

İLERİ ENERJİ SİSTEMLERİ ve ÇEVRE



Sadık KAKAÇ
Nilay SEZER UZOL



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

İleri Enerji Sistemleri ve Çevre / Advanced Energy Systems and Environment

© Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, 2022 / © Turkish Academy of Sciences Publication, 2022

Bilim ve Düşün Serisi No: 38 / Science and Thought Series No: 38

ISBN: 978-625-8352-03-0

DOI: 10.53478/TUBA.978-625-8352-03-0

Bu kitapta yer alan tüm yazıların dil, bilim, etik ve hukuk açısından bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir. Editörün ve Türkiye Bilimler Akademisi'nin sorumluluğu bulunmamaktadır.

The scientific responsibility for the language, scientific, ethical and legal aspects of all the articles included in the book belongs to the authors. Turkish Academy of Sciences and the editor have no responsibility.

Türkiye Bilimler Akademisi / Turkish Academy of Sciences
Vedat Dalokay Cad. No: 112 06670 Çankaya - Ankara
Tel: +90 312 442 29 03 • www.tuba.gov.tr

Yazarlar/Authors
Prof. Dr. Sadık KAKAÇ
Doç. Dr. Nilay SEZER UZOL

İçerik Tasarım Redaksiyonu/ Redaction of the Content Design
Dr. Öğr. Üyesi Mürsel DOĞRUL

Grafik Tasarım / Graphic Design
Mustafa ALTINTEPE

Birinci Baskı / 1st. Edition
750 Adet/pcs

Baskı Yeri, Tarihi/ Publication Place and Date
Ankara Basım Yayın Hizmetleri / Ankara / 2022

Kakaç, Sadık
İleri Enerji Sistemleri ve Çevre / Sadık Kakaç, Nilay Sezer Uzol. -- Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi, 2022.
xxii, 333 pages ; 24 cm. -- (Bilim ve Düşün Serisi No: 38)
Includes bibliographical references.
ISBN 978-625-8352-03-0
1. Enerji Mühendisliği. 2. Energy Engineering. 3. Enerji --Çevre. 4. Energy -- Environment.
5. Enerji Santralleri. 6. Power Plants. 7. Nükleer Enerji. 8. Nuclear Energy.
HD9502 K35 2022
333.79

*Bu kitap sevgili ailelerimizden zaman ayırıp,
üzerinde titizlikle çalışarak hazırlanmıştır.
Kendilerine minnettarız.*

“Hayatta en Hakiki mürşit İlimdir, Fendir.”

Mustafa Kemal Atatürk

TAKDİM

Enerji kaynaklarının verimli kullanıldığı temiz ve çevreci enerji sistemlerinin önemi gün geçtikçe daha çok hissedilmektedir. Ekonomik, çevre dostu, sürdürülebilir ve güvenilir enerji kaynaklarının birlikte kullanımı ve verimli enerji sistemlerinin geliştirilmesi için tüm ülkelerde çalışmalar yapılmaktadır. Bunun için enerji üretimi ve kullanımında stratejiler belirlenmekte, altyapılar kurulmakta, destek mekanizmaları oluşturulmakta ve politikalar geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) ülkemizin stratejik hedeflerine yönelik önem arz eden öncelikli ve güncel konulara dair bilimi temel alan çalışmaları desteklemekte ve toplumda bilimsel düşünme ve bilimi yaygın kılmayı amaçlamakta ve ilgili ders kitaplarının hazırlanmasını desteklemektedir. TÜBA olarak başta Enerji Çalışma Grubumuzun bilimsel etkinlik ve yayınları olmak üzere gerçekleştirdiğimiz bilimsel etkinlerimizde enerjiye ayrı konuma sahiptir. Ülkemizin stratejik hedeflerine katkı sağlayabilecek bilimsel yayın ve kaynakları, ülkemiz ve dünya literatürüne kazandırmak için çalışmalarımızı sürdürüyoruz. Bu eser de enerjinin etkin, verimli ve çevreci kullanımı konusundaki bilimsel ve teknolojik gelişimin kayıt altına alınmasını sağlayacak kapsamlı, tematik ve yetkin bir kaynağa duyulan ihtiyaca binaen hazırlanmıştır. Bu çerçevede, Türkiye'nin ana gündem maddelerinden biri olan enerji ve çevre ilişkisini ele alan "**İleri Enerji Sistemleri ve Çevre**" başlıklı bu eser sürdürülebilir enerji stratejilerini bilimsel veriler ışığında açıklayarak tüm enerji alternatifleri üzerine bilgiler ihtiva etmektedir.

Modern fosil yakıtlı santraller, nükleer santraller ve yenilenebilir enerji santralleri olmak üzere farklı enerji sistemlerinin incelendiği bu kitapta, enerji ve termodinamik ile ilgili temel kavramlar ve termodinamik biliminin tarihsel gelişimi, enerji sistemleri için önemli olan termodinamik çevrimler ve bu sistemlerin verimleri ve çevreye etkileri kısa tarihçeleri ile birlikte ele alınmış ve örneklerle anlatılmıştır. Bu kitabın, bir ders kitabı ve referans kitap olarak enerji sistemleri üzerine çalışan ve çalışmak isteyen bilim insanları ile özellikle Makine Mühendisliği ve Enerji Mühendisliği lisans/lisansüstü öğrencileri ve aynı zamanda enerji alanında çalışan uygulayıcılar, enerji santrallerini işleten ve tasarımında çalışan mühendis ve araştırmacılar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

TÜBA Şeref Üyesi Prof. Dr. Sadık Kakaç'ın vermiş olduğu *Enerji Sistemleri ve Çevre* dersi notlarından derlenerek kendisi ve Doç. Dr. Nilay Sezer Uzol tarafından titizlikle hazırlanan bu kitabın ilgililere faydalı olmasını diliyorum. Kitabın hazırlanmasına emek veren yazarlara ve TÜBA çalışanlarına teşekkürlerimi sunuyorum.

Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER
TÜBA Başkanı

ÖNSÖZ

Bütün ülkelerde özellikle gelişmekte olan ülkelerde, enerji ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Enerji sektöründe çalışanlar, enerji sistemlerinde yüksek enerji verimi sağlamak, yatırım masraflarını azaltmak, aynı zamanda çevreye atılan, insan sağlığı için çok zararlı olan ve iklim değişikliklerine sebep olan salınımları azaltmak gayreti içerisindeyler. En modern fosil yakıt santralleri bile, ileride açıklanacağı gibi, kombine santraller ile ısı verimleri %47-62 seviyelerine yükseltilebilmektedir.

Bu kitabın amacı, mevcut bütün *Enerji Üretim Sistemleri*'ni (nükleer enerji sistemleri dahil) inceleyerek, enerji konusunda ilerlemek isteyen, lisans/lisansüstü mühendislik öğrencilerine ve pratikte enerji alanında çalışan uygulayıcılara da faydalı olabilmektir. Bu kitap, sekiz bölüm olarak planlanmıştır.

