansiyelinin var olduğunu göstermiştir. Bu teorik potansiyelin sadece 14.000 TWh/yıl (sadece % 35) gerçekte geri kazanılmıştır [8]. Özellikle, Avrupa da yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edebilmek için yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Avrupa da ki toplam elektrik üretiminin % 13'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin % 84'ü hidroelektrik santrallerden üretilmektedir [9]. Akarsulardan üretilen elektrik enerjisi büyük ölçekte enerji ihtiyacını karşılayabileceği gibi küçük ölçekli enerji ihtiyacını da karşılayabilecek nitelikte değerlendirilmelidir. Dolayısıyla, küçük hidroelektrik enerji tesisleri yenilenebilir enerji teknikleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Küçük hidroelektrik üretim tesislerinin sayısında gerek çevre dostu olmalarından gerekse kurulum maliyeti bakımından ekonomik olmalarından dolayı önümüzdeki yıllarda artış beklenmektedir [10]. Bir başka açıdan bakıldığında, hidrolik enerji yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak ülke ekonomisinin kalkınmasında önemli rol oynamaktadır. Büyük hidrolik santraller gibi küçük hidrolik santraller de fosil yakıt destekli enerji santrallerinin yerine alternatif olarak kullanılabilir. Bu nedenle, hidrolik enerji üretim tesislerinden

biri olan küçük hidrolik santrallerin; projelerinin düşük yatırımlı olması ve sabit gelir elde edilmesinden dolayı kullanımları giderek yaygınlaşmaktadır [11].

Birleşmiş Milletler ve Avrupa Birliği gibi örgütlerin bölgesel, ulusal ve küresel düzeyde sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanması, çevresinin korunması ve fosil yakıt kaynaklı enerji tesislerinin atmosfere yaydığı CO<sub>2</sub> gibi zararlı gazların etkisinin minimuma indirilmesi yönünde aldığı kararlar da dikkate alındığında, hidrolik enerjinin ve teknolojilerinin aşağıdaki avantajlardan dolayı gereksinimi artmaktadır [12];

- Ulusal nitelikli ve sürekli arzı sağlayan kaynak olması,
- Ekonomik ömrünün uzun olması,
- İşletme ve bakım giderlerinin düşük olması,
- Çevre kirliliği yaratmaması,
- Yenilenebilir enerji kaynağı olması,
- Yakıt giderlerinin olmaması,
- Ekonomik ömürleri boyunca en ucuz enerji tesisi olmaları,
- Sera gazı emisyonu yaratmaması ve çevre ile uyumlu olmaları,
- Elektromekanik işlerin dışında kalan işlerin yurtiçi imkânlarla yapılabilmesi,
- İstihdam ve ekonomide canlanma yaratmaları, gibi avantajları dikkate alındığında, tercih ve teşvik edilmesi gereken bir enerji kaynağıdır.

### 1.2.2 Hidroelektrik santrallerin sınıflandırılması

Hidroelektrik santral kurulacağı yerin topoğrafik durumuna göre çeşitli şekillerde yapılabilmektedirler. Hidrolik santraller düşülerine ve kurulu güçlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [13].

Düşülerine göre hidrolik santraller;

- Alçak düşülü hidroelektrik santraller  $H_g < 10$  m
- Orta düşülü hidroelektrik santraller  $H_g = 10 - 50$  m
- Yüksek düşülü hidroelektrik santraller  $H_g > 50$  m

Kurulu güçlerine (Kapasitelerine) göre hidrolik santraller;

- Çok küçük kapasiteli (mikro tip) hidroelektrik santraller < 100 kW
- Küçük kapasiteli (mini tip) hidroelektrik santraller = 100 – 1000 kW
- Orta kapasiteli hidroelektrik santraller = 1000 – 10 000 kW
- Büyük kapasiteli hidroelektrik santraller > 10 000 kW

### **1.2.3 Bir hidrolik santrali oluşturan temel elemanlar**

Genel olarak akarsu tipi, ön depolu ve cebri borulu bir hidroelektrik santral, su deposu, cebri borular, su türbini, jeneratör ve transformatör içerir [14,15].

#### **1.2.3.1 Su deposu**

Su deposu, nehir yatağından gelen suyu depolayarak istenen debide türbine gönderilmesini sağlayan kısımdır [13].

#### **1.2.3.2 Cebri boru**

Cebri boru, türbin ile türbinin membasındaki "ilk açık su yüzeyi" arasındaki basınçlı borudur. Yüksek düşülü hidroelektrik tesislerde maliyetin büyük bir kısmını cebri borular oluşturur. Onun için ilk etütler ve kesin proje hesapları çok iyi yapılmalıdır. Cebri borular en kısa yoldan santrale indirilmelidir. Cebri boru uzarsa hem maliyet hem de enerji kayıpları artar [14].

#### **1.2.3.3 Su türbini**

Su türbini, suyun hidrolik akım enerjisini devamlı olarak döner çarklar (rotorlar) yardımı ile mekanik enerjiye çeviren döner (dinamik) hidrolik makinedir. Hidrolik türbinlerde türbin rotoru kanatlarının aralıklarından geçirilen suyun basınç enerjisi ile hız enerjisi, dönen türbin rotorunun kanatlarının aralıklarında mekanik enerjiye dönüşürler [13].



### 1.2.3.3.1 Francis türbinleri

Francis türbinleri eğri çark kanatları nedeniyle suyun radyal olarak girdiği ve eksenel olarak çıktığı türbinlerdir. Başka bir deyişle, çark ve kanatları su içinde dönen türbinlerdendir. Türbinin en önemli kısımları, salyangoz (dağıtım odası), ön dağıtıcılar, dağıtıcılar, çark kumanda çemberi ve mekanizması ve emme borusudur. Genellikle orta düşülerde uygulanırlar. Francis türbinlerinin başlıca özellikleri aşağıda belirtilmiştir [16].

- Salyangozlu ve açık su odalı olarak iki çeşittir.
- Suyun çıkış doğrultusu ekseneldir.
- Değişken yüklerde iyi verim alınan türbinler değildirler.
- Özgül hız değerinin 60 dev/dak'dan küçük olmasının nedeni bu durumda çark kanalının çok dar ve uzun olarak kayıpları arttırıp verimi düşürmesidir.
- Sabit yüklerde çok iyi verim alınabilir.

### 1.2.3.3.2 Kaplan türbinleri

Bu tip türbinler büyük debilerde ve küçük düşüm yüksekliklerinde kullanılırlar. Suyun eksenel akışla çarkı çevirmesi prensibine göre çalışırlar. Kaplan türbinleri genellikle düşey eksenli, salyangozlu veya salyangozsuz olarak projelendirilir. Türbin çapı genellikle çok büyüktür (10 m'ye kadar) [17]. Kaplan türbinlerinin başlıca özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir [16].

- Yüksek özgül hızlarda kısmi yüklerdeki verimi düzeltebilmek ve türbine değişik yük ve düşüler de çalışma kolaylığı sağlayabilmek için bu türbinler hareketli palalı türbinlerdir.
- Bu türbinler nehir üstü santraller için çok ideal bir türbin tipidir.
- Akış tam olarak ekseneldir.
- Özgül hızın bu kadar büyük olması türbin ve jeneratör boyutlarını küçülterek maliyeti azaltır bu nedenle Francis'ten daha avantajlıdır.
- Değişken düşülerde en uygun türbin tipidir.

### **1.2.3.3 Pelton tipi türbinler**

Büyük ölçekli hidroelektrik santrallerde 150 m'nin üzerindeki yükler için yapılırlar. Küçük ölçekli santrallerde 20 m'ye kadar olan yükler içinde uygulanabilirler. Daha küçük yükler için pelton türbinleri kullanılamaz. Çünkü dönüş hızları yetersiz kalır. Eğer santral için türbin boyutu ve çark hızı bir problem oluşturmuyorsa bu türbinler daha düşük yüklerde de çalıştırılabilirler. Yüksek dönüş hızı ve küçük çark istenirse, jetlerin sayısı veya çark adedi artırılır [17]. Bu tip türbinler yatay eksenli pelton türbinleri ve dikey eksenli pelton türbinleri olmak üzere ikiye ayrılırlar.

### **1.2.3.4 Jeneratör**

Jeneratörler türbin milindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir. Dönen kısım olan rotor (mıknatıs) ve dış yandaki sabit kısım stator (sargılar) aracılığıyla elektromotor kuvveti meydana gelir. Jeneratörün dönen kısmı olan rotoru döndüren mekanik enerji dış kısmındaki sabit stator sargılarında elektromotor kuvvetine dönüşür ve böylece elektrik enerjisine çevrilir [17].

### **1.2.3.5 Transformatör**

Transformatörler, jeneratörden çıkan düşük gerilimli elektrik akımını uzak mesafelere ekonomik olarak taşımak için yüksek gerilimli elektrik akımına dönüştüren makinelerdir. 33, 66, 220, 380 kW gibi gerilim kademeleri uygulanmaktadır. Transformatörler santral binasının hemen yakınında yer alabildiği gibi, santralle bunun beslediği iletim şebekesi arasındaki bağlantıyı sağlayan şalt alanında da yapılabilirler [17].

## **1.2.4. Mini HES' lerin enerji, çevresel ve sürdürülebilirlik yönleri**

Enerji bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınması için çok önemlidir ve giderek ülkelerin enerji ihtiyacında gelişen teknoloji ile doğru orantılı olarak artış meydana gelmektedir. Yeryüzünde ihtiyaç duyulan bu enerjiyi karşılayabilecek mevcut olarak bulunan birçok enerji kaynağı vardır. Fakat bu enerji kaynaklarının çoğu, enerji üretimi sırasında doğaya sera ve bunun gibi birçok zararlı gaz bırakmaktadırlar. Ayrıca, bu

enerji kaynaklarından yararlanabilmek için büyük yatırım masrafları gerekmektedir. Bu nedenle, yatırımcılar artan enerji talebini karşılayabilecek sürdürülebilir, yenilenebilir ve daha ekonomik enerji kaynaklara yönelmektedirler. Hidrolik enerji sürdürülebilir, yenilenebilir, çevre dostu ve de yatırım maliyetlerinin az olmasından dolayı artan enerji ihtiyacını karşılayabilecek enerji alternatiflerinden biridir. Özellikle, Türkiye’de yerli enerji kaynağı olarak hidrolik enerji büyük bir potansiyel teşkil etmektedir

Hidrolik enerji; yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak, sürdürülebilir kalkınmada önemli bir rol oynamaktadır. Hidrolik enerjinin elde edilmesinde kullanılan su, enerji üretimi sırasında kirlenmediği için başka amaçlar içinde kullanılabilir. İçme suyu olarak kullanılabilirdiği gibi, tarım alanlarında sulama sistemlerinde de kullanılabilir. Ayrıca, akarsu debisinin fazla olduğu nehirlere kurulan hidrolik enerji tesisleri, akarsuyun akış rejimini düzenlediği gibi, sel gibi doğal afetlerinde engellenmesine yardımcı olmaktadır.

Hidrolik kaynaklı enerji; temiz, yerli ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Doğru planlandığı ve yönetildiği zaman, sürdürülebilir yaşam ve sürdürülebilir kalkınmada yadsınamaz derecede fayda sağlamaktadır. Küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarının olumsuz etkilerinin her geçen gün artması da dikkate alındığında, bu enerji kaynağının verimli ve etkin bir şekilde ülkenin ihtiyaçlarında kullanımının günümüzde olduğu kadar, gelecekte de daha da artacak ve bu kaynağın kullanımı yerel, bölgesel ve küresel ölçekte sürdürülebilir yaşama katkı sağlayacaktır [18].

Küçük hidrolik santraller; enerji üretimi, içme suyu, tarımda sulama gibi olanakları sağlamanın dışında, kırsal alanlarda iş olanakları yaratarak büyük şehirlere yapılan göç miktarını azaltabilmektedir. Ayrıca küçük hidrolik santral miktarının artmasıyla birlikte, hidrolik santralde kullanılan türbin, jeneratör, transformatör vb. donanımlara duyulan talep artacak bu da sanayide kalkınmaya yol açacaktır. Bu yüzden küçük hidrolik santrallerin kullanımının yaygınlaşması sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyüme açısından büyük önem teşkil etmektedir [19,20].

### 1.2.5 Mini HES'ler üzerine yapılan çalışmalar

Hidrolik enerji destekli hidrojen gaz istasyonları ve bir HES'in ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizleri üzerine detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Fakat konuyu tamamen yansıtan bir çalışmaya tez teslimi itibarıyla rastlanmamıştır. Bununla birlikte, hidrolik enerji destekli hidrojen gaz istasyonunu oluşturan HES'ler üzerine bazı çalışmalar literatürde bulunmuş ve aşağıda sıralanmıştır.

Balat [21], Türkiye'deki hidrolik güç potansiyelini ve bu potansiyel içerisinde küçük HES'lerin rolünü belirten parametrik bir çalışma yapmıştır.

Mwendera [22], Güney Afrika'nın bazı ülkelerindeki hidrolik güç potansiyelini araştırmış ve bu ülkelerde enerji ihtiyacının karşılanmasında hidrolik gücün önemini belirten çalışmalar yapmıştır.

Gonzalez ve ark. [23], bir mikro HES modeli üzerinde otomatik kontrol ünitesi geliştirmişler ve bu otomatik kontrol ünitesini parametrik olarak çalışmışlardır.

Wegericha ve ark. [24], dünya üzerinde bazı bölgeleri baz alarak bu bölgelerde hidroelektrik enerjisinin kullanımı üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Balciunas ve Zdankus [25], HES'lerin çevreye karşı zararlı etkileri üzerine çalışmalar yapmışlardır.

Kaygusuz [20], Türkiye'de küçük HES'lerin hidrolik güç üretimindeki rolünü ve küçük HES'lerin; sürdürülebilir kalkınma, tarım ve sanayi gibi alanlarda sağlamış olduğu faydalardan bahseden bir çalışma yapmıştır.

Singal ve Saini [26], küçük hidrolik santrallerden güç üretimi üzerine parametrik çalışmalar yapmışlardır.

Mahmoud ve ark. [27], sıralı hidrolik santraller üzerine yeni bir dinamik model geliştirmişler ve bu geliştirdikleri modelin simülasyonu ve otomatik kontrolü üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Öztürk ve ark. [28], Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynakları hakkında bilgi veren bir çalışma yapmışlardır. Ayrıca Türkiye'deki hidrolik güç üzerine yapılan enerji politikaları ile Avrupa'da hidrolik güç üzerine yapılan enerji politikalarını karşılaştırmışlardır.

Ansel ve Robyns [29], mikro HES'lerde parça ve bütün hidrolik güç üretim sisteminin ayrı ayrı matematiksel modellemesini yapmışlar ve geliştirmiş oldukları simülasyonla incelemiş oldukları hidrolik güç istasyonunun performansını belirleyen bir çalışma yapmışlardır.

Kahraman ve ark. [30], Termodinamik analiz yardımıyla HES'lerin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi üzerine, Keban barajını baz alarak bir çalışma yapmışlardır.

Yüksek [31], Türkiye'deki enerji ihtiyacının karşılanmasında hidrolik gücün rolü üzerine bir çalışma yapmıştır.

Yumurtacı ve ark. [32], Türkiye'deki HES'lerden üretilen elektrik fazlasıyla genel olarak üretilebilecek hidrojenin ekonomik değerini belirlemek için bir simülasyon çalışması yapmışlardır.

Perers ve ark. [33], İsveç'te hidrolik gücün elektrik enerjisine çevrilmesinde kullanılan, eş zamanlı olarak çalışan jeneratörlerin yapım ve çalışma prensiplerini anlatan bir çalışma yapmışlardır.

Kishor ve ark. [34], hidrolik güç üretim istasyonları hakkında değişik modeller tasarlamışlar ve bu modellerin otomatik kontrol üniteleri hakkında çalışmalar yapmışlardır.

Huang ve Yan [35], Çin'in çeşitli bölgelerindeki hidrolik enerji potansiyelini, Çin'de hidrolik enerji kullanım miktarını, Çin'de hidrolik enerji kullanımının dünden bu güne nasıl değiştiği ve ileride Çin'de hidrolik enerjinin daha çok kullanılması için yapılması düşünülen projeleri anlatan bir çalışma yapmışlardır.

Mirza ve ark. [36], Pakistan’da geçmişte ve günümüzde hidrolik enerjinin kullanımı ve gelecekte hidrolik enerjinin Pakistan’daki enerji ihtiyacının karşılanmasındaki rolünün ne olacağı konusunda bir çalışma yapmışlardır.

Bartle [37], kıtaların hidrolik güç potansiyelini ve bu potansiyelin kıtalardaki enerji ihtiyacının karşılanmasındaki rolünü belirten bir çalışma yapmıştır.

Dudhani ve ark. [38], Hindistan’daki enerji ihtiyacının karşılanmasında değişik enerji kaynaklarının ve hidrolik gücün rolünü belirten çalışmalar yapmışlardır.

Hanmandlu ve Goyal [39], mikro HES’ler üzerine gelişmiş bir otomatik kontrol ünitesinin modellenmesi üzerine parametrik çalışmalar yapmışlardır.

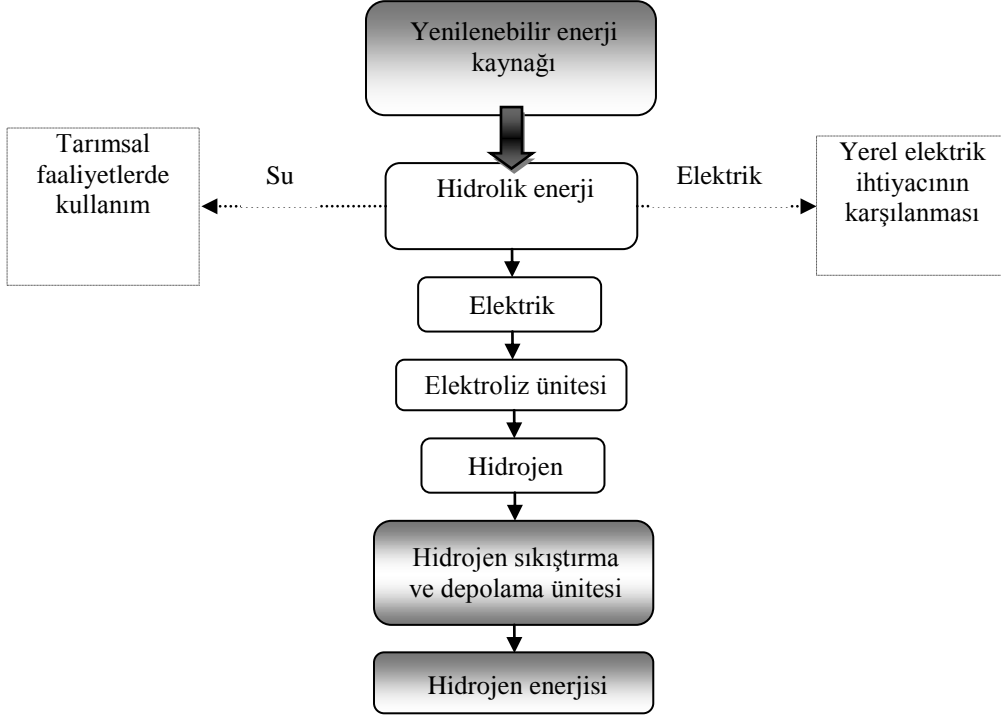
Yapılan literatür araştırmalarından görüldüğü üzere, hidrolik enerji destekli hidrojen istasyonu üzerine yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmaması ve akarsu tipi bir hidroelektrik santralden güç üretimi konusunda yapılan termodinamik ve sürdürülebilirlik çalışmalarının olmaması konunun orijinalitesini açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışmada amaç; hidrolik enerji destekli hidrojen istasyonunda yer alan hidrojen üretimi, hidrojenin sıkıştırılması ve depolanması işlemleri için gerekli elektrik enerjisini sağlamak için kullanılan akarsu tipi bir HES’in termodinamik analizini yapmaktır.