Bölüm 1'de *Enerji Sistemleri* için genel tarif ve kavramlar verilmekte, modern güç santrallerini meydana getiren buhar kazanı, nükleer reaktör, türbin, yoğuşturucu, pompa, kompresör ve ısı değiştirgeci gibi önemli bileşenlerin tasarım ve imalatı için gerekli ön bilgiler verilmekte, termodinamik, akışkanlar mekaniği ve ısı transferinin önemi belirtilmekte, dört doğa kanununa işaret edilerek termodinamiğin birinci kanunu, kapalı ve açık sistemler için ifade edilmektedir. Enerji sistemlerinde diğer önemli bir konu olan akışkanlar mekaniği ve ısı transferi, pompa güç hesabı ve ısı değiştirgeçleri için ön bilgiler verilir, çözülmüş örneklerle izah edilmektedir. Enerji analizlerinde kullanılan fiziki miktarlar, boyutları ve kullanılan birimler de belirtilmektedir.

Bölüm 2'de enerji sistemleri analizlerinde kullanılan *Termodinamik Biliminin* önemi, termodinamik biliminin evrensel gelişimi ve bu gelişimi sağlayan bilim adamları ve katkıları sunularak anlatılmaktadır. Bu temel bilgilerin bilinmesi çok önemlidir.

Bölüm 3'te *Enerji Sistemleri ve Çevre* konusuna giriş yapmak üzere genel olarak enerji çeşitleri, enerjinin tarihi gelişimi, enerjinin kullanımı, çevre etkileri ve enerji kaynakları verilmektedir. Tarihi buhar makinesi ve devamında geliştirilen enerji sistemleri, özellikle fosil yakıtlı buhar güç santralleri ve bu santrallerin analizlerinde çok önemli olan Rankine çevrimi ve T - s diyagramı, nükleer enerji santralleri ve yenilenebilir enerji santralleri anlatılmaktadır. Ulaşımında enerji kullanımı, enerjinin alınıp satılması ve çevre sorunları anlatılmakta, sera gazlarının oluşumu ve yerkürenin ısınması şematik olarak izah edilmekte ve iklim değişikliklerinden söz edilmektedir.

Bölüm 4'te *Enerji Sistemleri*'nde önemli çevrimler grafikler ile verilmekte, ısı makinesi, Carnot ısı makinesi, Carnot soğutma makinesi, buhar sıkıştırırmalı soğutma makinesi, ısı pompası şemaları ile izah edilerek performans katsayıları ifadeleri anlatılmakta, Rankine ve farklı çevrimler için örnek çözümler verilmektedir. Otto çevrimi, Dizel çevrimi gösterilerek, nümerik örnek çözümlerle, verimleri izah edilmektedir. Kombine çevrim (Brayton + Rankine), gaz türbinli buhar santrali şeması ile gösterilerek, böyle bir santralin veriminin nasıl yükseltilebileceği örnek çözümler ile gösterilmektedir. Diğer önemli bir çevrim olan

kombine ısı-güç üreten kojenerasyon santralleri şematik gösterilmekte, verim yerine faydalanma faktörü tarif edilerek sayısal örnek çözümler verilmektedir.

Bölüm 5'te *Elektrik Enerjisi Üretiminin Dağıtımı*, ülkenin ihtiyacı olan her bölgeye ulaştırılması ve *Enerjinin Depolanması* için kullanılan çeşitli depolama metotları gibi önemli konular incelenmekte, şekiller ve sayısal örnek çözümler ile izah edilmektedir.

Bölüm 6'da dünyada en çok yayılmış güç santralleri olan *Fosil Yakıtlı Güç Santralleri* incelenmektedir. Geliştirilmiş modern buharlı güç santralleri performanslarının yüksek basınç ve sıcaklıklarda düşük yoğunlaştırıcı basınçlı, tek ve çift tekrar buhar ısıtmalı süper kritik santraller ile verimlerinin %45-50 değerlerine eriştiğine işaret edilmektedir. Çeşitli santral tipleri geniş olarak incelenmekte, sayısal örnekler ile performans analizleri gösterilmektedir. Kombine Güç Santralleri ve güç üretimi, bölge ısıtması ve başka ısı işlemler için kullanılan kojenerasyon santralleri de şematik olarak gösterilmekte, performans katsayıları için sayısal örnekler verilmektedir. Modern emisyon kontrol metotları ve özellikle CO₂ tutucular açıklanmaktadır. Ülkemizde linyit kömür kullanan ve emisyon kontrolü bakımından çok önemli olan *Sıvı Yataklı Kazanlar* geliştirilmiştir ve gerekli bilgiler bu bölümde verilmektedir.

Bölüm 7'de *Nükleer Enerji* ve *Nükleer Yakıtlı Güç Santralleri* konularında, nükleer enerjiye giden yolu aydınlatan bilim insanlarından başlayarak, atom bombasının geliştirilmesi ve Hiroshima ve Nagazaki'ye atılan bombalar anlatılmakta ve sonra fisyon reaksiyonunun kontrol altına alınabilmesi için yapılan çalışmalar sonucu nükleer reaktörlerin nasıl geliştirildiği izah edilmekte, fisyon reaksiyonu kullanan çeşitli reaktör tipleri anlatılmaktadır. Daha sonra, füzyon reaktörleri izah edilerek, fisyon ve füzyon reaksiyonlarından üretilen enerji J/kg değerleri, kömürden elde edilen enerji J/kg değerleri karşılaştırılarak, muazzam enerji farkları sayısal çözüm örnekleri ile gösterilmektedir. Ülkemizde *Nükleer Enerji Santralleri* kurulması için yapılan çalışmaların 1960 yıllarından başlayarak tarihçesi ve şimdi Akkuyu'da Ruslar tarafından kurulan Nükleer Güç Santrali hakkında teknik bilgiler verilmektedir.

Bölüm 8'de enerji üretiminde kullanılan çeşitli *Yenilenebilir Enerji Kaynakları* anlatılmakta, bunların tipleri, performans analizleri, sayısal çözüm örnekleri verilerek aydınlatılmaktadır. Biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve yüksek kapasiteli hidrolik güç santralleri, rüzgâr enerjisi ve karada/denizüstü rüzgâr enerjisi santralleri, güneş enerjisi ve fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri, okyanus termal enerjisi ve okyanus termal enerji dönüşüm (OTEC) santralleri, gel-git enerjisi ve santralleri, denizlerde dalga enerjisi, çeşitli yakıt pilleri örneklerle incelenmektedir.

Bu kitabın her bölümünde örnek çözümlerle, teorik bilgilerin uygulamada nasıl kullanıldığı ve performans analizleri açıklığa kavuşturulmaktadır. Diğer taraftan, her bölüm sonunda problemler ve referans kaynaklar verilmektedir. Bu kitabın *Makine Mühendisliği* ve *Enerji Mühendisliği* lisans ve lisansüstü öğrencileri için faydalı olacağı kanısındayız; aynı zamanda bir referans kitabı olarak enerji santrallerini işleten ve tasarımında çalışan mühendis ve araştırmacılar için de faydalı olacağını düşünmekteyiz.

Bu bölümler, **Sadık Kakaç**'ın TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nde (TOBB ETÜ) vermiş olduğu *Enerji Sistemleri ve Çevre* dersi notlarından üretilmiştir. **Nilay Sezer Uzol** Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde (ODTÜ) *Rüzgâr Enerjisi ve Rüzgâr Türbini Teknolojileri* dersi ve *Aerodinamik ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği* alanlarında dersler vermekte ve araştırma yapmaktadır. Yazarlar, TOBB ETÜ'de termodinamik, ısı ve akışkanlar mekaniği alanlarında dersler vermiş, muhtelif enerji konularında beraber çalışmalar ve projeler yürütmüşler ve bu kitabın hazırlanmasında titizlikle çalışmışlardır.

Bu kitabın hazırlanmasında öğrencilerimizin katkısı büyük olmuştur. Enerji derslerinde asistan olan **Berk Çevrim**'e ve **Ufuk Kayabaşı**'na katkılarında dolayı teşekkür ediyoruz. Özellikle öğrencilerimiz **Öykü Tekin** ve **Deniz Çelikbaş**'ın katkıları çok değerli olmuştur, bölümlerin titizlikle hazırlanmasında ve planlanan bu kitabın bölümlerinin bu hale gelmesinde değerli katkıları için çok teşekkür ediyoruz.

Ayrıca, Sadık Kakaç'ın MIT yıllarından 60 yıllık arkadaşı **Namık Aras**'ın *Nükleer Enerji Bölümü*'ne yaptığı değerli katkılarına ve ODTÜ Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Araştırma ve Uygulama Merkezi (RÜZGEM) Müdürü **Oğuz Uzol**'un *Rüzgâr Enerjisi Bölümü*'ne yaptığı değerli katkılarına teşekkür ediyoruz. Ülkemizde özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarında ve genel olarak enerji konusunda gelişmeleri bildirerek bizleri bilgilendiren **Abdullah Bilgin**'e çok teşekkür ediyoruz.

COVID-19 döneminde bizlere rahat bir çalışma ortamı hazırlamış oldukları için ailelerimize minnettarız.

Sadık Kakaç: "Miami Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde enerji konularında asistanlık yapmış olan ve aynı bölümden yüksek lisans dereceli sevgili kızım **Zeynep Yasemin Köksal**'ın ve sevgili eşim **Filiz**'imin manevi desteği her türlü takdirin üstündedir."

Sadık KAKAÇ

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
sadikkakac[at]yahoo.com
skakac[at]etu.edu.tr

Nilay SEZER UZOL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
nuzol[at]metu.edu.tr

YAZARLAR HAKKINDA

Prof. Dr. Sadık KAKAÇ | TÜBA Şeref Üyesi | TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi | skakac[at]etu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7839-8034

Prof. Dr. Sadık Kakaç, ısı transferi ve iki fazlı akışlar alanında tanınan isimlerden biridir ve tüm dünyada ısı transferi camiasında meslektaşları tarafından saygı duyulan bir isimdir. 1 Ekim 1932'de Çorum'da doğdu. İlköğrenimini Çorum'da başlayarak 1950 yılında Çorum Lisesi'nden mezun oldu. 1955 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Makine Mühendisliği Bölümü'nden Dip.-Ing derecesini aldı. Prof. Kakaç, İTÜ Makine Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi (1955-1958) olarak Isı Tekniği kürsüsüne katıldı. Daha sonra, Nükleer Mühendisliği çalışmak üzere burslu olarak MIT'ye gitti; MIT'den 1959'da Makine Mühendisliği'nden SM derecesi ve 1960'ta Nükleer Mühendisliği'nde SM derecesini aldı ve İTÜ'ye döndü. 1960 yılında İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü'nün kuruluşunda önemli rol oynadı. 1961 yılında, ODTÜ Rektörü Sayın Turhan Fevzioglu'nun daveti ile ODTÜ'de göreve başlayan Prof. Kakaç, 1961 yılında Filiz Konnolu ile evlenerek mutlu hayatına başlamıştır. Daha sonra 1962'de Unesco bursu ile İngiltere'ye gitti ve Manchester Victoria Üniversitesi'nden 1965 yılında Doktora derecesini aldı.

Prof. Dr. Sadık Kakaç akademik hayatına Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde (1961) öğretim görevlisi olarak başlamıştır. 1967'te Doçent ve 1970'te Profesör olmuştur. Daha sonra farklı devlet ve araştırma görevlerinde bulundu. 1970-1978 yılları arasında Atom Enerjisi Komisyonu üyeliği yaptı. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Bilim Kurulu Üyesi (1972-1980) seçildi. 1975-1976 yıllarında bir süre TÜBİTAK Genel Sekreter Vekilliğini yürüttü. Türkiye Atom Enerjisi Komisyonu Genel Sekreteri (1978-1980) olarak atandı ve Türkiye'yi yurtdışında çeşitli bilimsel çalışmalarda temsil etti. NATO Bilim Komitesi Üyesi (1979-1980), OECD NEA Yönlendirme Komitesi (1978-1980), ve CENTO Bilimsel Koordinasyon Kurulu (1972-1974) görevlerinde bulundu. ODTÜ'de Makine Mühendisliği Başkanı olarak görev yaptı (1976-1978), ardından Miami Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne misafir Profesör olarak davet edildi (1980-1982). 1982-2008 tarihlerinde Miami Üniversitesi'nde çalışan Prof. Dr. Sadık Kakaç 22 Haziran 2007 tarihinden bu yana TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'nde Makine Mühendisliği'nde Profesör olarak görev yapmaktadır.

Prof. Dr. Sadık Kakaç 1989 yılı Alexander von Humboldt Ödülü (Almanya), 1994 yılı Türk-Amerikan Bilim Adamları Birliği Bilim Ödülü, 1997 yılı Amerika Makina Mühendisleri Birliği (ASME) Isı Transferi Anma Ödülü, 1997 yılı Uluslararası Isı ve Kütle Transferi

Merkezi (ICHMT) Hizmet Ödülü, Shang-hai Elektrik Enerjisi Enstitüsü (Çin) Şeref Profesörü, Xian Jiatong Üniversitesi (Çin) Şeref Danışmanı, Ghandi Teknoloji ve Yönetim Enstitüsü Şeref Profesörü, 1998 yılında Ovidius Üniversitesi (Romanya) Şeref Doktorası, 1999 yılında Reims Üniversitesi (Fransa) Şeref Doktorası, 1999 yılı ODTÜ Prof. Dr. Mustafa N. Parlar Eğitim ve Araştırma Vakfı Hizmet Ödülü ve 2000 yılı TÜBİTAK Hizmet Ödülü sahibidir. 1998'de Rusya Federasyonu Bilimler Akademisi Üyesi, 1999'da Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Üyesi ve 2013'te TÜBA Şeref Üyesi, 2013'te Brezilya Bilimler Akademisi Üyesi ve 2013'te ASME Şeref Üyesi olmuştur. Uluslararası Hidrojen Enerji Dergisi, Uluslararası Isı ve Kütle Transferi Dergisi, Uluslararası İletişim Isı ve Kütle Transferi Dergisi, Uluslararası Deneysel Isı Transferi, Termodinamik ve Akışkanlar Mekaniği Dergisi ve Uluslararası Isı Bilimleri Dergisi editörlüğü yapmıştır.