#### **1.2.6. Ekserji ve sürdürülebilirlik analizinin gereksinimi**

Enerji analizi, Termodinamiğin Birinci Kanunu kapsamında yapılır. Enerji analizi ile bir sistemin tasarlanıp tasarlanamayacağına karar vermede ve mevcut bir sistemdeki tersinmezliklerin azaltılmasında hangi tedbirlerin alınacağına karar vermek oldukça zordur. Bu ancak Termodinamiğin İkinci Kanunu kapsamında yapılan ekserji analizi ile mümkün olabilir [40].

Bir sistemin termodinamik bakımdan çevreye ve kullandığı enerji kaynağına uyumlu olup olmadığını belirlemek için ekserjetik sürdürülebilirlik analizinin yapılması gerekir [41].

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi bir sistemin; verimliliğinin artırılabilmesi, küresel ısınmaya neden olabilecek çevresel etkilerinin belirlenebilmesi ve bu etkilerin minimum düzeye indirilebilmesi için ekserji ve sürdürülebilirlik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda, hidrolik enerji ile hidrojen ilişkisinin şematik gösterimi Şekil 1.1’de sunulmuştur.



Şekil 1.1 Hidrolik enerji ile hidrojen ilişkisinin şematik gösterimi ([41] nolu kaynaktan değiştirilerek alınmıştır)

## BÖLÜM II

### YAPILAN ÇALIŞMALAR

#### 2.1 Giriş

Bu tez çalışmasında, saatte 3 kg hidrojen üreten ve depolayan bir hidrojen istasyonu için gerekli olan net ekserji (elektrik) ihtiyacını karşılayabilecek bir mini HES'in termodinamik analizi kapsamında ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizleri parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, teorik çalışmalar ve termodinamik çalışmalar şeklinde detaylı olarak aşağıda sunulmuştur.

#### 2.2 Teorik Çalışmalar

Bu tez çalışmasının teorik çalışmalar kısmında; çalışmayla ilgili genel kabuller, sistemde etkili büyüklükler, sistemin çalışma prensibi ve sistemin güç üretimi akış şeması detaylı olarak çalışılmıştır.

##### 2.2.1 Genel kabuller

Bu tez çalışması kapsamında, sistemde gerekli olan gücün üretilebilme şartlarına bağlı olarak uygun kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Tasarlanan sistem için hesaplamalar, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin topoğrafik şartları esas alınarak yapılmıştır. Bölgenin de topoğrafik şartlarına uygun olan düşü, 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olarak seçilmiştir.
2. Düşünülen HES için debi değerleri Doğu Karadeniz Bölgesi'nin küçük ve orta ölçekli akarsularının ortalama su debisi değerleri dikkate alınarak  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$  ile  $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$  arasında seçilmiştir. Debi değerleri seçilen aralıkta 0.01 arttırılarak hesaba katılmıştır.
3. Cebri borunun yatayla yapmış olduğu eğim açısı yine Doğu Karadeniz Bölgesi'nin topoğrafik koşullarına bağlı olarak  $45^\circ$  ve  $75^\circ$  olarak kabul edilmiştir.
4. Tasarlanan sistemde türbin verimi 0.90, jeneratör verimi 0.95, transformatör verimi 0.90 olarak seçilmiştir.



5. Sistem, saatte 3 kg hidrojen üretimi ve depolaması yapabilen hidrojen istasyonu için gerekli olan en az 200 kW net ekserjiyi üretebilecek şekilde tasarlanmıştır.
6. Sistem içindeki ara bağlantılarda meydana gelen basınç ve ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
7. Sistemde vana kaybı dikkate alınırken vanalar tam açık olacak şekilde düşünülmüştür. Hazne çıkış kaybı olarak ta 90°'lik keskin geçiş olması halindeki durum göz önüne alınarak kayıp katsayıları bu durumlara göre alınmıştır.

## 2.2.2 Sistemdeki etkili büyüklükler

Hidrojen istasyonu için gerekli olan ekserjiyi karşılayabilecek şekilde tasarlanan bir mini HES'ten güç üretiminin ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizleri sırasında ele alınan sistemdeki etkili büyüklükler üç alt başlık altında sunulmuştur.

### 2.2.2.1 Sabit büyüklükler

Tez çalışmasının amaçları kapsamında, ele alınan sistemin ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizleri için gerekli olan sabit büyüklükler literatürde sunulmuş olan farklı kaynaklardan alınmış ve Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Sistemdeki sabit büyüklükler

Sabit büyüklük	Anlamı	Birim	Değer	Referans
$k_v$	Vana için lokal (yerel) kayıp katsayısı	-	0.5	[42]
$k_h$	Hazne çıkışı için lokal (yerel) kayıp katsayısı	-	0.5	[42]
$g$	Yer çekimi ivmesi	( $m/s^2$ )	9.81	[42]
$\rho$	Suyun yoğunluğu	( $kg/m^3$ )	1000	[43]
$k_s$	Cebri borunun pürüz kalınlığı	mm	0.05	-

### 2.2.2.2 Ölçülebilen büyüklükler

Bu tez çalışmasına benzer nitelikte yapılabilecek deneysel çalışmalarda, bir önceki bölümdeki sabit büyüklükler dışında, sistemin farklı kısımlarında ölçülmesi gereken büyüklükler de bulunmaktadır. Bu büyüklükler Çizelge 2.2’de sunulmuştur.

Çizelge 2.2 Sistemdeki ölçülebilen büyüklükler

Ölçülebilen büyüklük	Anlamı	Birim	Değer
$\dot{Q}_b$	Debi	(m <sup>3</sup> /s)	0.01 - 0.79 (ayrıca hıza ve çapa bağlı olarak hesaplanabilir)
D	Cebri boru çapı	m	0.4 ve 1
L	Cebri borunun uzunluğu	m	(ayrıca eğim açısına bağlı hesaplanabilir)
V	Borudan geçen suyun hızı	(m/s)	(Ayrıca debiye ve çapa bağlı olarak hesaplanabilir)
$\alpha$	Cebri borunun yatayla yaptığı açı	Derece	45 ve 75
H <sub>g</sub>	Brüt Düşü	m	70-150

### 2.2.2.3 Hesaplanabilen büyüklükler

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sırasında kullanılan, hesaplanabilen büyüklükler Çizelge 2.3'te sunulmuştur.

Çizelge 2.3 Sistemdeki hesaplanabilen büyüklükler

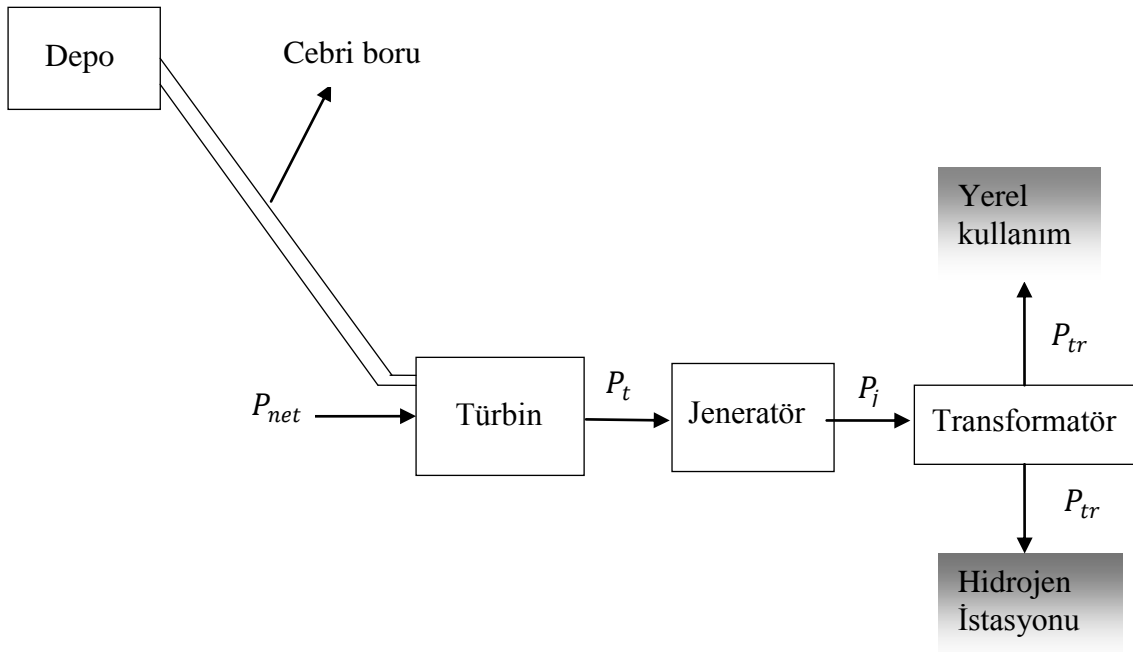
Hesaplanabilen büyüklük	Anlamı	Birim
V	Cebri borudan geçen suyun hızı	m/s
$\dot{Q}_b$	Debi	m <sup>3</sup> /s
A	Cebri borunun alanı	m <sup>2</sup>
L	Cebri borunun uzunluğu	m
$\xi_l$	Sistemde meydana gelen lokal (yerel) kayıplar	m
$\xi_s$	Sistemde meydana gelen sürekli kayıpları	m
$\Sigma\xi$	Sistemde meydana gelen toplam kayıplar	m
H <sub>0</sub>	Suyun türbine bırakıldığı net düşü	m
P <sub>n</sub>	Suyun türbine bıraktığı net güç	kW
P <sub>t</sub>	Türbinden elde edilen net güç	kW
P <sub>j</sub>	Jeneratörden elde edilen net güç	kW
P <sub>tr</sub>	Transformatörden elde edilen net güç	kW
$\dot{E}x_m^{Hg}$	Suyun türbine bıraktığı maksimum ekserji	kW
$\dot{E}x_n^{Ho}$	Suyun türbine bıraktığı net ekserji	kW
$\dot{E}x_{k,b}$	Cebri boruda meydana gelen ekserji kayıpları	kW
$\dot{E}x_{k,t}$	Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları	kW
$\dot{E}x_t^W$	Türbinden elde edilen net ekserji	kW
$\dot{E}x_{k,j}$	Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları	kW
$\dot{E}x_j^W$	Jeneratörden elde edilen net ekserji	kW
$\dot{E}x_{k,trs}$	Transformatörde meydana gelen ekserji kayıpları	kW
$\dot{E}x_{trs}^W$	Transformatörden elde edilen net ekserji	kW
$\eta_{ex}^{hes}$	Sistemin ekserji verimi	Boyutsuz
$f_{exy}^{hes}$	Sistemin ekserjetik yıkım faktörü	Boyutsuz
$C_{\zeta y}^{hes}$	Sistemin çevresel yıkım katsayısı	Boyutsuz
$\theta_{\zeta y}^{hes}$	Sistemin çevresel yıkım indeksi	Boyutsuz
$\theta_{\zeta u}^{hes}$	Sistemin çevresel uyum indeksi	Boyutsuz
$f_{exk}^{hes}$	Sistemin ekserjetik kararlılık faktörü	Boyutsuz
$\theta_{exs}^{hes}$	Sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi	Boyutsuz
$\lambda$	Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı	Boyutsuz

### 2.2.3 Cebri borulu bir hidrolik güç santralının çalışma prensibi

Nehir yatağından belli kanallar vasıtasıyla depoya gönderilen su, burada istenen debiye göre ayarlanarak cebri borular vasıtasıyla türbine gönderilir. Türbin, suyun kinetik ve potansiyel enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Türbinde elde edilen mekanik enerji jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülür ve transformatör vasıtasıyla hidrojen üretim ve depolama istasyonu ile birlikte yerel kullanımda ihtiyaç duyulan gerilim seviyesine ayarlanarak kullanılabilir hale getirilmektedir.

### 2.2.4 Cebri borulu bir hidrolik güç üretim santralının akış şeması

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için yapılmış olan kabuller doğrultusunda, hidrojen istasyonu için gerekli olan net ekserji ihtiyacını karşılayabilecek şekilde tasarlanmış olan bir mini HES'in işlem akış şeması Şekil 2.1'de sunulmuştur



Şekil 2.1 Hidrojen istasyonu için gerekli olan net ekserji ihtiyacını sağlayan akarsu tipi bir mini HES'in güç üretimi akış şeması

## 2.3. Termodinamik Çalışmalar

Termodinamik analiz çalışmaları kapsamında, tasarlanan hidrojen istasyonu için gerekli net ekserjiyi sağlayabilecek bir mini HES'in termodinamik analizi ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiştir.

### 2.3.1 Mini HES'ten güç üretimi için parametrik hesaplamalar

Hidrojen üretimi ve depolaması proseslerinin yapılacağı hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacını karşılayabilecek bir mini HES'in parametrik hesaplamalar kısmında aşağıda belirtilen parametrelerin hesaplanması yer almaktadır.

#### 2.3.1.1 Cebri boru içerisinden geçen suyun hızının hesaplanması

Cebri borudan geçen suyun hızı hesaplanırken debi değerleri ve boru çapları (0.4 m ve 1 m) dikkate alınmıştır. Cebri boru içerisinden geçen suyun hızı aşağıdaki formülle hesaplanır [43].

$$\text{Suyun hızı} = \frac{\text{Cebri boru içerisinden geçen suyun debisi}}{\text{Cebri borunun alanı}}$$

$$V = \frac{\dot{Q}_b}{A} \quad (2.1)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.2)$$

$D$ : Cebri borunun çapı (m)

$V$ : Cebri boru içerisindeki suyun hızı (m/s)

$\dot{Q}_b$ : Cebri boru içerisindeki suyun debisi (m<sup>3</sup>/s)

$A$ : Cebri borunun kesit alanı (m<sup>2</sup>)

### 2.3.1.2 Sistemde meydana gelen lokal (yerel) kayıplar

Sistemde meydana gelen lokal kayıplar, 1 adet vana ve hazne çıkış kaybı dikkate alınarak aşağıdaki bağıntı yardımıyla ayrı ayrı hesaplanır.

$$\xi_l = \frac{k v^2}{2 g} \quad (2.3)$$

$\xi_l$ : Sistemde meydana gelen lokal kayıplar

$k_v$ : Lokal kayıp katsayısı (Vana kaybı için)

$k_h$ : Lokal kayıp katsayısı (Hazne çıkış kaybı için)

$g$ : Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

### 2.3.1.3 Darcy-Weisbach sürtünme katsayısının hesaplanması ( $\lambda$ )

Darcy-Weisbach sürtünme katsayısının hesaplanması için aşağıda sunulan Barr ve Colebrook-White denklemleri [44] kullanılmıştır.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{k_s}{3.7D} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}} \right] \quad ve \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \quad (2.4)$$

$Re$ : Reynold sayısı

$k_s$ : Cebri borunun pürüz kalınlığı (mm)

### 2.3.1.4 Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar

Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar olarak cebri borudan geçen suyun boru cidarına sürtünmesinden dolayı meydana gelen kayıplar dikkate alınmıştır. Burada cebri borunun uzunluğu hesaplanırken cebri borunun yatayla yaptığı açı  $45^\circ$  ve  $75^\circ$  olarak alınmıştır. Bu açılar, sistemin tasarlanırken baz alındığı Doğu Karadeniz Bölgesi'nin topoğrafik yapısına uygun olarak seçilmiştir. Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [42].

$$\xi_s = \frac{\lambda L v^2}{2 g D} \quad (2.5)$$

$\xi_s$ : Sistemde meydana gelen sürekli kayıplar

$\lambda$ : Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı

$L$ : Cebri borunun uzunluğu (m)

### 2.3.1.5 Sistemde meydana gelen toplam kayıplar

Sistemde meydana gelen lokal (yerel) ve sürekli kayıpların toplamı sistemde meydana gelen toplam kayıpları vermektedir. Dolayısıyla toplam kayıplar aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [17].

Toplam kayıplar = (Toplam lokal (yerel) kayıplar) + (Sürekli kayıplar)

$$\Sigma \xi = \Sigma \xi_l + \Sigma \xi_s \quad (2.6)$$

$\Sigma \xi$ : Sistemde meydana gelen toplam kayıplar

### 2.3.1.6 Net düşünün hesaplanması ( $H_o$ )

Cebri borulu hidrolik güç santralinin tasarlanmasında kullanılan önemli kriterlerden biri de düşüdür. Brüt düşüden sistemde meydana gelen toplam kayıplar çıkarıldığı zaman net düşü elde edilir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [45].

Net düşü = (Brüt düşü yüksekliği) – (Toplam kayıplar)

$$H_o = H_g - \Sigma \xi \quad (2.7)$$

$H_g$ : Suyun türbine bırakıldığı maksimum yükseklik (brüt düşü) (m)

$H_o$ : Brüt düşüden kayıplar çıkarıldığı zaman elde edilen net düşü (m)

### 2.3.2 Mini HES'ten güç üretiminin ekserji analizi

Bu konu kapsamında, genel olarak bir sistemde meydana gelen ekserji transfer mekanizmalarından bahsedilmiştir. Hidrojen istasyonu için gerekli olan gücü üreten cebri borulu bir mini HES'in ekserji analizi kısmında incelen parametreler alt başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur.

#### 2.3.2.1 Isı geçişi ile ekserji geçişi

Mutlak sıcaklık  $T$  değerinde, belirli bir yerdeki  $Q$  ısı geçişine, daima aşağıda verilen denklemde belirtilen miktarda ekserji geçişi ( $Ex_{ısı}$ ) eşlik eder [45].

$$Ex_{ısı} = \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) Q \quad (2.8)$$

#### 2.3.2.2 İş ile ekserji geçişi

Ekserji yararlı iş potansiyelidir ve iş ile gerçekleşen ekserji geçişi aşağıda verildiği gibi tanımlanabilir. Mül işi ve elektrik işi gibi, iş ile gerçekleşen ekserji geçişi, işin kendisine eşittir [46].

$$Ex_{iş} = \begin{cases} W-W_{çevre} \rightarrow (sınırlı iş için) \\ W \rightarrow işin diğer şekilleri için \end{cases} \quad (2.9)$$

#### 2.3.2.3 Kütle ile (m) ekserji geçişi

Kütle, enerji ve entropi yanında ekserjide içerir ve bir sistemin ekserji, enerji ve entropi içeriği kütle ile orantılıdır. Aynı zamanda, sistemin içine veya dışına taşınabilen ekserji, entropi ve enerji miktarları, kütle akış miktarları ile orantılıdır ve kütle akışı ile gerçekleşen ekserji transferinin değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Phi = (h - h_o) + T_o(s - s_o) - T_o(s_2 - s_1) + \left(\frac{v^2}{2}\right) + (g z) \quad (2.10)$$

$$Ex_{kütle} = (m \times \varphi) \quad (2.11)$$



#### 2.3.2.4 Kinetik ve potansiyel enerji ile ekserji geçişi (İş potansiyeli)

Kinetik enerji, mekanik enerjinin bir şeklidir ve bu nedenle tamamen işe çevrilebilir. Bundan dolayı, bir sistemin kinetik enerjisinin iş potansiyeli veya ekserjisi, çevrenin sıcaklığı ve basıncı ne olursa olsun kinetik enerjinin kendisine eşittir. Aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$Ex_{ke} = ke = \frac{v^2}{2} \quad (2.12)$$

Burada  $v$ , sistemin bulunduğu çevreye göre goreceli hızıdır. Potansiyel enerjide, mekanik enerjinin bir şeklidir ve bu nedenle tamamen işe çevrilebilir. Bundan dolayı, bir sistemin potansiyel enerjisinin ekserjisi, çevrenin sıcaklığı ve basıncı ne olursa olsun potansiyel enerjinin kendisine eşittir. Aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Ex_{pe} = pe = (g \times z) \quad (2.13)$$

Burada  $g$  yerçekimi ivmesi,  $z$  ise sistemin bulunduğu ortamdaki referans duzlemine gore goreceli yukseklіğidir. Boylce kinetik ve potansiyel enerjilerin ekserjileri kendilerine eşittir ve tamamen iş için kullanılabilirler [46].

#### 2.3.2.5 Turbine bırakılan maksimum ekserji

Turbine bırakılan maksimum ekserji değeri olarak; suyun turbine bırakıldığı brüt düşüden elde edilebilecek ekserji değeri olup aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$\dot{E}x_m^{H_g} = \frac{\dot{Q}_b H_g \rho g}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_g \quad (2.14)$$

$\dot{E}x_m^{H_g}$  : Turbine bırakılan maksimum ekserji (kW)

$H_g$  : Suyun turbine bırakıldığı maksimum yukseklіk (Brüt düşü) (m)

### 2.3.2.6 Türbine bırakılan net ekserji

Bir HES'te, suyun türbine bırakıldığı brüt düşüden kayıpların çıkarılmasıyla elde edilen net düşüden elde edilebilecek net ekserji aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\dot{E}x_n^{H_o} = \frac{\dot{Q}_b H_0 \rho g}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_0 \quad (2.15)$$

$\dot{E}x_n^{H_o}$  : Suyun türbine bıraktığı net ekserji (kW)

$H_0$  : Suyun türbine bırakıldığı net yükseklik (Net düşü) (m)

### 2.3.2.7 Cebri boru hattında meydana gelen ekserji kayıpları

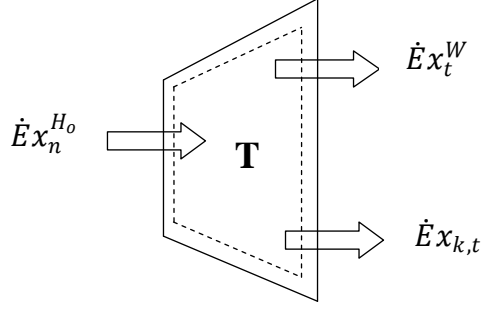
Cebri boru hattında, suyun boru cidarlarına sürtünmesinden ve boru hattındaki vana, hazne çıkışı vb. elemanlardan dolayı ekserji kayıpları meydana gelmektedir. Cebri boru hattında meydana gelen ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\dot{E}x_{k,b} = \dot{E}x_m^{H_g} - \dot{E}x_n^{H_o} \quad (2.16)$$

$\dot{E}x_{k,b}$  : Boru hattında meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

### 2.3.2.8 Türbinden elde edilen net ekserji

Türbinden elde edilen net ekserji miktarı; suyun türbine bıraktığı net ekserji ve türbin verimi ile doğrudan ilişkilidir. Türbinden elde edilen net ekserji miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.



Şekil 2.2 Su türbininin ekserji etkileşim diyagramı

$$\dot{E}x_t^W = \frac{\rho g \dot{Q}_b H_o \eta_t}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_o \eta_t \quad (2.17)$$

$$\dot{E}x_t^W = \dot{E}x_n^{H_o} \eta_t \quad (2.18)$$

Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları da aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\dot{E}x_{k,t} = \dot{E}x_n^{H_o} - \dot{E}x_t^W \quad (2.19)$$

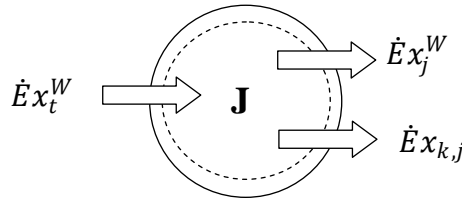
$\dot{E}x_{k,t}$  : Türbinde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

$\dot{E}x_t^W$  : Türbinden elde edilen net ekserji (kW)

$\eta_t$  : Türbin verimi

### 2.3.2.9 Jeneratörden elde edilen net ekserji

Jeneratörden elde edilebilecek net ekserji değeri, türbin tarafından jeneratöre gönderilen net ekserji ve jeneratör verimine bağlı olarak değişmektedir. Jeneratörden elde edilen net ekserji aşağıdaki gibi hesaplanır.



Şekil 2.3 Jeneratörün ekserji etkileşim diyagramı

$$\dot{E}x_{p_j}^W = \frac{\rho g \dot{Q}_b \eta_t \eta_j}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_0 \eta_t \eta_j \quad (2.20)$$

$$\dot{E}x_j^W = \dot{E}x_t^W \eta_j \quad (2.21)$$

Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\dot{E}x_{k,j} = \dot{E}x_t^W - \dot{E}x_j^W \quad (2.22)$$

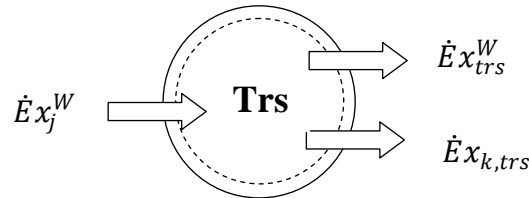
$\dot{E}x_{k,j}$  : Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

$\dot{E}x_j^W$  : Jeneratörden elde edilen net ekserji (kW)

$\eta_j$  : Jeneratör verimi

### 2.3.2.10 Transformatörden elde edilen net ekserji

Transformatörden elde edilen net ekserji değeri, jeneratörden transformatöre gönderilen net ekserji ve transformatör verimiyle doğru orantılı olarak değişmektedir. Transformatörden elde edilen net ekserji değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır,



Şekil 2.4 Transformatörün ekserji etkileşim diyagramı

$$\dot{E}x_{trs}^W = \frac{\rho g \dot{Q}_b H_0 \eta_t \eta_j \eta_{trs}}{1000} = 9.81 \dot{Q}_b H_0 \eta_t \eta_j \eta_{trs} \quad (2.23)$$

$$\dot{E}x_{trs}^W = \dot{E}x_j^W \eta_{trs} \quad (2.24)$$

Jeneratörde meydana gelen ekserji kayıpları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\dot{E}x_{k,trs} = \dot{E}x_j^W - \dot{E}x_{trs}^W \quad (2.25)$$

$\dot{E}x_{k,trs}$ : Transformatörde meydana gelen ekserji kayıpları (kW)

$\dot{E}x_{trs}^W$ : Transformatörden elde edilen net ekserji (kW)

$\eta_{trs}$ : Transformatör verimi

### 2.3.3 Mini HES'ten güç üretiminin sürdürülebilirlik analizi

Hidrojen istasyonu için gerekli olan net ekserji ihtiyacını sağlayacak şekilde termodinamik incelemesi yapılan akarsu tipi bir mini HES'in enerji sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için aşağıdaki temel kriterler kesinlikle dikkate alınmalıdır.

- Yenilenebilir kaynaktan elektrik üretimi,
- Çevresel etki yaratmayan enerji üretim sistemi,
- Türbininden elde edilen mil işinin yenilenebilir kaynak tarafından sağlanması,

Ekserjetik sürdürülebilirlik analizini yapmadan önce sistemin ekserji analizi yapılmalıdır. Akarsu tipi bir mini HES'in termodinamik yönleri düşünüldüğünde aşağıda sıralanan sürdürülebilirlik indikatörleri literatürden [47] yararlanarak türetilir ve hesaplanabilir.

Ekserjetik verim ( $\eta_{ex}^{hes}$ )

Ekserjetik yıkım faktörü ( $f_{exy}^{hes}$ )

Çevresel yıkım katsayısı ( $C_{cy}^{hes}$ )

Çevresel yıkım indeksi ( $\theta_{cy}^{hes}$ )

Çevresel uyum indeksi ( $\theta_{cu}^{hes}$ )

Ekserjetik kararlılık faktörü ( $f_{exk}^{hes}$ )

Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ( $\theta_{exs}^{hes}$ )

#### 2.3.3.1 Sistemin ekserji verimi

Bir sistemin ekserji verimi en genel formda aşağıdaki gibi hesaplanır [47],

$$\text{Ekserji verimi} = \frac{\text{Faydalı ürün ekserji}}{\text{Sisteme giren maksimum ekserji}} \quad (2.26)$$

Denklem 2.26'ya göre bir mini HES'in ekserjetik verimi aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\eta_{exs}^{hes} = \frac{\dot{E}x_{trs}^W}{\dot{E}x_m^{H_g}} \quad (2.27)$$

$\eta_{exs}^{hes}$  : Sistemin ekserji verimi

### 2.3.3.2 Sistemin ekserjetik yıkım faktörü

Ekserjetik yıkım faktörü; HES'lerin ekserjetik sürdürülebilirlik açısından pozitif etkilerinin azalma miktarını gösteren önemli bir sürdürülebilirlik parametresidir. Bu pozitif etkiler; HES'ten daha fazla net ekserji elde edilmesi ve HES'te meydana gelen atık ekserji oranlarının azaltılması şeklinde sıralanabilir. Ekserjetik yıkım faktörü genel olarak aşağıdaki gibi yazılır [47].

$$\text{Ekserjetik yıkım faktörü} = \frac{\text{Ekserji yıkım miktarı}}{\text{Sisteme giren maksimum ekserji}} \quad (2.28)$$

Denklem 2.28'e göre bir mini HES'in ekserjetik yıkım faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f_{exy}^{hes} = \frac{(\dot{E}x_{k,t} + \dot{E}x_{k,j} + \dot{E}x_{k,trs} + \dot{E}x_{k,b})}{\dot{E}x_m^{H_g}} \quad (2.29)$$

$f_{exy}^{hes}$  : Ekserji yıkım faktörü

### 2.3.3.3 Sistemin çevresel yıkım katsayısı

Bir mini HES'in ekserjetik sürdürülebilirlik açısından pozitif etkisini vurgulamak için; sistemin çevresel yıkım katsayısının, Termodinamiğin İkinci Kanununa göre belirlenmesi gerekir. Buna göre çevresel yıkım katsayısı direkt olarak ekserjetik verimle alakalıdır. Çevresel yıkım katsayısı 1 ile  $+\infty$  aralığında değişmektedir. Pratik uygulamalarda bu değer 1'e yakın olması istenmektedir. Çevreye uyumlu bir sistemle

çevresel yıkımın azaltılması mümkündür. Bu katsayı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [47].

$$Çevresel\ yıkım\ katsayısı = \frac{1}{Ekserji\ verimi} \quad (2.30)$$

Denklem 2.30'a göre bir mini HES'in çevresel yıkım katsayısı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$C_{çy}^{hes} = \frac{1}{\eta_{exs}^{hes}} \quad (2.31)$$

$C_{çy}^{hes}$  : Çevresel yıkım katsayısı

#### 2.3.3.4 Sistemin çevresel yıkım indeksi

Çevresel yıkım indeksi, HES'lerin faydasız atık ekserji çıkışı ve ekserji yıkımından dolayı, bu sistemlerin termodinamik bakımdan çevreye zararlı olup olmadığını belirten önemli bir parametredir. Bu indeks 1 ile  $+\infty$  arasında değer almaktadır ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [47].

$$Çevresel\ yıkım\ indeksi = ((Ekserji\ yıkım\ faktörü) + (Yeniden\ kullanılmayan\ atık\ ekserji\ oranı) \times (Çevresel\ yıkım\ katsayısı)) \quad (2.32)$$

Denklem 2.32'ye göre bir mini HES'in çevresel yıkım indeksi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\theta_{çy}^{hes} = f_{exy}^{hes} C_{çy}^{hes} \quad (2.33)$$

$\theta_{çy}^{hes}$  : Çevresel yıkım indeksi

### 2.3.3.5 Sistemin çevresel uyum indeksi

Çevresel uyum indeksi mini HES'lerin çevreye uygunluğunu belirtir. HES'lerin çevreye uyumluğunu artırmak için; sistemin çevresel uyum indeksinin ideal değerlere yakın olması gerekir ki, bunun için de sistemin çevresel yıkım indeksinin minimum değerlerde (1'e yakın) olması gerekmektedir. Genel olarak bir sistemin çevresel uyum indeksi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [47].

$$\text{Çevresel uyum indeksi} = \frac{1}{\text{Çevresel yıkım indeksi}} \quad (2.34)$$

Denklem 2.34'e göre bir mini HES'in çevresel uyum indeksi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$\theta_{cu}^{hes} = \frac{1}{\theta_{cy}^{hes}} \quad (2.35)$$

$\theta_{cu}^{hes}$ : Çevresel uyum indeksi

### 2.3.3.6 Sistemin ekserjetik kararlılık faktörü

Mini bir HES'in ekserjetik kararlılığını belirlemek için mini HES'te meydana gelen ekserji üretiminin ve ekserji yıkımının dikkate alınması gerekir. Bu faktör 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Sistemin çevreye uyumlu olması için ekserjetik kararlılık faktörünün 1'e yakın olması gerekmektedir. Bir sistemin genel olarak ekserjetik kararlılık faktörü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [47].

$$\text{Ekserjetik kararlılık faktörü} = \frac{\text{Faydalı ürün ekserjisi}}{\text{Toplam tersinmezlik} + \text{Faydalı ürün ekserjisi}} \quad (2.36)$$

Denklem 2.36'ya göre bir mini HES'in ekserjetik kararlılık faktörü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır;

$$f_{exk}^{hes} = \frac{\dot{E}x_{trs}^W}{\dot{E}x_{k,t} + \dot{E}x_{k,j} + \dot{E}x_{k,trs} + \dot{E}x_{k,b} + \dot{E}x_{trs}^W} \quad (2.37)$$



$f_{ek}^{hes}$  : Ekserjetik kararlılık faktörü

### 2.3.3.7 Sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi Termodinamiğin İkinci Kanunu dikkate alınarak belirlenen önemli bir parametredir. Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesinde, çevresel uyum indeksinin ve ekserjetik kararlılık faktörünün dikkate alınması gerekir. Bu değer 0 ile  $+\infty$  arasında bir değer almaktadır. En genel olarak bir sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır [47].

Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi = (Çevresel uyum indeksi) x (Ekserjetik kararlılık faktörü) (2.38)

Denklem 2.38'e göre bir mini HES'in ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\theta_{eks}^{hes} = (\theta_{\text{cu}}^{hes} f_{ek}^{hes}) \quad (2.38)$$

$\theta_{eks}^{hes}$  : Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

### 2.3.3.8 Sistemin kayıp-üretim oranı

İncelemiş olduğumuz bir mini HES'in kayıp-üretim oranı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\begin{aligned} \text{Sistemin kayıp\_üretim oranı} &= \frac{\text{Sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıpları}}{\text{Sistemden elde edilen net ekserji}} \\ &= \frac{\dot{E}x_{k,t} + \dot{E}x_{k,j} + \dot{E}x_{k,trs} + \dot{E}x_{k,b} + \dot{E}x_{trs}^W}{\dot{E}x_{trs}^W} \end{aligned} \quad (2.39)$$

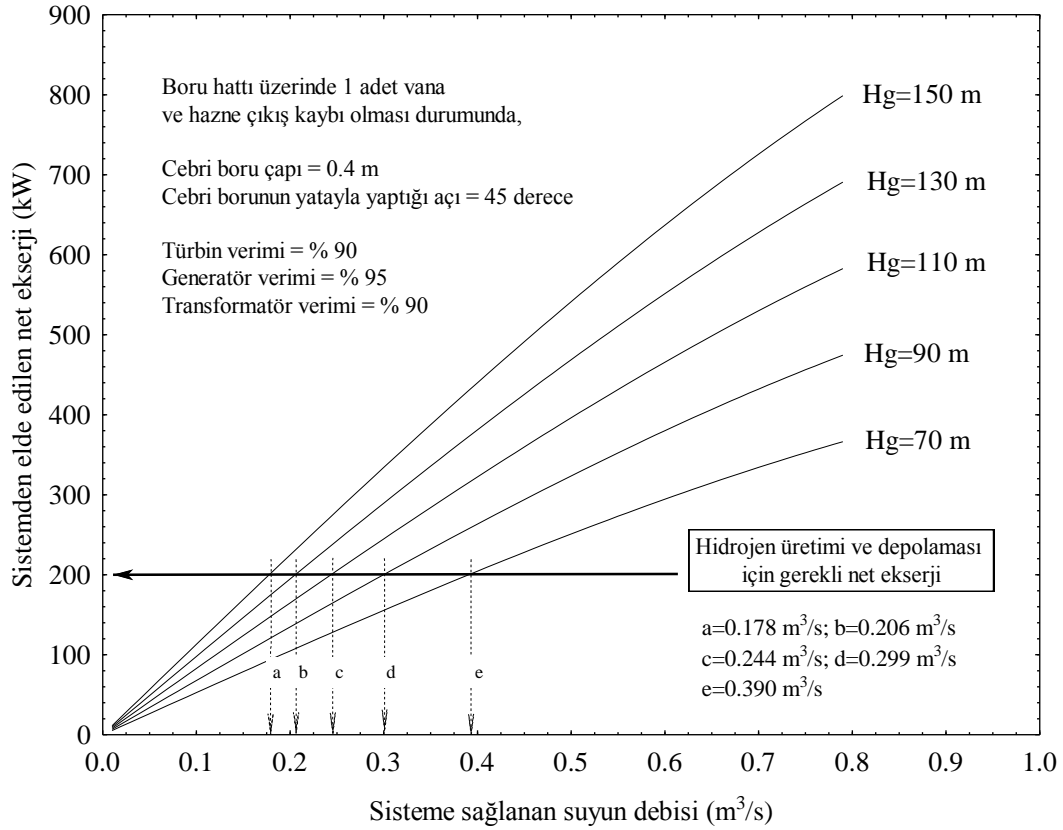
## BÖLÜM III

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde, saatte 3 kg hidrojen üreten ve depolayan bir hidrojen gaz istasyonu için gerekli elektrik enerjisini sağlayan akarsu tipi mini bir hidroelektrik santralin ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizlerine ait bulgular sunulmuş ve detaylı olarak tartışılmıştır.