**Doç. Dr. Nilay SEZER UZOL | Orta Doğu Teknik Üniversitesi | nuzol[at]metu.edu.tr
| ORCID: 0000-0002-5470-1553**

Doç. Dr. Nilay Sezer Uzol, 1976'da Balıkesir'de doğdu, 1993'te Ankara Fen Lisesi'nden mezun oldu. ODTÜ Havacılık Mühendisliği Bölümü'nden 1998'de Lisans derecesini aldı. Yüksek Lisans derecesini 2001'de ve Doktora derecesini 2006'da araştırma görevlisi olarak çalıştığı Penn State Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nden ve Yüksek Başarımlı Hesaplama yan dal derecesini de 2001'de Penn State Üniversitesi Yüksek Başarımlı Hesaplama Enstitüsü'nden aldı. Akademik hayatına 2007'de başlayarak, 2007-2015 yıllarında TOBB ETÜ Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalıştı. Ayrıca, 2013-2015 yıllarında akademik izinli olarak TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi'nde Özgün Helikopter Projesi'nde görev alarak helikopter aerodinamiği ve tasarımı alanında endüstride çalıştı. 2015'ten beri ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. 2017 yılında Doçent oldu. Termodinamik, akışkanlar dinamiği, aerodinamik, sayısal yöntemler, rüzgâr enerjisi, helikopter aerodinamiği, hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve yüksek başarımlı hesaplama alanlarında dersler vermektedir. Araştırma çalışmalarına hesaplamalı akışkanlar dinamiği ve yüksek başarımlı hesaplama alanlarında, özellikle akışkanlar dinamiği ve aerodinamik, döner kanat aerodinamiği, helikopter ve rüzgâr türbini rotor aerodinamiği ve tasarımı konularında devam etmektedir.

ÖZET

Bütün ülkelerde özellikle gelişmekte olan ülkelerde, enerji ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Enerji sektöründe çalışanlar, enerji sistemlerinde yüksek enerji verimi sağlamak, yatırım masraflarını azaltmak, aynı zamanda çevreye atılan, insan sağlığı için çok zararlı olan ve iklim değişikliklerine sebep olan salınımları azaltmak gayreti içerisindeyler. En modern fosil yakıt santralleri bile, ileride açıklanacağı gibi, kombine santraller ile ısı verimleri %47-62 seviyelerine yükseltilebilmektedir.

Bu kitabın amacı, mevcut bütün Enerji Üretim Sistemleri'ni (nükleer enerji sistemleri dahil) inceleyerek, enerji konusunda ilerlemek isteyen, lisans/lisansüstü mühendislik öğrencilerine ve pratikte enerji alanında çalışan uygulayıcılara da faydalı olabilmektir. Bu kitap, sekiz bölüm olarak planlanmıştır.

Bölüm 1'de Enerji Sistemleri için genel tarif ve kavramlar verilmekte, modern güç santrallerini meydana getiren buhar kazanı, nükleer reaktör, türbin, yoğuşturucu, pompa, kompresör ve ısı değiştirgeci gibi önemli bileşenlerin tasarım ve imalatı için gerekli ön bilgiler verilmekte, termodinamik, akışkanlar mekaniği ve ısı transferinin önemi belirtilmekte, dört doğa kanununa işaret edilerek termodinamiğin birinci kanunu, kapalı ve açık sistemler için ifade edilmektedir. Enerji sistemlerinde diğer önemli bir konu olan akışkanlar mekaniği ve ısı transferi, pompa güç hesabı ve ısı değiştirgeçleri için ön bilgiler verilir, çözülmüş örneklerle izah edilmektedir. Enerji analizlerinde kullanılan fiziki miktarlar, boyutları ve kullanılan birimler de belirtilmektedir.

Bölüm 2'de enerji sistemleri analizlerinde kullanılan Termodinamik Biliminin önemi, termodinamik biliminin evrensel gelişimi ve bu gelişimi sağlayan bilim adamları ve katkıları sunularak anlatılmaktadır. Bu temel bilgilerin bilinmesi çok önemlidir.

Bölüm 3'te Enerji Sistemleri ve Çevre konusuna giriş yapmak üzere genel olarak enerji çeşitleri, enerjinin tarihi gelişimi, enerjinin kullanımı, çevre etkileri ve enerji kaynakları verilmektedir. Tarihi buhar makinesi ve devamında geliştirilen enerji sistemleri, özellikle fosil yakıtlı buhar güç santralleri ve bu santrallerin analizlerinde çok önemli olan Rankine çevrimi ve T-s diyagramı, nükleer enerji santralleri ve yenilenebilir enerji santralleri anlatılmaktadır. Ulaşımda enerji kullanımı, enerjinin alınıp satılması ve çevre sorunları anlatılmakta, sera gazlarının oluşumu ve yerkürenin ısınması şematik olarak izah edilmekte ve iklim değişikliklerinden söz edilmektedir.

Bölüm 4'te Enerji Sistemleri'nde önemli çevrimler grafikler ile verilmekte, ısı makinesi, Carnot ısı makinesi, Carnot soğutma makinesi, buhar sıkıştırırmalı soğutma makinesi, ısı pompası şemaları ile izah edilerek performans katsayıları ifadeleri anlatılmakta, Rankine ve farklı çevrimler için örnek çözümler verilmektedir. Otto çevrimi, Dizel çevrimi gösterilerek, nümerik örnek çözümlerle, verimleri izah edilmektedir. Kombine çevrim (Brayton + Rankine), gaz türbinli buhar santrali şeması ile gösterilerek, böyle bir santralin veriminin nasıl yükseltilebileceği örnek çözümler ile gösterilmektedir. Diğer önemli bir çevrim olan

kombine ısı-güç üreten kojenerasyon santralleri şematik gösterilmekte, verim yerine faydalanma faktörü tarif edilerek sayısal örnek çözümler verilmektedir.

Bölüm 5'te Elektrik Enerjisi Üretiminin Dağıtımı, ülkenin ihtiyacı olan her bölgeye ulaştırılması ve Enerjinin Depolanması için kullanılan çeşitli depolama metotları gibi önemli konular incelenmekte, şekiller ve sayısal örnek çözümler ile izah edilmektedir.

Bölüm 6'da dünyada en çok yayılmış güç santralleri olan Fosil Yakıtlı Güç Santralleri incelenmektedir. Geliştirilmiş modern buharlı güç santralleri performanslarının yüksek basınç ve sıcaklıklarda düşük yoğunlaştırıcı basınçlı, tek ve çift tekrar buhar ısıtımali süper kritik santraller ile verimlerinin %45-50 değerlerine eriştiğine işaret edilmektedir. Çeşitli santral tipleri geniş olarak incelenmekte, sayısal örnekler ile performans analizleri gösterilmektedir. Kombine Güç Santralleri ve güç üretimi, bölge ısıtması ve başka ısı işlemler için kullanılan kojenerasyon santralleri de şematik olarak gösterilmekte, performans katsayıları için sayısal örnekler verilmektedir. Modern emisyon kontrol metotları ve özellikle CO₂ tutucular açıklanmaktadır. Ülkemizde linyit kömür kullanan ve emisyon kontrolü bakımından çok önemli olan Sıvı Yataklı Kazanlar geliştirilmiştir ve gerekli bilgiler bu bölümde verilmektedir.

Bölüm 7'de Nükleer Enerji ve Nükleer Yakıtlı Güç Santralleri konularında, nükleer enerjiye giden yolu aydınlatan bilim insanlarından başlayarak, atom bombasının geliştirilmesi ve Hiroshima ve Nagazaki'ye atılan bombalar anlatılmakta ve sonra fisyon reaksiyonunun kontrol altına alınabilmesi için yapılan çalışmalar sonucu nükleer reaktörlerin nasıl geliştirildiği izah edilmekte, fisyon reaksiyonu kullanan çeşitli reaktör tipleri anlatılmaktadır. Daha sonra, füzyon reaktörleri izah edilerek, fisyon ve füzyon reaksiyonlarından üretilen enerji J/kg değerleri, kömürden elde edilen enerji J/kg değerleri karşılaştırılarak, muazzam enerji farkları sayısal çözüm örnekleri ile gösterilmektedir. Ülkemizde Nükleer Enerji Santralleri kurulması için yapılan çalışmaların 1960 yıllarından başlayarak tarihçesi ve şimdi Akkuyu'da Ruslar tarafından kurulan Nükleer Güç Santrali hakkında teknik bilgiler verilmektedir.