Şekil 3.1’de cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES’ten elde edilen net ekserjinin, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Burada sistem içerisinde bulunan türbinin verimi % 90, jeneratör verimi % 95 ve transformatörün verimi % 90 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışının olduğu düşünülmüştür. Genel olarak sistemin geometrik yükseklikleri 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m şeklinde kabul edilmiştir. Özellikle hidrojen istasyonunun Doğu Karadeniz Bölgesi’nde kurulması düşüncesi dikkate alındığında bu geometrik yükseklik coğrafi şartlara uygun olarak belirlenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla, sistemden elde edilen net ekserji de artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, sisteme sağlanan su debisinin 0.79 m<sup>3</sup>/s olması durumunda Hg=70 m için 366.384 kW güç, Hg=90 m için 474.495 kW güç, Hg=110 m için 582.605 kW güç, Hg=130 m için 690.716 kW güç, Hg=150 m için 798.826 kW güç üretilebilmektedir. Bu sistemin geliştirilmesindeki esas amaç, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde kurulması düşünülen hidrojen istasyonunun enerji ihtiyacını sağlamak olduğuna göre, bu hidr ojen üretimi ve depolaması için gerekli net ekserji değeri 200 kW olarak belirlenmiştir. O halde 200 kW’lık güce karşılık gelen debi değerlerinin belirlenmesi ve uygun geometrik yüksekliklere sahip coğrafik koşullarda sistemin kurulması oldukça önemlidir. Bu durumda, hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli olan 200 kW’lık güç üretimini gerçekleştirebilmek için Hg=70 m olması durumunda debi değeri 0,390 m<sup>3</sup>/s, Hg= 90 m olması durumunda debi değeri 0.299 m<sup>3</sup>/s, Hg=110 m olması durumunda debi değeri 0,244 m<sup>3</sup>/s, Hg=130 m olması durumunda debi değeri 0.206 m<sup>3</sup>/s ve Hg=150 m olması durumunda debi değeri 0.178 m<sup>3</sup>/s olarak sağlanmalıdır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla

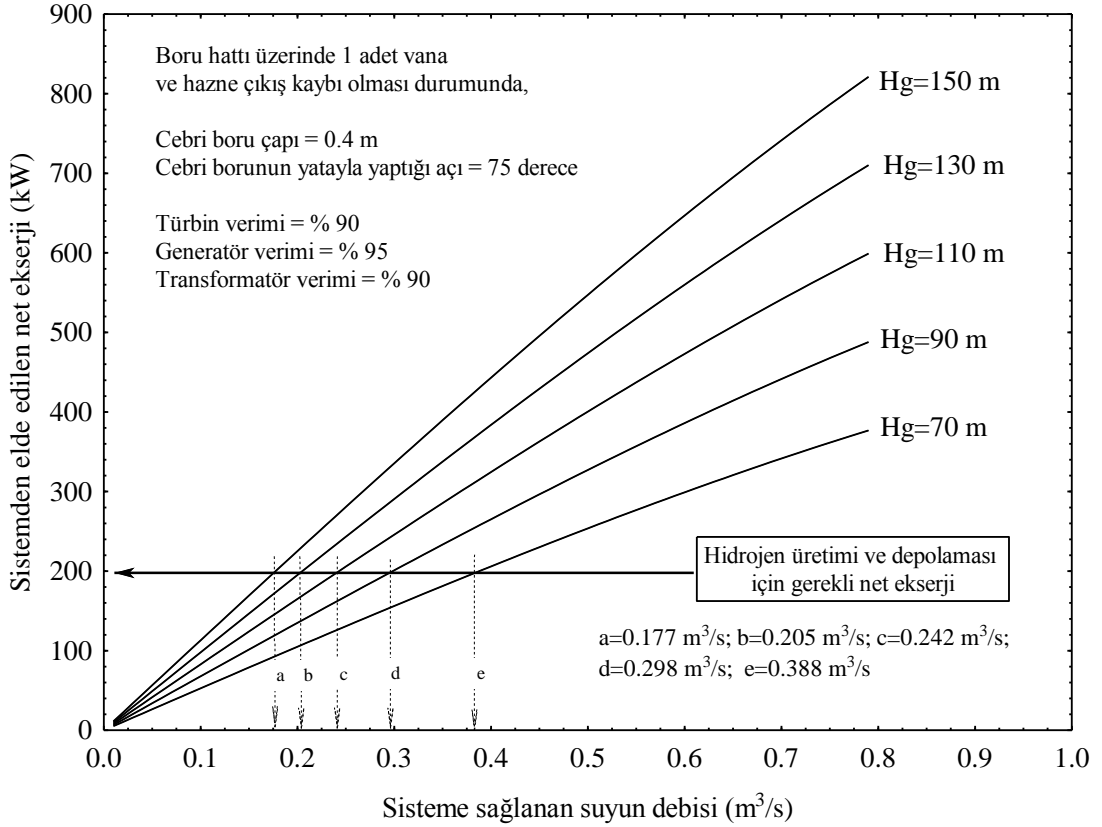
yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması için ihtiyaç duyulan debi değerlerini belirlemeye yarar.



Şekil 3.1 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.2'de cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Burada sistem içerisinde bulunan türbinin verimi % 90, jeneratör verimi % 95 ve transformatörün verimi % 90 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkış kaybı olduğu düşünülmüştür. Genel olarak sistemin geometrik yükseklikleri 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m şeklinde kabul edilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemden elde edilen net ekserjide artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, sisteme sağlanan su debisinin 0.79 m<sup>3</sup>/s olması durumunda Hg=70 m için 376.851 kW güç, Hg=90 m için 487.951 kW güç,

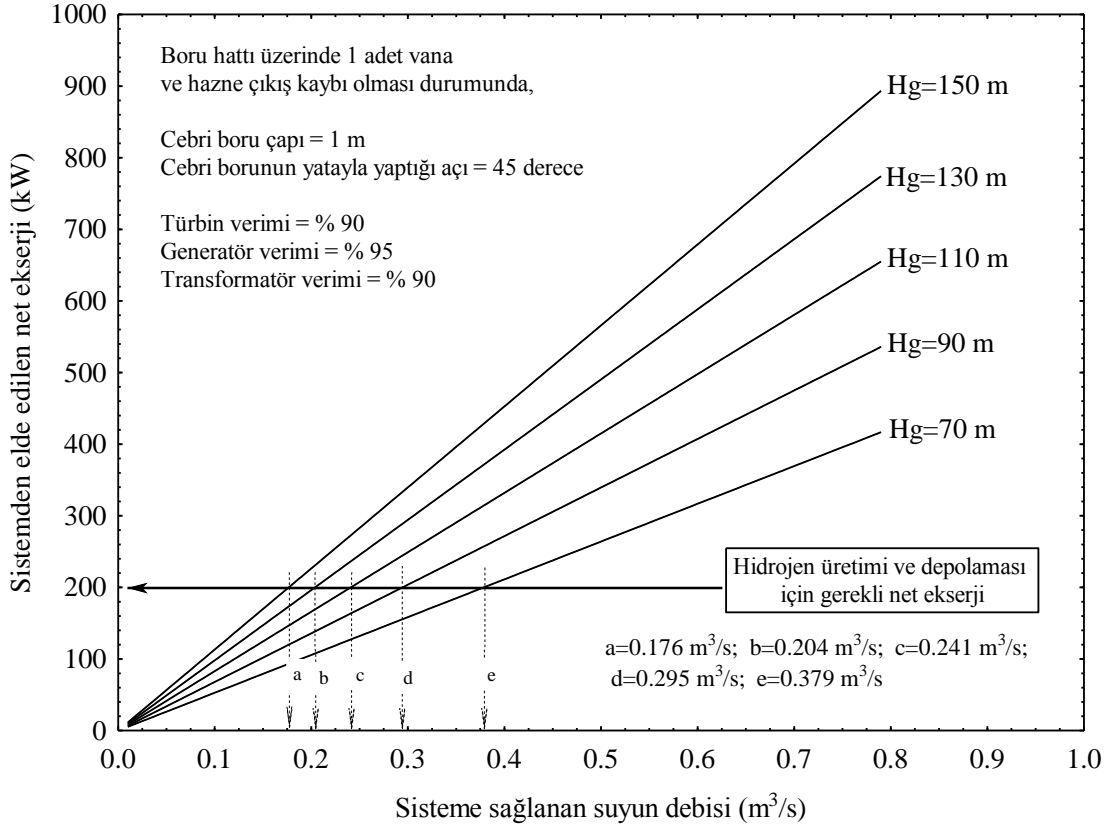
Hg=110 m için 599.053 kW güç, Hg=130 m için 710.153 kW güç, Hg=150 m için 821.254 kW güç üretilebilmektedir. Bu durumda, hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli olan 200 kW'lık güç üretimini gerçekleştirebilmek için Hg=70 m olması durumunda debi değeri  $0.388 \text{ m}^3/\text{s}$ , Hg=90 m olması durumunda debi değeri  $0.298 \text{ m}^3/\text{s}$ , Hg=110 m olması durumunda debi değeri  $0.242 \text{ m}^3/\text{s}$ , Hg=130 m olması durumunda debi değeri  $0.205 \text{ m}^3/\text{s}$  ve Hg=150 m olması durumunda debi değeri  $0.177 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak sağlanmalıdır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması için ihtiyaç duyulan debi değerlerini belirlemeye yarar.



Şekil 3.2 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.3'te cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Burada sistem

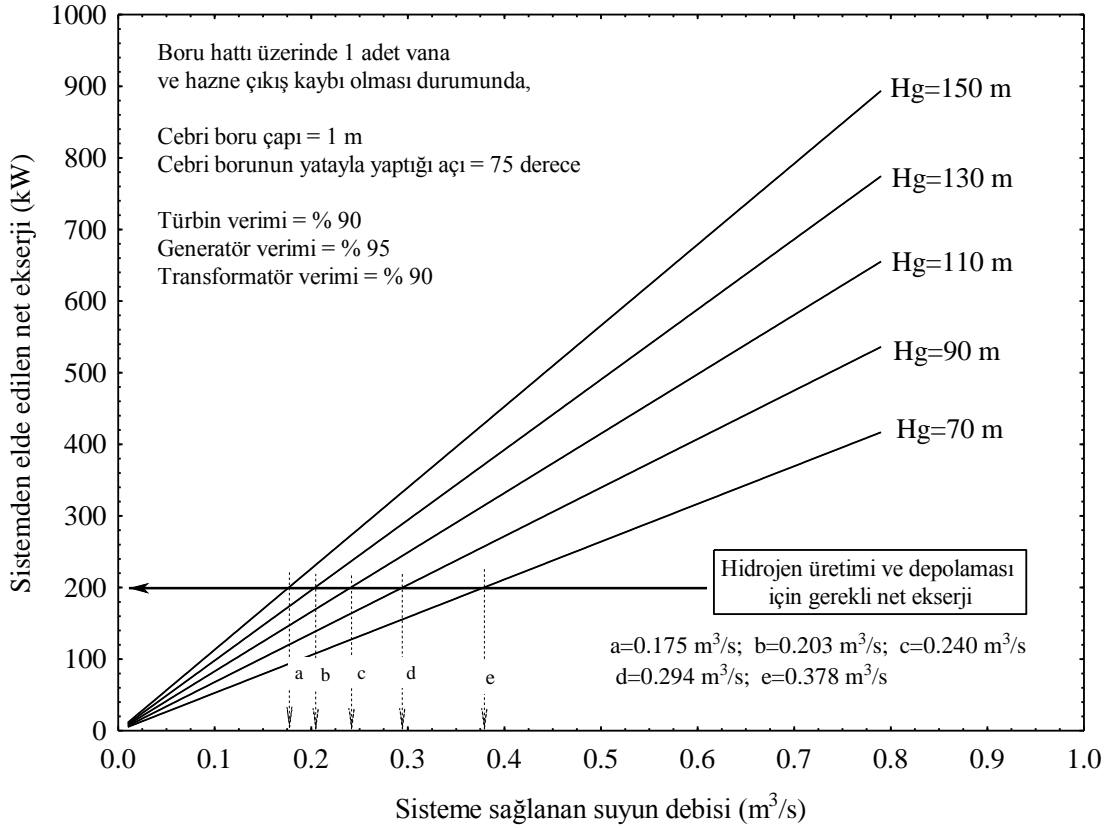
içerisinde bulunan türbinin verimi % 90, jeneratör verimi % 95 ve transformatörün verimi % 90 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışının olduğu düşünülmüştür. Genel olarak sistemin geometrik yükseklikleri 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m şeklinde kabul edilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemden elde edilen net ekserjide artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, sisteme sağlanan su debisinin 0.79 m<sup>3</sup>/s olması durumunda Hg=70 m için 416.751 kW güç, Hg=90 m için 535.911 kW güç, Hg=110 m için 655.070 kW güç, Hg=130 m için 774.230 kW güç, Hg=150 m için 893.389 kW güç üretilebilmektedir. Bu durumda, hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli olan 200 kW'lık güç üretimini gerçekleştirebilmek için Hg=70 m olması durumunda debi değeri 0.379 m<sup>3</sup>/s, Hg=90 m olması durumunda debi değeri 0.295 m<sup>3</sup>/s, Hg=110 m olması durumunda debi değeri 0.241 m<sup>3</sup>/s, Hg=130 m olması durumunda debi değeri 0.204 m<sup>3</sup>/s ve Hg=150 m olması durumunda debi değeri 0.176 m<sup>3</sup>/s olarak sağlanmalıdır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması için ihtiyaç duyulan debi değerlerini belirlemeye yarar.



Şekil 3.3 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.4'te cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Burada sistem içerisinde bulunan türbinin verimi % 90, jeneratör verimi % 95 ve transformatörün verimi % 90 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışının olduğu düşünülmüştür. Genel olarak sistemin geometrik yükseklikleri 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m şeklinde kabul edilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemden elde edilen net ekserjide artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, sisteme sağlanan su debisinin 0.79 m<sup>3</sup>/s olması durumunda Hg=70 m için 416.856 kW güç, Hg=90 m için 536.045 kW güç, Hg=110 m için 655.234 kW güç, Hg=130 m için 774.424 kW güç, Hg=150 m için 893.613 kW güç üretilebilmektedir. Bu durumda, hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli olan 200 kW'lık güç üretimini gerçekleştirebilmek için Hg=70 m olması durumunda debi değeri 0,378 m<sup>3</sup>/s, Hg=90 m olması durumunda debi değeri 0.294 m<sup>3</sup>/s, Hg=110 m olması durumunda debi değeri 0.240 m<sup>3</sup>/s, Hg=130 m olması durumunda

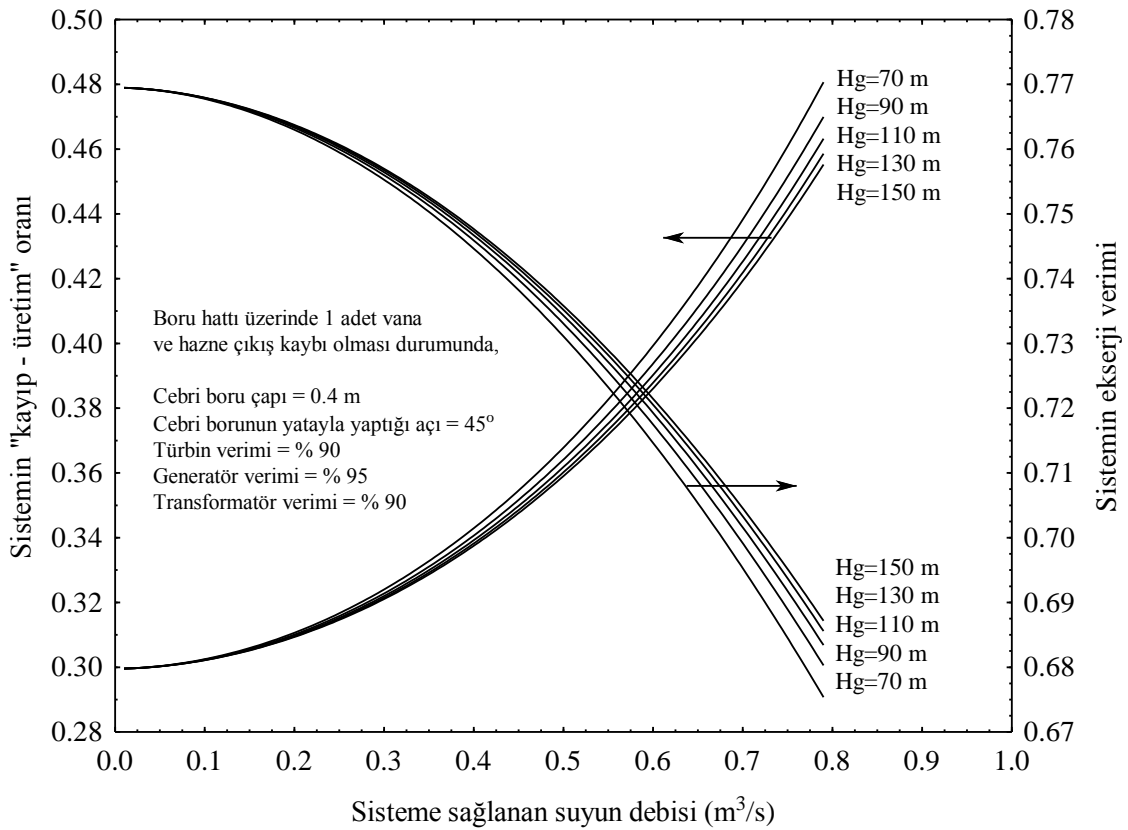
debi değeri  $0.203 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $H_g=150 \text{ m}$  olması durumunda debi değeri  $0.175 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak sağlanmalıdır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının  $1 \text{ m}$ , cebri borunun yatayla yaptığı açının  $75$  derece,  $H_g=70 \text{ m}$ ,  $90 \text{ m}$ ,  $110 \text{ m}$ ,  $130 \text{ m}$  ve  $150 \text{ m}$  olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması için ihtiyaç duyulan debi değerlerini belirlemeye yarar.