Bölüm 8'de enerji üretiminde kullanılan çeşitli Yenilenebilir Enerji Kaynakları anlatılmakta, bunların tipleri, performans analizleri, sayısal çözüm örnekleri verilerek aydınlatılmaktadır. Biyokütle enerjisi, hidroelektrik enerjisi ve yüksek kapasiteli hidrolik güç santralleri, rüzgâr enerjisi ve karada/denizüstü rüzgâr enerjisi santralleri, güneş enerjisi ve fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri, okyanus termal enerjisi ve okyanus termal enerji dönüşüm (OTEC) santralleri, gel-git enerjisi ve santralleri, denizlerde dalga enerjisi, çeşitli yakıt pilleri örneklerle incelenmektedir.

Bu kitabın her bölümünde örnek çözümlerle, teorik bilgilerin uygulamada nasıl kullanıldığı ve performans analizleri açıklığa kavuşturulmaktadır. Diğer taraftan, her bölüm sonunda problemler ve referans kaynaklar verilmektedir. Bu kitabın Makine Mühendisliği ve Enerji Mühendisliği lisans ve lisansüstü öğrencileri için faydalı olacağı kanısındayız; aynı zamanda bir referans kitabı olarak enerji santrallerini işleten ve tasarımında çalışan mühendis ve araştırmacılar için de faydalı olacağını düşünmekteyiz.

ABSTRACT

Energy needs are increasing in all countries, especially in developing countries. Those working in the energy sector strive to provide high energy efficiency in energy systems, to reduce investment costs, and to reduce emissions that are thrown into the environment, which are very harmful to human health and cause climate changes. Even the most modern fossil fuel power plants, as will be explained later, can increase their thermal efficiency to 47-62% with combined power plants.

The aim of this book is to examine all existing **Energy Production Systems** (including nuclear energy systems), to be useful to undergraduate/graduate engineering students and practitioners working in the field of energy, who want to advance their knowledge on energy. This book is planned as eight chapters.

In Chapter 1, general definitions and concepts for **Energy Systems** are given; preliminary information is given for the design and manufacture of important components of modern power plants such as steam boilers, nuclear reactors, turbines, condensers, pumps, compressors, and heat exchangers; the importance of thermodynamics, fluid mechanics, and heat transfer are stated; the first law of thermodynamics is explained for closed and open systems by pointing to the four laws of nature. Preliminary information on fluid mechanics and heat transfer, pump power calculation and heat exchangers, which are the important subjects in energy systems, is given and explained with solved examples. Physical quantities, dimensions and units used in energy analyses are also described.

In Chapter 2, the importance of the **Science of Thermodynamics** used in energy system analyses, the universal development of the science of thermodynamics and the scientists who provided this development, and their contributions are explained. Knowing these basics is very important.

In Chapter 3, as an introduction to **Energy Systems and Environment**, energy types, historical development of energy, use of energy, environmental effects and energy sources are described. The historical steam engine and the energy systems developed afterwards, especially fossil fuel steam power plants and the Rankine cycle and T-s diagram which are very important in the analysis of these power plants, nuclear power plants and renewable energy plants are explained. The use of energy in transportation, the buying and selling of energy and environmental problems are discussed, the formation of greenhouse gases and the warming of the earth are explained schematically, and climate changes are mentioned.

In Chapter 4, important **cycles in Energy Systems** are given with graphics; heat engine, Carnot heat engine, Carnot refrigeration, vapor compression refrigeration, and heat pump diagrams are explained, performance coefficient expressions are explained, and sample solutions are given for Rankine and different cycles. Otto cycle, Diesel cycle is shown, and their efficiency is explained with numerical example solutions. Combined cycle (Brayton + Rankine) for a gas turbine steam power plant is shown, and how the efficiency of such a power plant can be increased is explained with sample solutions. Cogeneration plants producing combined heat and power, which is another

important cycle, are shown schematically, and numerical example solutions are given by describing the utilization factor instead of efficiency.

In Chapter 5, **Distribution of Electric Power Generation**, energy delivery to every region of the country that needs energy, and various storage methods used for **Energy Storage** are examined and explained with figures and numerical example solutions.

In Chapter 6, **Fossil Fuel Power Plants**, which are the most widespread power plants in the world, are examined. It is pointed out that the performances of improved modern steam power plants reach 45-50% with low condenser pressure, single and double reheated steam supercritical power plants at high pressures and temperatures. Various power plant types are studied extensively, and performance analyzes are shown with numerical examples. Combined Power Plants and cogeneration plants used for power generation, district heating and other heat treatments are also shown schematically, and numerical examples are given for performance coefficients. Modern emission control methods and in particular CO₂ adsorbers are described. Liquid Bed Boilers, which use lignite coal and are very important in terms of emission control, have been developed in our country and the necessary information is given in this section.

In Chapter 7, **Nuclear Energy and Nuclear Power Plants** are explained, starting with the scientists who illuminated the way to nuclear energy, the development of the atomic bomb and the bombs dropped on Hiroshima and Nagasaki. Then, how nuclear reactors were developed as a result of the studies carried out to control the fission reaction is explained. Various reactor types using the fission reaction are described. Afterwards, fusion reactors are explained, and the energy J/kg values produced from fission and fusion reactions are compared with the energy J/kg values obtained from coal, and the enormous energy differences are shown with numerical solution examples. The history of the studies for the establishment of Nuclear Power Plants in our country, starting from the 1960s, and now technical information about the Nuclear Power Plant established by the Russians in Akkuyu are given.

In Chapter 8, various **Renewable Energy Sources** used in energy production are explained, their types, performance analyzes, and numerical solution examples are given. Biomass energy, hydroelectric energy and high-capacity hydraulic power plants, wind energy and on/offshore wind power plants, solar energy and photovoltaic (PV) solar power systems, ocean thermal energy and ocean thermal energy conversion (OTEC) plants, tidal energy and power plants, wave energy in the seas, various fuel cells are examined with examples.

In each chapter of this book, how theoretical knowledge is used in practice and performance analysis are explained with example solutions. On the other hand, problems and reference sources are given at the end of each chapter. We believe that this book will be useful for Mechanical Engineering and Energy Engineering undergraduate and graduate students; At the same time, we think that it will be useful as a reference book for engineers and researchers who operate and design power plants.

İÇİNDEKİLER

TABLE OF CONTENTS

TAKDİM.....	V
ÖNSÖZ.....	VII
YAZARLAR HAKKINDA.....	XI
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT.....	XV

BÖLÜM 1

ENERJİ SİSTEMLERİ VE ÇEVRE: TARİFLER VE ESAS KAVRAMLAR.....	1
1.1 GİRİŞ.....	1
1.2 TERMODİNAMİK: TARİFLER VE TEMEL KAVRAMLAR.....	1
1.3 TARİFLER.....	3
1.4 TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU (KAPALI SİSTEM).....	5
1.5 AÇIK BİR SİSTEM İÇİN TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU.....	8
1.6 ISI TRANSFERİNİN ÖZEL KANUNLARI.....	10
1.6.1 Isı İletimi.....	10
1.6.2 Isı Taşınımı.....	14
1.6.3 Isı Işınımı.....	16
1.7 ISI DEĞİŞTİRGEÇLERİ.....	17
1.8 TEMEL AKIŞKANLAR MEKANİĞİ:.....	20
1.8.1 Bernoulli Denklemi.....	20
1.8.2 Süreklilik Denklemi.....	21
1.8.3 Basınç Kayıpları.....	21
1.8.4 Pompa Gücü.....	22
1.9 FİZİKİ MİKTARLAR, BOYUTLAR VE BİRİMLER.....	23
1.10 PROBLEMLER.....	29
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	30

BÖLÜM 2

TERMODİNAMİK BİLİMİNİN EVRİMSEL GELİŞİMİ.....	31
2.1 GİRİŞ.....	31
2.2 SADI CARNOT (1796-1832).....	31
2.3 CARNOT SONRASI.....	32
2.4 JAMES PRESCOTT JOULE (1818-1889).....	33
2.5 WILLIAM THOMSON (1824-1907).....	35
2.6 W. J. MACQUORN RANKINE (1820-1872).....	37
2.7 RUDOLF CLAUSIUS (1822-1888).....	37
2.8 JOSIAH WILLARD GIBBS (1839-1903).....	38
2.9 WALTHER NERNST (1864-1941): TERMODİNAMİK BİLİMİ.....	40
2.10 JOSEPH H. KEENAN (1900-1977).....	41
2.11 ADRIAN BEJAN (1947-).....	42
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	45

BÖLÜM 3

ENERJİ SİSTEMLERİ VE ÇEVRE: GİRİŞ.....	47
3.1 GİRİŞ	47
3.2 ENERJİ.....	47
3.3 ENERJİ: KISA TARİHÇESİ.....	48
3.4 ENERJİNİN KULLANIMI.....	49
3.5 ENERJİ VE ÇEVRE	49
3.6 ENERJİ KAYNAKLARI	52
3.7 ENERJİ SİSTEMLERİ.....	53
3.7.1 Fosil Yakıtlı Buhar Güç Santralleri.....	53
3.7.2 Nükleer Güç Santralleri.....	54
3.7.3 Yenilenebilir Enerji Santralleri.....	55
3.8 ENERJİ VE ULAŞIM.....	55
3.9 ENERJİ: ALIM VE SATIMI.....	55
3.10 ÇEVRE VE ÇEVRE SORUNLARI.....	56
3.11 ENERJİ SİSTEMLERİNDE ÖNEMLİ BİRİMLER.....	56
3.12 SÜRDÜRÜLEBİLİR GELİŞME.....	59
3.13 ENDÜSTRİYEL KİRLENME VE ÇEVRE KİRLENMESİ	61
3.14 ÖZET	61
3.15 PROBLEMLER	62
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	63

BÖLÜM 4

ENERJİ YÖNTEMİ: ENERJİ SİSTEMLERİNDE ÖNEMLİ ÇEVİRİMLER.....	65
4.1 GİRİŞ	65
4.2 TERMODİNAMİĞİN KANUNLARI	65
4.3 TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU: SÜREKLİ AKIM AÇIK SİSTEMLER	66
4.4 ISI MAKİNESİ.....	67
4.4.1 Carnot Isı Makinesi ve Carnot Çevrimi	67
4.4.2 Tersinir Isı Makinesi.....	69
4.5 SOĞUTMA MAKİNESİ.....	70
4.5.1 Carnot Soğutma Makinesi.....	70
4.5.2 Buhar Sıkıştırırmalı Soğutma Makinesi.....	72
4.6 ISI POMPASI.....	73
4.7 ÖNEMLİ ÇEVİRİMLER.....	75
4.7.1 Carnot Çevrimi.....	75
4.7.2 Rankine Çevrimi.....	75
4.7.3 Otto Çevrimi.....	81
4.7.4 Dizel Çevrimi	85
4.7.5 Brayton Çevrimi.....	87
4.7.6 Kombine Çevrim: Brayton + Rankine.....	89
4.7.7 Kombine Isı ve Güç Çevrimi: Kojenerasyon.....	91
4.7.8 Isı Pompası: Soğutma Çevrimi.....	93
4.7.9 Enerji Sistemlerinde Yakıt.....	98
4.8 DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	102
4.9 PROBLEMLER	104
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	105

BÖLÜM 5

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ, DAĞITIMI VE DEPOLANMASI.....	107
5.1 GİRİŞ	107
5.2 ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ	107
5.3 ELEKTRİK ENERJİSİ DAĞITIMI	108
5.3.1 <i>Elektrik Dağıtım Şebekesi</i>	108
5.3.2 <i>Günlük Enerji İhtiyacı</i>	110
5.4 ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA	110
5.4.1 <i>Elektro-Kimyasal Enerji Depolama</i>	112
5.4.2 <i>Mekanik Enerji Depolama</i>	114
5.4.3 <i>Isıl Enerji Depolama</i>	118
5.4.4 <i>Depolama Sistemlerinin Özellikleri</i>	123
5.5 ÖZET.....	124
5.6 PROBLEMLER.....	124
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	126

BÖLÜM 6

FOSİL YAKITLI GÜÇ SANTRALLERİ.....	127
6.1 GİRİŞ	127
6.1.1 <i>Fosil Yakıtlı Güç Santralleri ve Termodinamik Çevrimler</i>	127
6.1.2 <i>Fosil Yakıtlı Güç Santralleri ve Çevre</i>	127
6.2 FOSİL YAKITLI GÜÇ SANTRALLERİ BİLEŞENLERİ	128
6.2.1 <i>Yakıt Depolama</i>	128
6.2.2 <i>Yakma Sistemleri: Stokerler ve Brülörler</i>	129
6.2.3 <i>Kazanlar</i>	131
6.2.4 <i>Yoğuşturucular</i>	140
6.2.5 <i>Soğutma Kuleleri</i>	143
6.2.6 <i>Jeneratör</i>	144
6.3 FOSİL YAKITLI GÜÇ SANTRALLERİ PERFORMANS ANALİZİ.....	144
6.3.1 <i>Kazan Performans Analizi</i>	148
6.3.2 <i>Güç Santralinin Kapasite Faktörü</i>	149
6.4 EMİSYON KONTROLÜ	150
6.4.1 <i>Tam Yanmamış Ürünler ve Karbon Monoksit Kontrolü</i>	150
6.4.2 <i>Sülfür Kontrolü</i>	151
6.4.3 <i>Tanecik Kontrolü</i>	151
6.4.4 <i>Karbondioksit Emisyonu ve Azaltılması</i>	151
6.4.5 <i>Emisyon Kontrolünde Sıvı Yataklı Kazanlar</i>	152
6.5 GELİŞTİRİLMİŞ İLERİ ÇEVİRİMLER.....	153
6.5.1 <i>Kombine Çevrim</i>	154
6.5.2 <i>Kojenarasyon Çevrim</i>	157
6.6 ÖZET.....	160
6.7 PROBLEMLER.....	161
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	163