Şekil 3.4 Cebri boru çapının  $1 \text{ m}$  ve cebri borunun yatayla yaptığı açının  $75$  derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten elde edilen net ekserjinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.5'te cebri boru çapının  $0.4 \text{ m}$  ve cebri borunun yatayla yaptığı açının  $45$  derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde  $70 \text{ m}$ ,  $90 \text{ m}$ ,  $110 \text{ m}$ ,  $130 \text{ m}$  ve  $150 \text{ m}$ 'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin ekserji verimi ise azalmaktadır. Seçilen

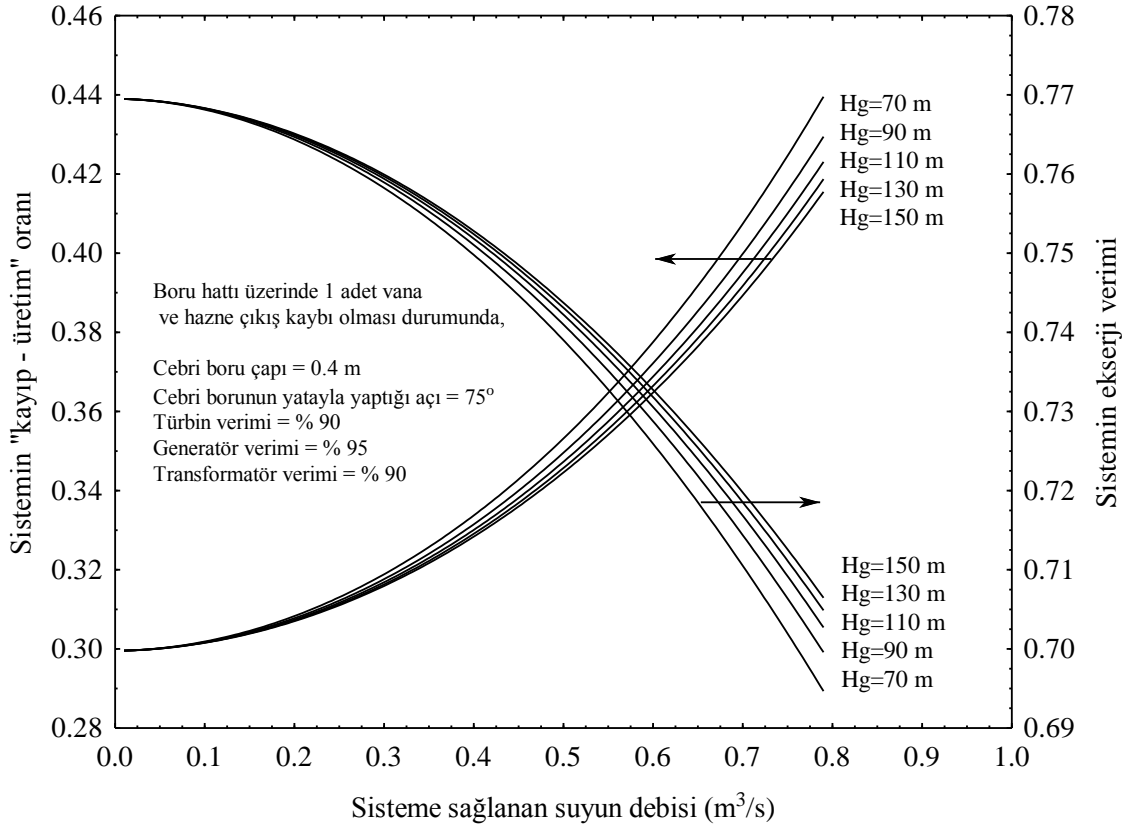
çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi 0.390 m<sup>3</sup>/s iken sistemin ekserji verimi 0.745 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.340) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.299 m<sup>3</sup>/s iken sistemin ekserji verimi 0.757 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.322) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin ekserji verimi sırasıyla, Hg=110 m'de 0.244 m<sup>3</sup>/s debi için 0.761 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.314), Hg=130 m'de 0.206 m<sup>3</sup>/s debi için 0.764 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.309), Hg=150 m'de 0.178 m<sup>3</sup>/s debi için 0.765 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.306) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.5 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi



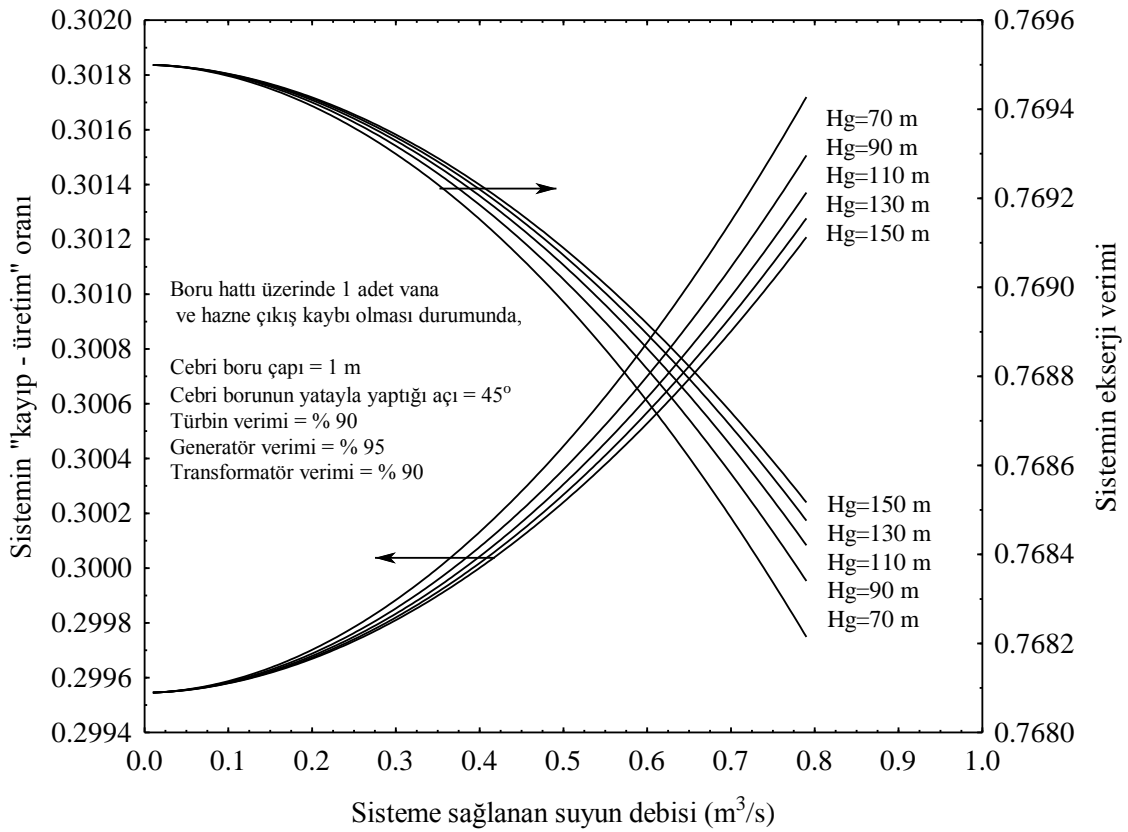
Şekil 3.6’da cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES’ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m’deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin ekserji verimi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m’de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi 0.388 m<sup>3</sup>/s iken sistemin ekserji verimi 0.751 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.331) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m’de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.298 m<sup>3</sup>/s iken sistemin ekserji verimi 0.760 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.3174) olarak belirlenmiştir. Ayrıca 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin ekserji verimi sırasıyla, Hg=110 m’de 0.242 m<sup>3</sup>/s debi için 0.763 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.310), Hg=130 m’de 0.205 m<sup>3</sup>/s debi için 0.765 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.307), Hg=150 m’de 0.177 m<sup>3</sup>/s debi için 0.766 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.305) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.6 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.7'de cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin ekserji verimi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin ekserji verimi 0.7692 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.3031) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.295 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin ekserji verimi 0.7693 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2998) olarak belirlenmiştir. Ayrıca 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin ekserji

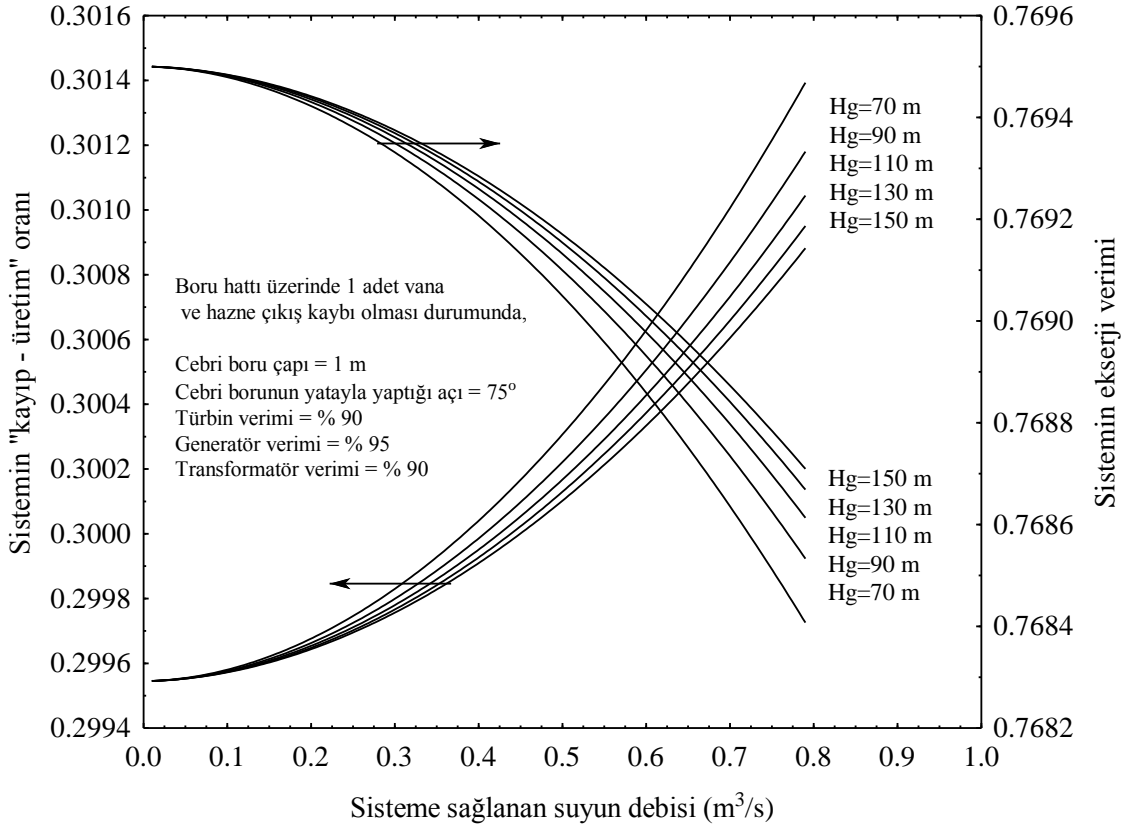
verimi sırasıyla, Hg=110 m’de 0.241 m<sup>3</sup>/s debi için 0.7694 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2997), Hg=130 m’de 0.204 m<sup>3</sup>/s debi için 0.7696 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2996), Hg=150 m’de 0.176 m<sup>3</sup>/s debi için 0.7697 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2994) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.7 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.8’de cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES’ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m’deki geometrik yüksekliklerde, artan debi

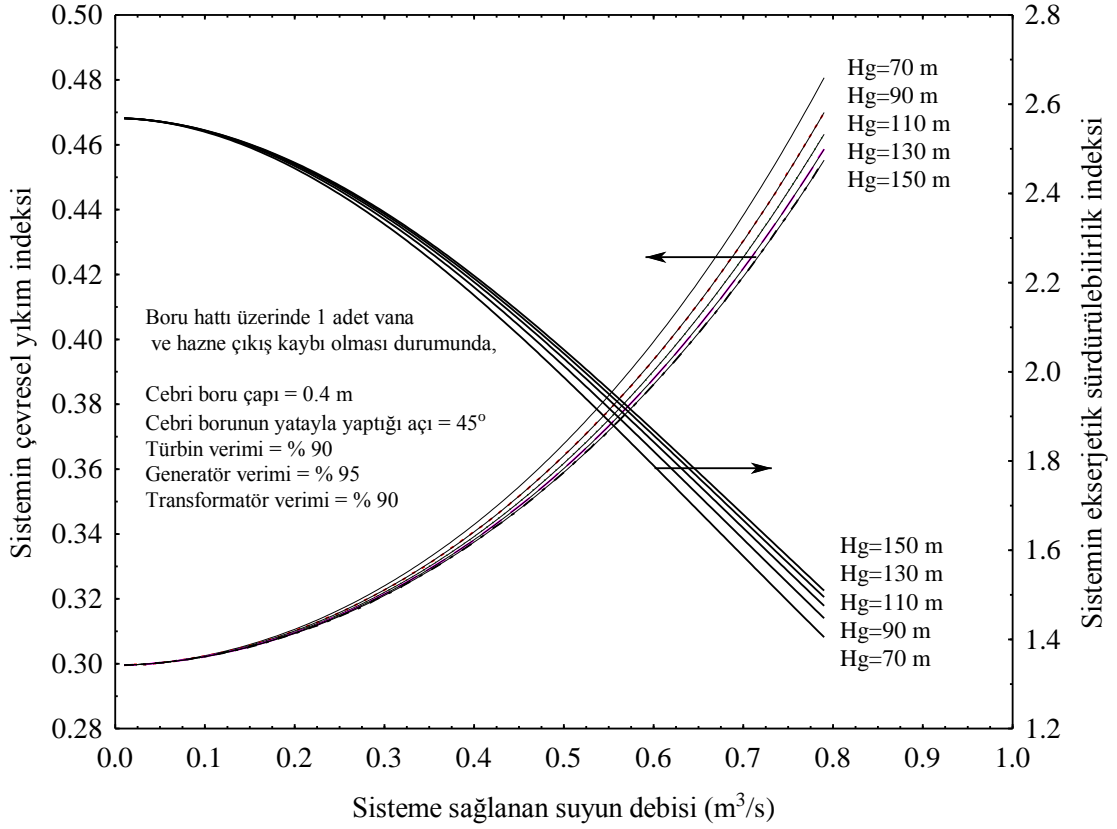
değerlerine göre, sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin ekserji verimi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.378 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin ekserji verimi 0.7693 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2993) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.294 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin ekserji verimi 0.7694 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2997) olarak belirlenmiştir. Ayrıca 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin ekserji verimi sırasıyla, Hg=110 m'de  $0.240 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için 0.7696 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2996), Hg=130 m'de  $0.203 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için 0.7698 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2995), Hg=150 m'de  $0.175 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için 0.7699 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2993) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.8 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten, gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin kayıp-üretim oranının ve sistemin ekserji veriminin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.9'da cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin çevresel yıkım indeksi artmakta, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise azalmaktadır. Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin azalmasının nedeni sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla beraber sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının artmasıdır. Toplam ekserji kayıplarının artmasından dolayı sistemin çevresel yıkım indeksi de artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su

debisi  $0.390 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 3.341, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.187 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.299 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 3.322, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.342 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de  $0.244 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için, çevresel yıkım indeksi 0.314, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.418 olarak belirlemiştir. Hg=130 m'de  $0.206 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.309, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.461 olarak belirlemiştir. Hg=150 m'de  $0.178 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.307, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.488 olarak belirlemiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.

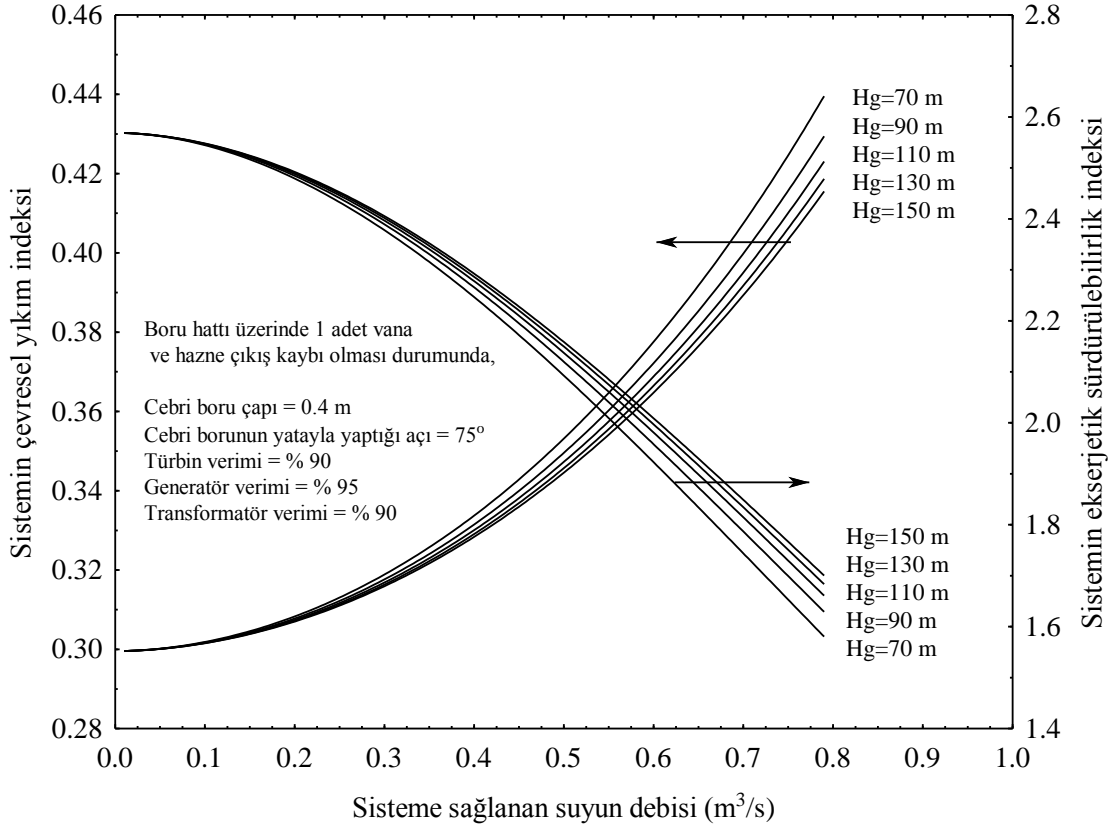


Şekil 3.9 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.10'da cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin çevresel yıkım indeksi artmakta, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi azalmaktadır. Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin azalmasının nedeni sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla beraber sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının artmasıdır. Toplam ekserji kayıplarının artmasından dolayı sistemin çevresel yıkım indeksi de artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.388 \text{ m}^3/\text{s}$

iken sistemin çevresel yıkım indeksi 3.331, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.264 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.298 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 3.317, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.390 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de 0.242 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.311, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.452 olarak belirlemiştir. Hg=130 m'de 0.205 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.307, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.485 olarak belirlemiştir. Hg=150 m'de 0.177 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.305, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.506 olarak belirlemiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.

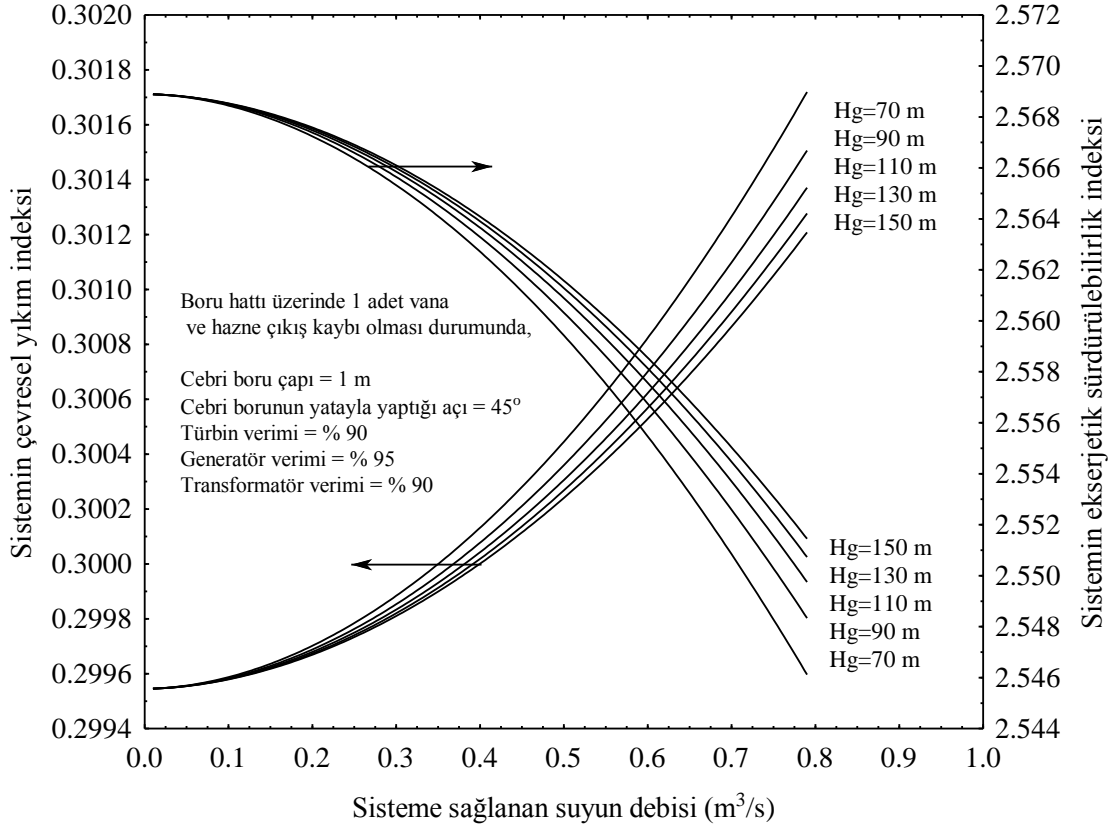




Şekil 3.10 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.11'de cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin çevresel yıkım indeksi artmakta, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi azalmaktadır. Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin azalmasının nedeni sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla beraber sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının artmasıdır. Toplam ekserji kayıplarının artmasından dolayı sistemin çevresel yıkım indeksi de artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$