BÖLÜM 7

NÜKLEER YAKITLI GÜÇ SANTRALLERİ	165
7.1 GİRİŞ	165
7.2 NÜKLEER ENERJİYE GİDEN YOLU AYDINLATANLAR	165
7.3 NÜKLEER ENERJİNİN TARİHÇESİ.....	170
7.4 GÜNÜMÜZDE NÜKLEER ENERJİ.....	171
7.5 NÜKLEER ENERJİYE GİRİŞ: TANIMLAR VE ESASLAR.....	175
7.5.1 Nükleer Enerji Nedir?.....	175
7.5.2 Atom Tanecikleri.....	175
7.5.3 Fısyon Reaksiyonu.....	175
7.5.4 Füzyon Reaksiyonu.....	177
7.5.5 Radyoaktivite ve Radyoaktif Işıma.....	179
7.5.6 Bozunma Hızı ve Yarı Ömür.....	180
7.5.7 Birimler ve Dozlar.....	181
7.5.8 Radyasyondan Korunma Standartları	182
7.6 NÜKLEER GÜÇ REAKTÖRLERİ	182
7.6.1 İlk Nükleer Reaktörler:.....	182
7.6.2 Nükleer Reaktörlerin Önemli Bileşenleri.....	183
7.6.3 Kaynar Su Reaktörü (BWR).....	186
7.6.4 Basınçlı Su Reaktörü (PWR).....	188
7.6.5 Basınçlı Ağır Su Reaktörü (PHWR) / CANDU Tipi Reaktör.....	189
7.6.6 Gaz Soğutmalı Reaktörler (GCR).....	190
7.6.7 Sıvı Metal Soğutmalı Hızlı Üretken Reaktörler (LMFBR)	190
7.6.8 Küçük Modüler Reaktörler (SMR)	193
7.6.9 Füzyon Reaktörleri.....	193
7.7 NÜKLEER YAKIT ÇEVİRİMİ	194
7.8 KYOTO PROTOKOLÜ	198
7.9 TORYUM YAKITLI NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ.....	199
7.10 TÜRKİYE'DE NÜKLEER ENERJİ SANTRALİ KURMA ÇALIŞMALARI	200
7.11 ÖZET	201
7.12 SONUÇ	202
7.13 PROBLEMLER	203
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	205

BÖLÜM 8

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	207
8.1 GİRİŞ	207
8.1.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	207
8.1.2 Elektrik Enerjisi Üretimi ve Tüketimi.....	208
8.1.3 Enerji Verimliliği	213
8.2 BİYOKÜTLE ENERJİ	213
8.2.1 Biyokütle	214
8.2.2 Biyokütle Yakıt Kullanım Tarihi.....	215
8.2.3 Biyodizel.....	217
8.2.4 Etanol	218
8.2.5 Dünyada Etanol ve Biyokütle.....	220
8.2.6 Ülkemizde Etanol ve Biyokütle.....	222
8.2.7 Biyokütle ve Çevre.....	223

8.3 GÜNEŞ ENERJİSİ	224
8.3.1 Güneş Kolektörleri	225
8.3.2 Levha Tipi Güneş Kolektörleri	225
8.3.3 Aynalı Kolektörler	230
8.3.4 Konsantre Termal Güneş Enerjisi Santralleri.....	231
8.3.5 Fotovoltaik Piller	233
8.3.6 Fotovoltaik PV Güç Santralleri.....	236
8.4 HİDROELEKTRİK GÜÇ.....	238
8.4.1 Hidrolik Türbinler.....	244
8.4.2 HES ve Çevre.....	247
8.5 RÜZGAR ENERJİSİ	247
8.5.1 Rüzgâr Türbinleri	248
8.5.2 Rüzgâr Türbinlerinin Gelişimi.....	251
8.5.3 Rüzgâr Atlası ve Rüzgâr Çiftlikleri.....	254
8.5.4 Rüzgâr Türbinleri Performans Hesaplamaları.....	257
8.5.5 Dünyada ve Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi.....	261
8.6 GELGİT (MED-CEZİR) ENERJİSİ	262
8.7 OKYANUS ENERJİSİ	265
8.8 DALGA ENERJİSİ	267
8.9 JEOTERMAL ENERJİ	268
8.9.1 Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal Enerji.....	270
8.9.2 Jeotermal Kaynak Modellemesi.....	274
8.9.3 Jeotermal Güç Santralleri.....	274
8.9.4 Jeotermal Enerji Santrali Çalışma Sistemleri:.....	276
8.9.5 Kullanılan Ekipmanlar	280
8.9.6 Jeotermal Santral Operasyonu ve Çevre	284
8.9.7 Jeotermal Enerjide Sorunlar	284
8.10 YAKIT PİLLERİ VE HİDROJEN.....	285
8.10.1 PEMFC Yakıt Pilleri.....	287
8.10.2 PSOFC Yakıt Pilleri.....	289
8.10.3 Yakıt Pillerinin Arabalarda Kullanımı.....	289
8.11 SONUÇ – YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI.....	290
8.12 PROBLEMLER	291
KAYNAKLAR / REFERENCES.....	292

EKLER

TABLolar.....	295
EK A. BİRİMLER, DÖNÜŞÜMLER, EK BİLGİLER VE TABLolar.....	295
EK B. TERMODİNAMİK ÖZELLİK TABLoları.....	302

Dizin

Index

- A**
- açık sistem, 3, 9, 66
- B**
- Basınç kaybı, 21
Bernoulli Denklemi, 20
Betz limiti, 255, 256
Biyodizel, 214, 220, 221
Biyokütle, 204, 210, 220, 221, 267
Biyokütle enerjisi, 210
Biyoyakıt, 211, 212, 221
Biyoyakıtlar, 61, 99, 212
Brayton çevrimi, 87, 88, 155
Buhar makinesi, 37, 49, 52
Buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi, 72
Buhar sıkıştırılmalı soğutma makinesi, 72
- C**
- Carnot Çevrimi, 32, 67, 75, 90
Carnot ısı makinesi, 37, 67, 68, 69, 104
Carnot ısı pompası, 73
Carnot Soğutma Makinesi, 70, 71
- Ç**
- Çevre, 36, 127, 160, 221, 245, 282, 283, 290
Çevre kirliliği, 61, 160
Çevre sorunları, 47, 49, 52, 55, 204, 245
Çevrede süreklilik, 59
Çevreyi korumak, 50, 204, 205
Çevrim, 3
- D**
- Dalga enerji dönüştürücü, 265
Dalga enerjisi güç santrali, 266
Denizüstü rüzgâr enerjisi santralleri, viii, xiv
Dizel Çevrimi, 85
Dünya ekonomisi, 55
- E**
- EES Sistemi, 24, 27
Ekonomi, viii, ix, xi, 51, 62
Ekonomik, 47, 51, 91, 100, 109, 114, 151, 172, 174, 199, 205, 210, 215, 222, 228, 233, 239
Ekonomik sorunlar, 55
Ekonomik süreklilik, 59
Ekserji, 31, 41, 42, 53, 65, 127, 275, 276, 277
Elektrik Enerjisi, viii, xii, xiii, xx, 115, 205, 206
Emisyon, viii, xiv, 61, 127, 132, 136, 150, 151, 152, 157, 197, 212, 282
Emisyon kontrolü, viii, xiv, 127, 132, 151, 152, 157
Enerji, 3, 39, 47
Enerji dağıtım, 259
Enerji depolama, 107, 111, 112, 113, 114, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126
Enerji ekonomisi, 2
Enerji fiyatı, 100, 128, 195, 259, 288
Enerji kaynakları, vii, xiii, 47, 48, 52, 55, 56, 107, 108, 201, 204, 205, 206, 207, 208, 210, 234, 288
Enerji kullanma faktörü, 158
Enerji sistemleri, vii, xiii, 29, 48, 51, 52, 61, 107, 124, 127
Enerji üretimi, 49, 56, 62, 89, 116, 127, 162, 191, 194, 196, 206, 217, 247, 266, 268
Enerji verimliliği, 109, 193, 210
Enerji yararlanma oranı, 158
Enerjinin dağılımı, 107
Entropi, 31, 37, 38, 39, 40, 41, 65, 66, 76, 127, 158
Etanol, 56, 211, 212, 214, 215, 216, 218, 220, 221
- F**
- Faydalanma faktörü, 162
Flsyon, 172
Flsyon reaksiyonu, 171