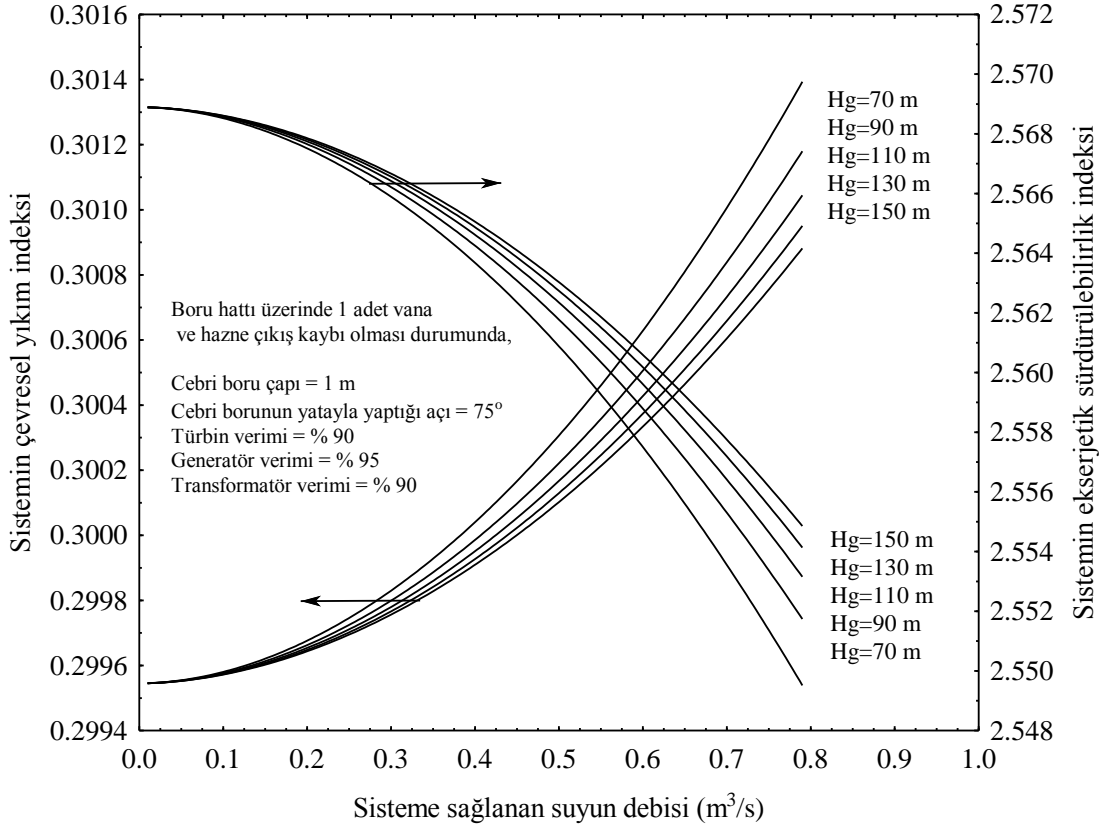
iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.300, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5632 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.295 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5657 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de 0.241 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.2997, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5668 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m'de 0.204 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2995, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5674 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m'de 0.176 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0,2993 ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5678 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.11 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.12'de cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla sistemin çevresel yıkım indeksi artmakta, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi azalmaktadır. Ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin azalmasının nedeni sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla beraber sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının artmasıdır. Toplam ekserji kayıplarının artmasından dolayı sistemin çevresel yıkım indeksi de artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.378 \text{ m}^3/\text{s}$

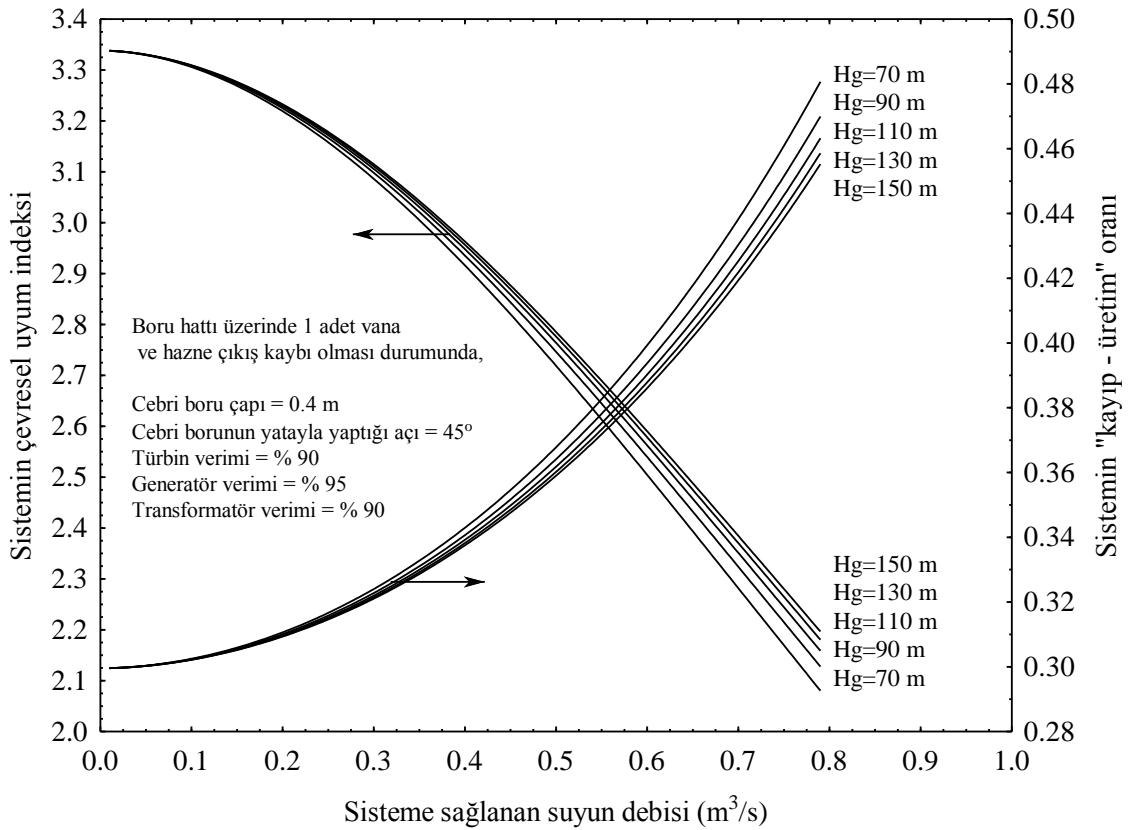
iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5641 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.294 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2997, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5662 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de 0.240 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.2996, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5671 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m'de 0.203 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2994, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5677 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m'de 0.175 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2991, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5680 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg= 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.12 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.13'te cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde, 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla, sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin çevresel uyum indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.390 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel uyum indeksi 2.933 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.340) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.299 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.106 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.322) olarak belirlenmiştir. Ayrıca

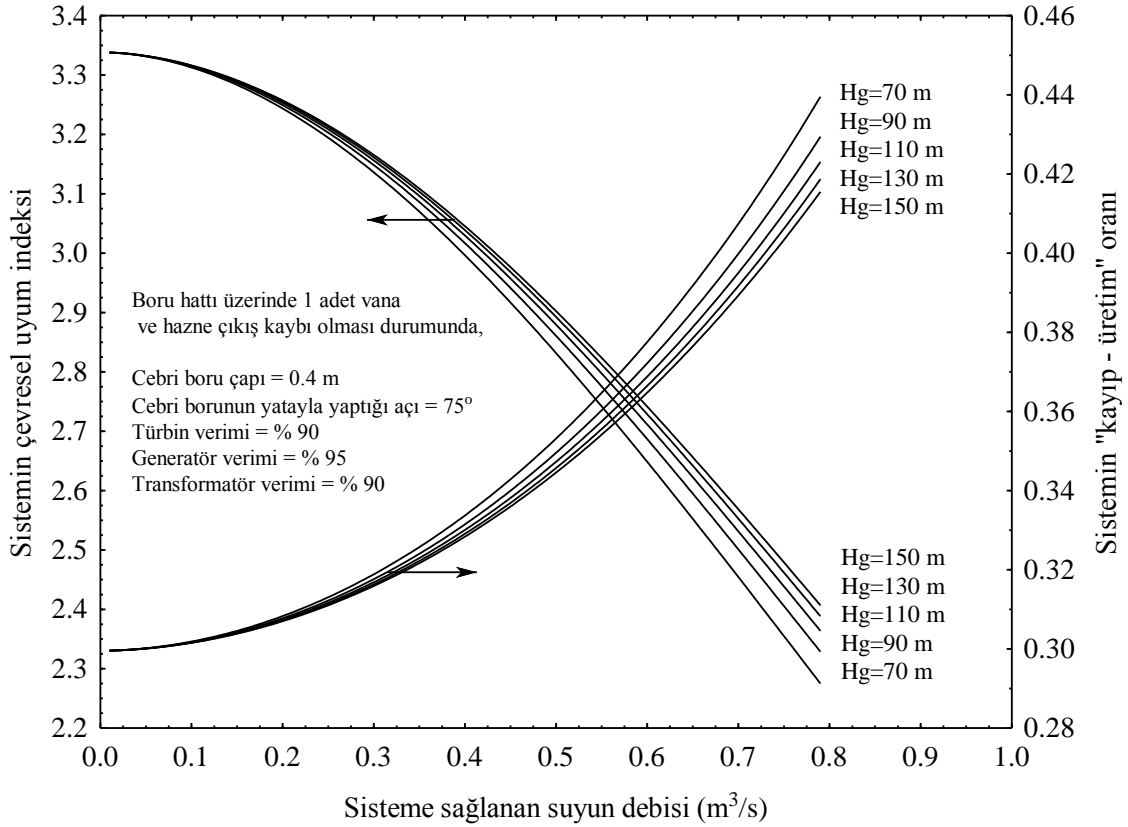
200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel uyum indeksi sırasıyla, Hg=110 m'de 0.244 m<sup>3</sup>/s debi için 3.179 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.314), Hg=130 m'de 0.206 m<sup>3</sup>/s debi için 3.234 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.309), Hg=150 m'de 0.178 m<sup>3</sup>/s debi için 3.253 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.306) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.13 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.14'te cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel

olarak sistemde, 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla, sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin çevresel uyum indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi 0.388 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.014 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.331) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.298 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.1501 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.3174) olarak belirlenmiştir. Ayrıca 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel uyum indeksi sırasıyla, Hg=110 m'de 0.242 m<sup>3</sup>/s debi için 3.215 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.310), Hg=130 m'de 0.205 m<sup>3</sup>/s debi için 3.250 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.307), Hg=150 m'de 0.177 m<sup>3</sup>/s debi için 3.272 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.305) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin belirlenmesine yarar.

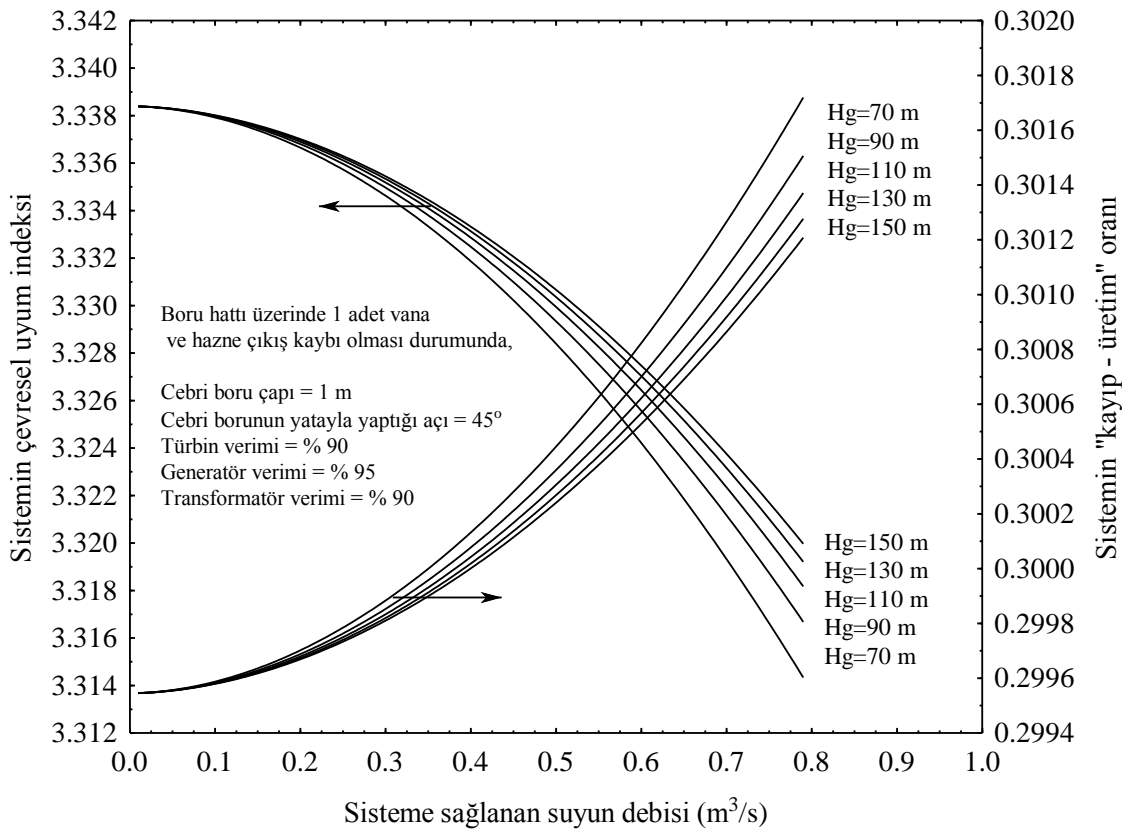


Şekil 3.14 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.15'te cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde, 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla, sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin çevresel uyum indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.3324 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.3001) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.295 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.335 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2998) olarak belirlenmiştir.



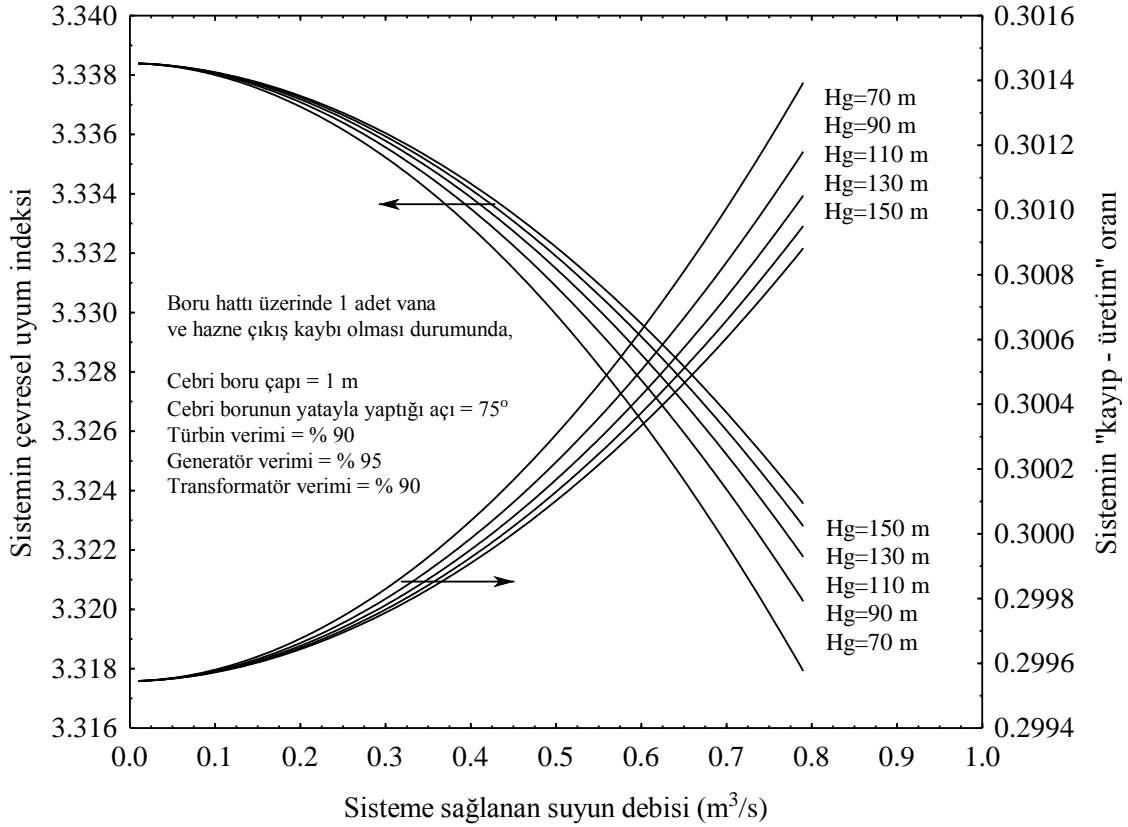
Ayrıca 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel uyum indeksi sırasıyla, Hg=110 m'de 0.241 m<sup>3</sup>/s debi için 3.3361 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2997), Hg=130 m'de 0.204 m<sup>3</sup>/s debi için 3.3368 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2996), Hg=150 m'de 0.176 m<sup>3</sup>/s debi için 3.3372 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2994) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.15 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

Şekil 3.16'da cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının, sisteme sağlanan su debisine göre değişimi sunulmuştur. Genel

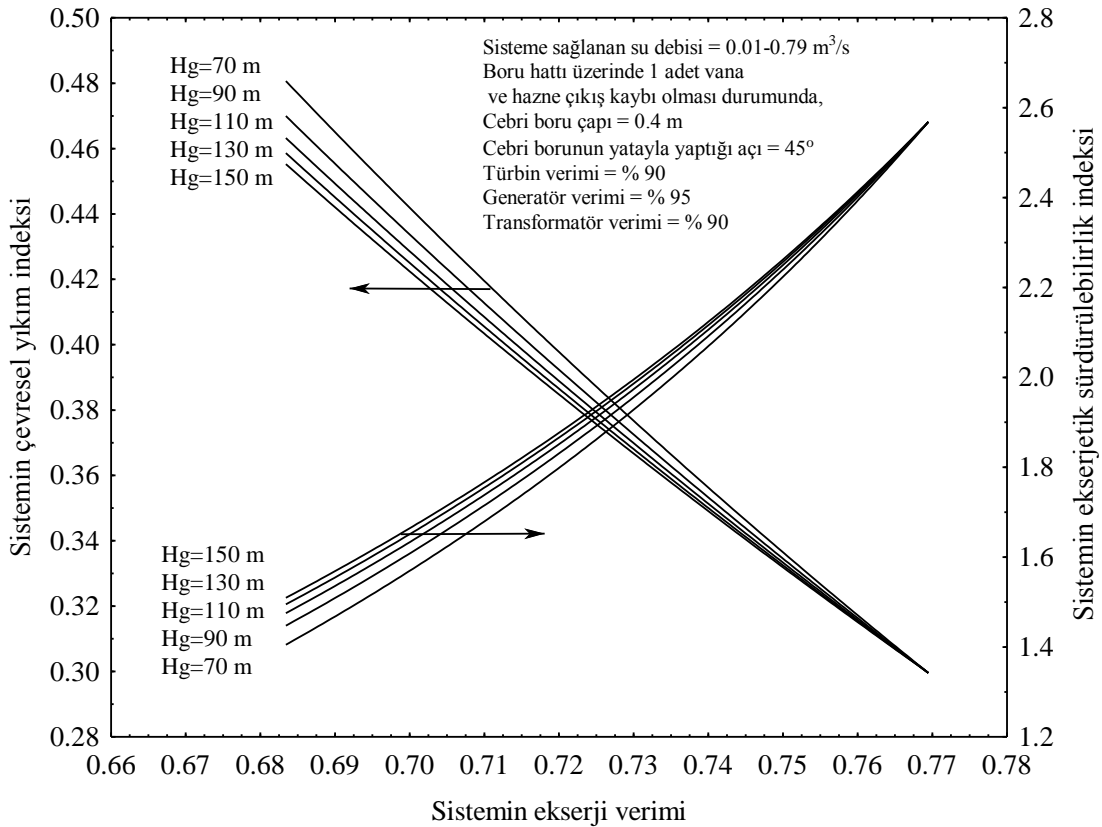
olarak sistemde, 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemde meydana gelen toplam ekserji kayıplarının değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sisteme sağlanan suyun debisinin artmasıyla, sistemin kayıp-üretim oranı artmakta, sistemin çevresel uyum indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.378 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.3334 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2998) olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.294 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel uyum indeksi 3.3355 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2997) olarak belirlenmiştir. Ayrıca 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel uyum indeksi sırasıyla, Hg=110 m'de  $0.240 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için 3.3365 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2996), Hg=130 m'de  $0.203 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için 3.3371 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2995), Hg=150 m'de  $0.175 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için 3.3374 (sistemin kayıp-üretim oranı 0.2993) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, artan debi değerlerine göre sistemin çevresel uyum indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.16 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel uyum indeksinin ve sistemin kayıp-üretim oranının sisteme sağlanan suyun debisine göre değişimi

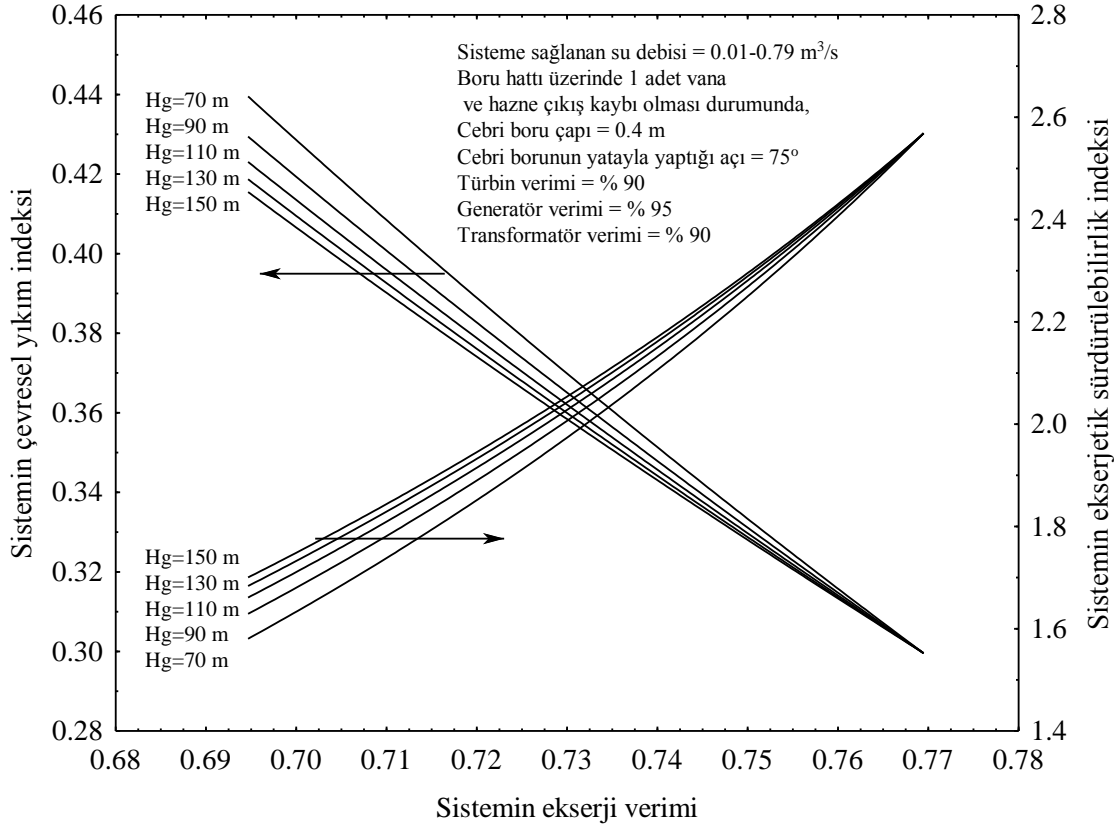
Şekil 3.17'de cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin ekserji verimine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, sistemin ekserji veriminin değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sistemin ekserji verimi arttıkça, çevresel yıkım indeksi azalmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.390 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 3.341, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.187 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.299 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.322, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.342 olarak

belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m’de 0.244 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.314 ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.418 olarak belirlemiştir. Hg=130 m’de 0.206 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.309, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.461 olarak belirlemiştir. Hg=150 m’de 0.178 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.307, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.488 olarak belirlemiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin değişen ekserji verim değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.17 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin ekserji verimine göre değişimi

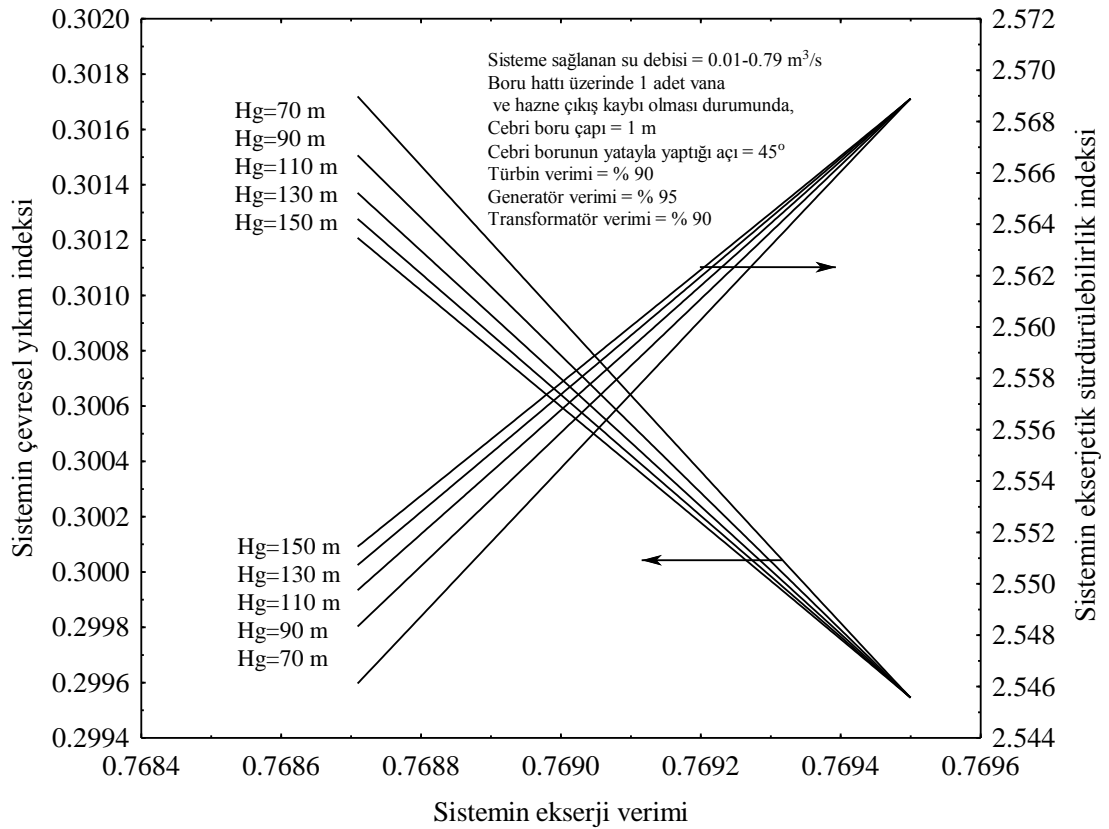
Şekil 3.18’de cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES’ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin ekserji verimine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m’deki geometrik yüksekliklerde, sistemin ekserji veriminin değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sistemin ekserji verimi arttıkça, çevresel yıkım indeksi azalmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m’de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.388 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.331, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.264 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m’de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.298 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.317, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.390 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m’de  $0.242 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için, çevresel yıkım indeksi 0.311, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.452 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m’de  $0.205 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.317, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.485 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m’de  $0.177 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.305, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.506 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin değişen ekserji verim değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.18 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin ekserji verimine göre değişimi

Şekil 3.19'da cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin ekserji verimine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, sistemin ekserji veriminin değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sistemin ekserji verimi arttıkça, çevresel yıkım indeksi azalmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.300, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5632 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.295 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

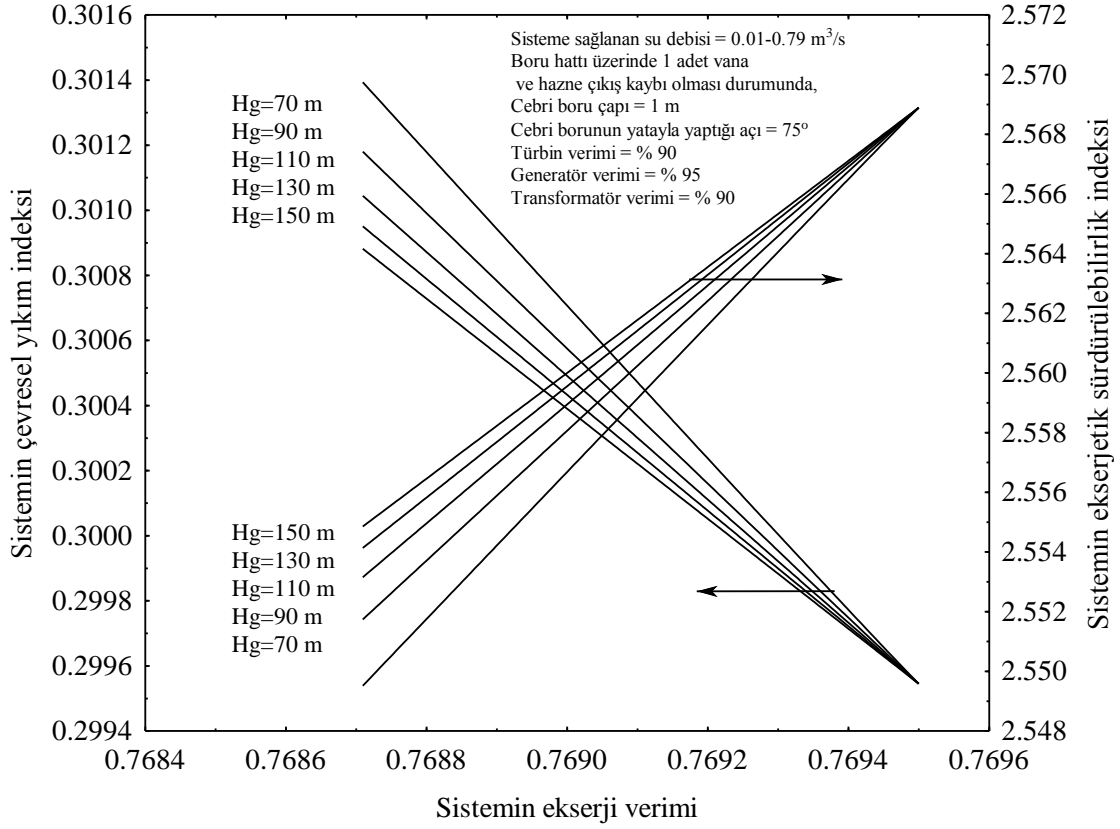
2.5657 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de 0.241 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.2997, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5668 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m'de 0.204 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2995, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5674 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m'de 0.176 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2993, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5678 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin değişen ekserji verim değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.19 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin ekserji verimine göre değişimi

Şekil 3.20’de cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES’ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin ekserji verimine göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m’deki geometrik yüksekliklerde, sistemin ekserji veriminin değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere sistemin ekserji verimi arttıkça, çevresel yıkım indeksi azalmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise artmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m’de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi 0.378 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5641 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m’de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.294 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2997, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5662 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m’de 0.240 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.2996, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5671 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m’de 0.203 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2994, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5677 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m’de 0.175 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2991, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5680 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin değişen ekserji verim değerlerine göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.

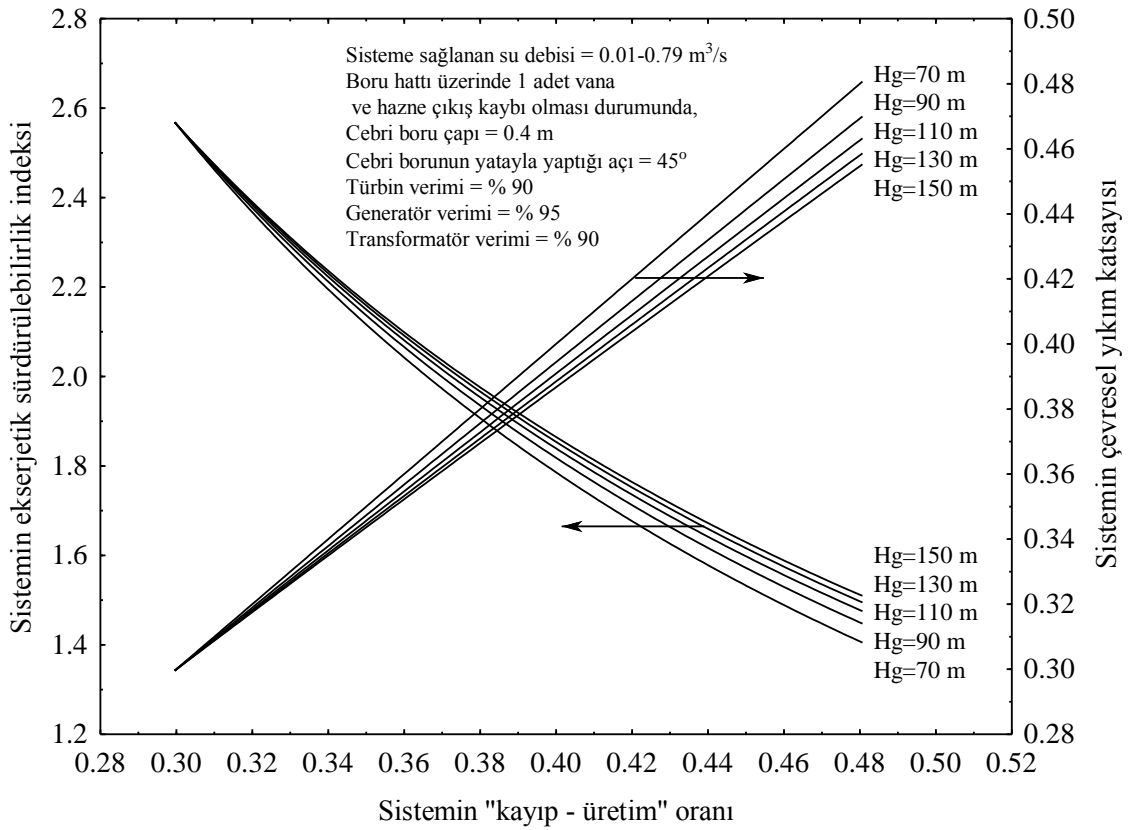




Şekil 3.20 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin maksimum ekserji verimine göre değişimi

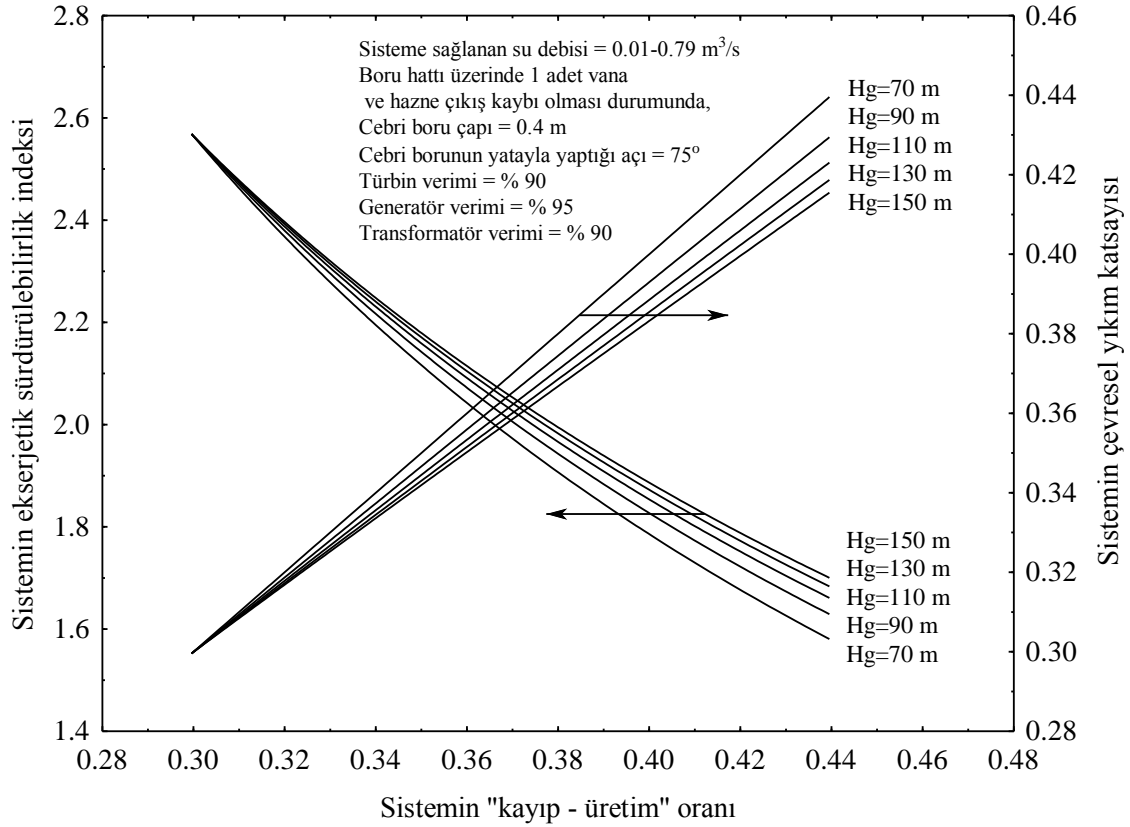
Şekil 3.21'de cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere; sistemin kayıp-üretim oranı arttıkça, çevresel yıkım indeksi artmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi 0.390 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.341, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.187 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi 0.299 m<sup>3</sup>/s iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.322, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

2.342 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg= 110 m’de 0.244 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.314, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.418 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m’de 0.206 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.309, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.461 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m’de 0.178 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.307, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.488 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.21 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi

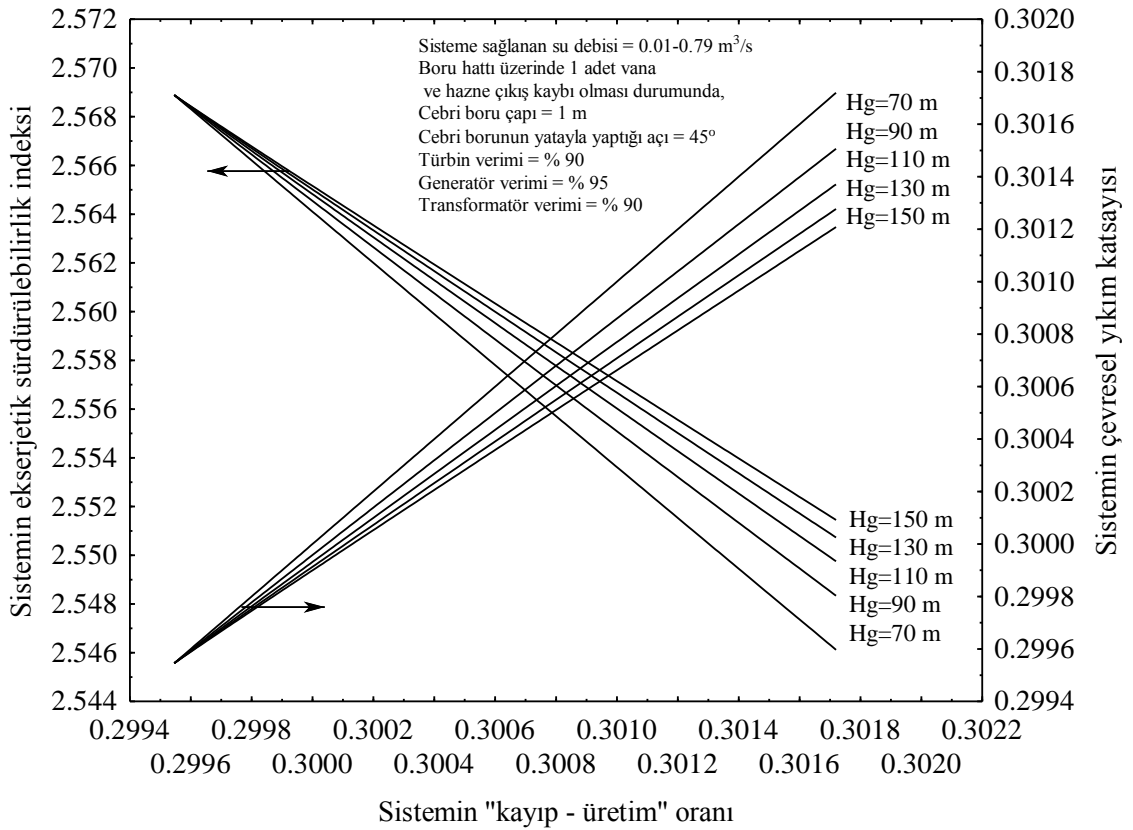
Şekil 3.22’de cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES’ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m’deki geometrik yüksekliklerde, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere; sistemin kayıp-üretim oranı arttıkça, çevresel yıkım indeksi artmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m’de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.388 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.331, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.264 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m’de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.299 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.317, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.390 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m’de  $0.242 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için, çevresel yıkım indeksi 0.311, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.452 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m’de  $0.205 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.307, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.485 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m’de  $0.177 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.305, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.506 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.22 Cebri boru çapının 0.4 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi

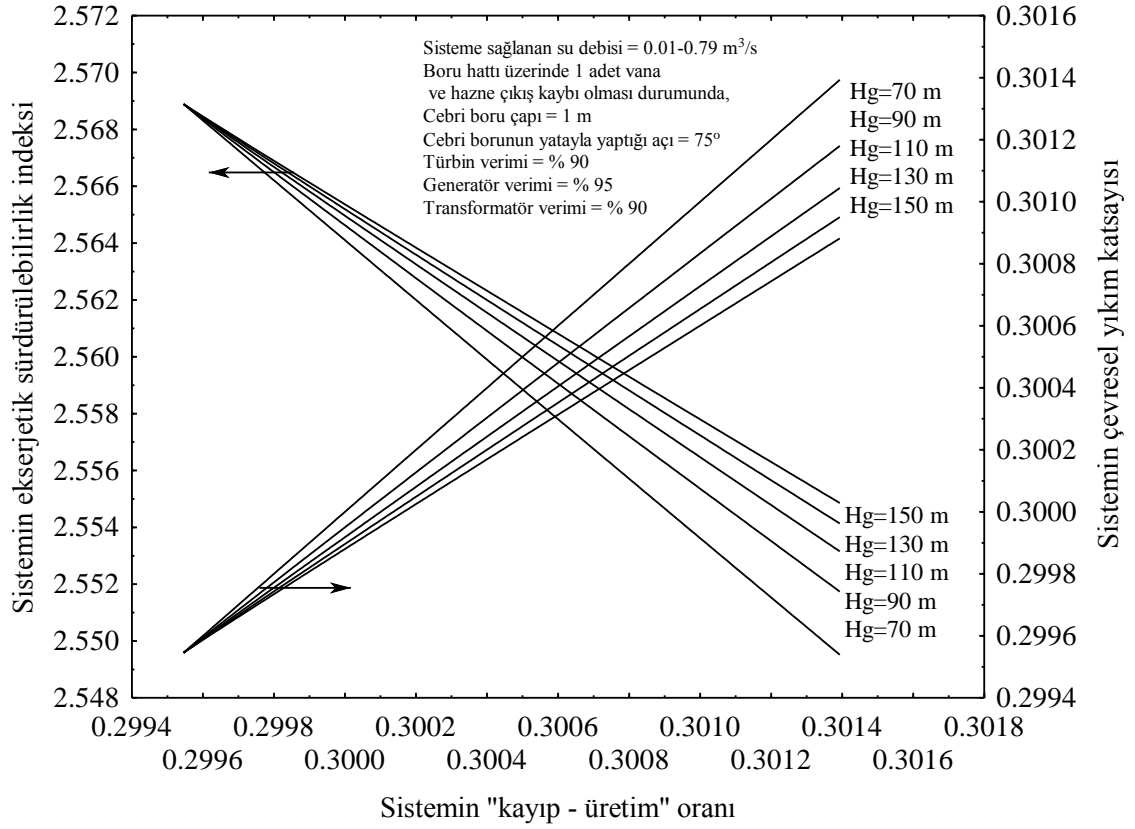
Şekil 3.23'te cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere; sistemin kayıp-üretim oranı arttıkça, çevresel yıkım indeksi artmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.300, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5632 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.295 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi

2.5657 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de 0.241 m<sup>3</sup>/s debi için, çevresel yıkım indeksi 0.2997, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5668 olarak belirlenmiştir. Hg=130 m'de 0.204 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2995, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5674 olarak belirlenmiştir. Hg=150 m'de 0.176 m<sup>3</sup>/s debi için çevresel yıkım indeksi 0.2993, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5678 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.23 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi

Şekil 3.24'te cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretimi ve depolaması için HES'ten gerekli olan net ekserjinin elde edilmesi sırasında, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin, sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi sunulmuştur. Genel olarak sistemde 70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m'deki geometrik yüksekliklerde, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin değişimi incelenmiştir. Şekilden görüldüğü üzere; sistemin kayıp-üretim oranı arttıkça, çevresel yıkım indeksi artmakta, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi ise azalmaktadır. Seçilen çalışma koşullarına bağlı olarak, Hg=70 m'de hidrojen üretimi ve depolaması için gerekli 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan su debisi  $0.378 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5641 olarak hesaplanmıştır. Hg=90 m'de 200 kW net ekserjinin elde edilmesi için gerekli debi  $0.294 \text{ m}^3/\text{s}$  iken sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2997, sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5662 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemin çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi sırasıyla şu şekilde belirlenmiştir; Hg=110 m'de  $0.240 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için, çevresel yıkım indeksi 0.2996, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5671 olarak belirlemiştir. Hg=130 m'de  $0.203 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.2994, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5677 olarak belirlemiştir. Hg=150 m'de  $0.175 \text{ m}^3/\text{s}$  debi için çevresel yıkım indeksi 0.2991, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5680 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bu grafik, boru hattı üzerinde 1 adet vana ve hazne çıkışı olması, cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece, Hg=70 m, 90 m, 110 m, 130 m ve 150 m olması durumunda, hidrojen istasyonu için gerekli net ekserji ihtiyacının sağlanması sırasında, sistemin kayıp-üretim oranına göre, sistemin çevresel yıkım indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin belirlenmesine yarar.



Şekil 3.24 Cebri boru çapının 1 m ve cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece olması durumunda, hidrojen üretim ve depolaması için HES'ten gerekli ekserjinin elde edilmesi sırasında çevresel yıkım indeksi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi parametrelerinin sistemin kayıp-üretim oranına göre değişimi

## BÖLÜM IV

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, saatte 3 kg hidrojen üretimi ve depolaması yapan bir hidrojen istasyonu için gerekli olan 200 kW'lık net ekserji değerini karşılayabilecek olan mini bir HES'in ekserji ve ekserjetik sürdürülebilirlik analizleri parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, 200 kW net ekserjinin elde edilmesi sırasında sistemden elde edilen temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 70 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi  $0.390 \text{ m}^3/\text{s}$ , sistemdeki toplam ekserji kaybı 68.178 kW, sistemin ekserji verimi 0.745, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.341 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.187 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 70 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi  $0.388 \text{ m}^3/\text{s}$ , sistemdeki toplam ekserji kaybı 66.337 kW, sistemin ekserji verimi 0.751, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.331 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.264 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 70 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi  $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$ , sistemdeki toplam ekserji kaybı 60.014 kW, sistemin ekserji verimi 0.7692, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.300 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5632 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 70 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi  $0.378 \text{ m}^3/\text{s}$ , sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.997 kW, sistemin ekserji verimi 0.7693, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5641 olarak hesaplanmıştır.



Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 90 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.299 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 64.544 kW, sistemin ekserji verimi 0.757, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.322 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.342 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 90 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.298 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 63.489 kW, sistemin ekserji verimi 0.760, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.317 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.390 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 90 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.295 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.968 kW, sistemin ekserji verimi 0.7693, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2998 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5657 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 90 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.294 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.958 kW, sistemin ekserji verimi 0.7694, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2997 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5662 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 110 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.244 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 62.902 kW, sistemin ekserji verimi 0.761, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.314 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.418 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 110 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.242 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 64.204 kW, sistemin ekserji verimi 0.763, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.311 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.452 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 110 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.241 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.947 kW, sistemin ekserji verimi 0.7694, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2997 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5668 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 110 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.240 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.931 kW, sistemin ekserji verimi 0.7696, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2996 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5671 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 130 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.206 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 62.012 kW, sistemin ekserji verimi 0.764, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.309 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.461 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 130 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.205 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 61.513 kW, sistemin ekserji verimi 0.765, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.307 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.485 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 130 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.204 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.935 kW, sistemin ekserji verimi 0.7696, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2995 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5674 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 130 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.203 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.930 kW, sistemin ekserji verimi 0.7698, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2994 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5677 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 150 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.178 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 61.472 kW, sistemin ekserji verimi 0.765, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.307 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.488 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 0.4 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik yüksekliğin 150 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.177 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 61.096 kW, sistemin ekserji verimi 0.766, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.305 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.506 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 45 derece ve geometrik yüksekliğin 150 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.176 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.929 kW, sistemin ekserji verimi 0.7697, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2993 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5678 olarak hesaplanmıştır.

Cebri boru çapının 1 m, cebri borunun yatayla yaptığı açının 75 derece ve geometrik ykseklėđin 150 m olması durumunda; sisteme sağlanan suyun debisi 0.175 m<sup>3</sup>/s, sistemdeki toplam ekserji kaybı 59.924 kW, sistemin ekserji verimi 0.7699, sistemin çevresel yıkım indeksi 0.2991 ve sistemin ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi 2.5680 olarak hesaplanmıştır.

Hidrolik enerji destekli hidrojen gaz yakıt istasyonunun tasarlanması ve deneysel olarak kurulması için; sistemde meydana gelen ekserji kayıplarının en düşük, sistemin ekserji veriminin en yüksek, sistemin çevresel yıkım indeksinin en düşük, sistemin çevresel uyum indeksinin ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin en yüksek olduğu değerlerin dikkate alınması önerilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Midilli, A., Dincer, I. and Ay, M., Sustainable Energy Strategies for Green Energy Supply, Proceedings of the International Green Energy Conference, Waterloo, Ontario, Canada, 12-16, June, 2005.
- [2] Midilli, A., Dincer, I. and Rosen, M. A., On Hydrogen Energy Strategies, Proceedings of Hydrogen and Fuel Cells Conference and Trade Show, Toronto, Canada. <http://www.hydrogenfuelcells2004.com/>. 25-28, September, 2004.
- [3] Midilli, A., Dincer, I. and Rosen, M. A., On Hydrogen Energy Strategies and Global Stability and Unrest, Proceedings of Hydrogen and Fuel Cells Conference and Trade Show, Toronto, Canada, <http://www.hydrogenfuelcells2004.com/>. 25-28, September, 2004.
- [4] Midilli, A., Ay, M. and Dinçer, İ., Hidrojenin Dünya Barışına Katkısının Parametrik Değerlendirilmesi, V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, Cilt 2: 681-691, 26-28, Mayıs, 2004.
- [5] Midilli, A., Ay, M., Dincer, I. and Rosen, M. A., On Hydrogen and Hydrogen Energy Strategies I: Current Status and Needs, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9, 255-271, 2005.
- [6] Midilli, A., Ay, M., Dincer, I. and Rosen, M. A., On Hydrogen and Hydrogen Energy Strategies II: Future Projections Affecting Global Stability and Unrest, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9, 273-287, 2005.
- [7] Midilli, A., Ay, M., Dincer, I. and Rosen, M. A., On Hydrogen Energy Strategy: The Key Role In This Century and Beyond, Proceeding of The First Cappadocia Mechanical Engineering Symposium, Cappadocia, Turkey, 14-16, July, 2004.
- [8] Herzog, A. V., Lipman, T.E, Kammen, D. M., Renewable energy sources, <http://www.eolss.com>. 2004.
- [9] Laguna, M., ESHA – European Small Hydropower Association, Renewable Energy House, B - 1000 Bruxelles, Belgium, 5th, May, 2005.
- [10] Bockman, T., Fleten, S.E., Juliussen, E., Langhammer, H.J. and Revdal, I., Investment timing and optimal capacity choice for small hydropower projects, European Journal of Operational Research, 190, 255–267, 2008.
- [11] Xiaocheng, F., Tao, T., Wanxiang, J., Fengqing, L., Naicheng, W., Shuchan, Z. and Qinghua, C., Impacts of small hydropower plants on macroinvertebrate communities, Cite this article as: Acta Ecologica Sinica., 28(1), 45–52, 2008.
- [12] Gürbüz, A., “Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyelinin İrdelenmesi”, Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli Sorunları ve Çözüm Tartışmaları Sempozyumu, HESİAD DSİ, Ankara, 23, Mayıs, 2002.
- [13] Başeşme, H., Hidroelektrik Santraller ve Hidroelektrik Santral Tesisleri (Geliştirilmiş ve Genişletilmiş İkinci Baskı), EÜAŞ Genel Müdürlüğü Hidrolik Santraller Dairesi Başkanlığı Yayınları, Aralık, 2003.

- [14] Hidro Elektrik Santrali, [http://www.yonenerji.com/dosyalar/hidro\\_elektrik.pdf](http://www.yonenerji.com/dosyalar/hidro_elektrik.pdf), 2005.
- [15] Paish, O., Small hydro power: technology and current status, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 537–556, 2002.
- [16] Somaraki, M., A thesis submitted for the degree of Master in Science, In “Energy Systems and the Environment”, A Feasibility Study of a Combined Wind - Hydro Power Station in Greece, University of Strathclyde, Department of Mechanical Engineering, Glasgow, October, 2003.
- [17] Berkün, M., Su Kaynakları Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [18] Makine Mühendisleri Odası, IV. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, MMO, Yayın no: E/2007/452, Kasım Kayseri, 291-292, 23-24, 2007.
- [19] Yüksel, İ., Hydropower in Turkey for a clean and sustainable energy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 1622–1640, 2008.
- [20] Kaygusuz, K., Sustainable development of hydropower and biomass energy in Turkey, *Energy Conversion and Management*, 43, 1099–1120, 2002.
- [21] Balat, H., A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey: The case of small hydropower plants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 2152–2165, 2007.
- [22] Mwendera, E.J., Available water for hydropower generation in Swaziland, *Physics and Chemistry of the Earth*, 31, 952–959, 2006.
- [23] Gonzalez, E.A., Tio, J. and Caluyo, F.S., Conceptual Design of a Rule-Base for a Micro-Hydro Power Plant Feedback Control Sistem, De La Salle University – Manila, ECE Technical Report, September, 1, 2004.
- [24] Wegerich, K., Olsson O. and Froebrich J., Reliving the past in a changed environment: Hydropower ambitions, opportunities and constraints in Tajikistan, *Energy Policy*, 35, 3815–3825, 2007.
- [25] Balciunas P. and Zdankus N., Harmonization of hydropower plant with the environment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1260-1274, 2007.
- [26] Singal, S.K. and Saini, R.P., Analytical approach for development of correlations for cost of canal-based SHP schemes, *Renewable Energy*, 19, February, 2008.
- [27] Mahmoud M. Dutton K. and Denman M., Dynamical modelling and simulation of a cascaded reservoirs hydropower plant, *Electric Power Systems Research*, 70, 129–139, 2004.
- [28] Ozturk M. Bezir N.C. and Ozek N., Hydropower–water and renewable energy in Turkey: Sources and policy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 605–615, 2009.
- [29] Ansel, A. and Robyns, B., Modelling and simulation of an autonomous variable speed micro hydropower station, *Mathematics and Computers in Simulation*, 71, 320–332, 2006.

- [30] Kahraman G., Yucel H.L. and Oztop H.F., Evaluation of energy efficiency using thermodynamics analysis in a hydropower plant: A case study, *Renewable Energy*, 34, 1458-1465, 2009.
- [31] Yüksek Ö., Reevaluation of Turkey's hydropower potential and electric energy demand, *Energy Policy*, 36, 3374-3382, 2008.
- [32] Yumurtaci, Z. And Bilgen, E., Hydrogen production from excess power in small hydroelectric installations, *International Journal of Hydrogen Energy*, 29, 687-693, 2004.
- [33] Perers R. Lundin U. and Leijon M., Development of synchronous generators for Swedish hydropower: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1008-1017, 2007.
- [34] Kishor, N., Sainia, R.P. and Singh, S.P., A review on hydropower plant models and control, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 776-796, 2007.
- [35] Huang H. and Yan Z., Present situation and future prospect of hydropower in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1652-1656, 2009.
- [36] Mirza U.K. Ahmad N. Majeed T. and Harijan K., Hydropower use in Pakistan: Past, present and future, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 1641-1651, 2008.
- [37] Bartle, A., Hydropower potential and development activities, *Energy Policy*, 30, 1231-1239, 2002.
- [38] Dudhani S. Sinha A.K. and Inamdar S.S., Assessment of small hydropower potential using remote sensing data for sustainable development in India, *Energy Policy*, 34, 3195-3205, 2006.
- [39] Hanmandlu, M. and Goyal, H., Proposing a new advanced control technique for micro hydro power plants, *Electrical Power and Energy Systems*, 2007.
- [40] Dincer, İ., The role of exergy in energy policy making, *Energy Policy*, 30, 137-149, 2002.
- [41] Midilli A., Dincer I., Key Strategies of Hydrogen Energy Systems for Sustainability, *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 511-524, 2007.
- [42] Özgür, C., Pratik Hidrolik Problemleri, Teknik Kitaplar Yayınevi Altıncı Baskı, İstanbul, Ocak, 1957.
- [43] White, F.M., Akışkanlar Mekaniği 4. Baskının Türkçesi, Literatür yayınları: 110, Literatür yayıncılık, 2004.
- [44] Featherstone R.E. and Nalluri C., *Civil Engineering Hydraulics*, 3rd Edition, Blackwell Science Ltd., Oxford, 399, 1995.
- [45] Anagnostopoulos, J.S. and Papantonis, D.E., Optimal sizing of a run-of-river small hydropower plant, *Energy Conversion and Management*, 48, 2663-2670, 2007.
- [46] Çengel, Y. ve Boles, M.A. , *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, İzmir Güven Kitabevi, Beşinci Baskı, 2008.

[47] Midilli, A. and Dincer, İ., Development of some exergetic parameters for PEM fuel cells for measuring environmental impact and sustainability, international journal of hydrogen energy, 34, 3858 – 3872, 2009.