Fosil yakıt, vii, xiii, 75, 77, 80, 89, 102, 131, 157, 160, 172, 173, 175, 203, 206, 221, 233, 283, 287, 288
 Fosil Yakıtlı Güç Santralleri, viii, xiv, xix, 127
 Fotovoltaik piller, 222
 Fotovoltaik PV Güç Santralleri, 233
 Füzyon, viii, xiv, 56, 122, 165, 172, 175, 177, 178, 179, 193, 201, 202, 222
 Füzyon Reaksiyonu, 177

G

Gelgit enerjisi, 204
 Gelgit santrali, 261
 Güneş enerjisi, viii, xiv, 55, 100, 109, 122, 125, 149, 204, 206, 210, 211, 222, 223, 226, 229, 232, 263, 283
 Güneş kolektörü, 119
 Güneş pili, 231

H

Hava kirliliği, 215
 Hidroelektrik enerji, 114, 115, 206
 Hidroelektrik güç, 55, 204, 237, 239
 Hidroelektrik güç santralleri, 55
 Hidrojen, 56, 99, 100, 101, 102, 169, 204, 222, 268, 282, 283, 286, 287
 Hidrolik Türbin, 242

I

Isı değiştirgeci, vii, xiii, 8, 17, 117, 132, 140, 154, 158, 188, 274, 278
 Isı ekonomisi, 2
 Isı Işınımı, xvii, 17
 Isı iletimi, 2, 5, 35
 Isı makinesi, vii, xiii, 31, 33, 35, 36, 37, 40, 48, 67, 69, 70, 73, 74, 119, 127, 178, 188, 274, 275
 Isı pompası, vii, xiii, 32, 73, 74, 93, 94, 95, 96, 97, 104
 Isı taşınımı, 2, 14, 132, 153, 223
 Isıl kirlenme, 2

Isıl verimi, 69, 75, 77, 82, 86, 88, 89, 90, 100, 102, 146, 149, 153, 158, 161, 162, 188, 190, 195, 228, 275, 276, 277, 288

İ

İKili çevrim, 275, 277, 278
 İklim değişikliği, 49, 124, 200, 205

J

JEotermal enerji, 55, 204, 266, 268
 JEotermal güç santrali, 269, 271, 273, 274, 275, 276, 278, 289
 JEotermal kaynak, 272
 Jeotermal Santral, 282

K

Kapalı sistem, 3, 34
 Karbondioksit salınımları, 107, 149
 Katı yakıt, 128, 129, 211
 Kojenerasyon çevrim, 91, 92
 Kojenerasyon santralleri, vii, viii, xiii, xiv
 Kojenerasyon sistemi, 92
 Kombine çevrim, vii, xiii, 90, 153, 154, 155, 156
 Kombine çevrimi, 91
 Kombine gaz-buhar çevrimi, 89
 Kombine ısı ve güç sistemi, 92
 Kombine sistem, 89
 Konsantre Termal Güneş Enerjisi Santralleri, 229
 Küresel ısınma, 49, 50, 51

M

Med-cezir enerji, 260
 MKS sistemi, 27

N

Newton'un soęuma yasası, 14, 15
 Nükleer bölünme, 169
 Nükleer enerji, vii, xiii, 51, 55, 100, 165, 201
 Nükleer güç santralleri, 54, 107, 173, 200
 Nükleer reaktör, vii, xiii, 54, 182, 200
 Nükleer santral, 54, 128, 171, 172, 199, 200, 203

O

Okyanus enerjisi, 204
 Okyanus Termal Enerji Dönüşüm, 264
 Okyanus termal enerji dönüşümü, 263
 Okyanus termal enerjisi, viii, 263
 Otto çevrimi, vii, xiii, 81, 82, 83

P

Pompa Gücü, xvii, 22

R

RAdyasyon, 10, 17, 47, 153, 178, 181, 182, 216,
 223, 224, 225, 226, 227, 228, 232, 233, 263
 Radyoaktif Işıma, xx, 179
 Rankine çevrimi, vii, xiii, 53, 54, 75, 76, 77, 78,
 127, 144, 146, 202
 Reaktör, 184, 186, 189, 191, 192, 201
 Rüzgâr Atlası, , 252, 253
 RÜzgâr çiftliği, 252, 253
 RÜzgâr enerjisi, viii, xii, xiv, 48, 55, 109, 204,
 206, 253, 257, 259, 260, 283
 RÜzgâr türbini, xii, 246, 247, 248, 249, 250, 251,
 252, 253, 255, 257, 258, 259

S

Sentetik yakıt, 100, 102
 Sera gazı, 50, 51, 197
 Sera gazları, 50, 51, 56
 SI birim sistemi, 25
 Sıvı yakıt, 128
 Soğutma çevrimi, 42, 73, 95
 Soğutma makinesi, 67, 71
 Sosyal süreklilik, 59
 Standart atmosfer, 297, 328
 Stefan-Boltzman yasası, 17

Sürdürülebilir, 59, 100, 204, 205
 Sürdürülebilir gelişme, 59
 Sürdürülebilir gelişme, 59
 Süreklilik Denklemi, xvii, 21

T

TEmiz elektrik enerjisi, 247
 Temiz enerji kaynağı, 54
 TErmodinamiğin birinci kanunu, vii, xiii, 5, 7, 9,
 28, 65, 69
 Termodinamiğin ikinci kanunu, 2, 66
 Termometre, 3
 TErs Carnot çevrimi, 70, 71
 Tersinir Isı Makinesi, xviii, 69
 Toryum, 169, 181, 198
 TÜkenmez enerji kaynakları, 52

V

Verim, vii, xiii, 53, 75, 76, 79, 80, 84, 85, 88, 89,
 90, 92, 98, 100, 102, 123, 127, 135, 144, 146,
 150, 153, 157, 158, 186, 196, 226, 228, 244,
 264, 277

Y

Yakıt, 52, 58, 89, 92, 93, 98, 99, 100, 102, 108,
 111, 128, 131, 140, 154, 156, 183, 184, 186,
 194, 196, 197, 204, 212, 217, 233, 235, 283,
 284, 285, 286, 287, 288
 Yakıt Isıl Verimi, 98
 Yakıt pili, 286, 287
 Yenilenebilir enerji kaynakları, 52, 108, 205
 Yenilenebilir enerji santralleri, vii, xiii
 Yeşil ekonomi, 55
 Yeşil enerji, 55
 Yeşil teknoloji, 287



