

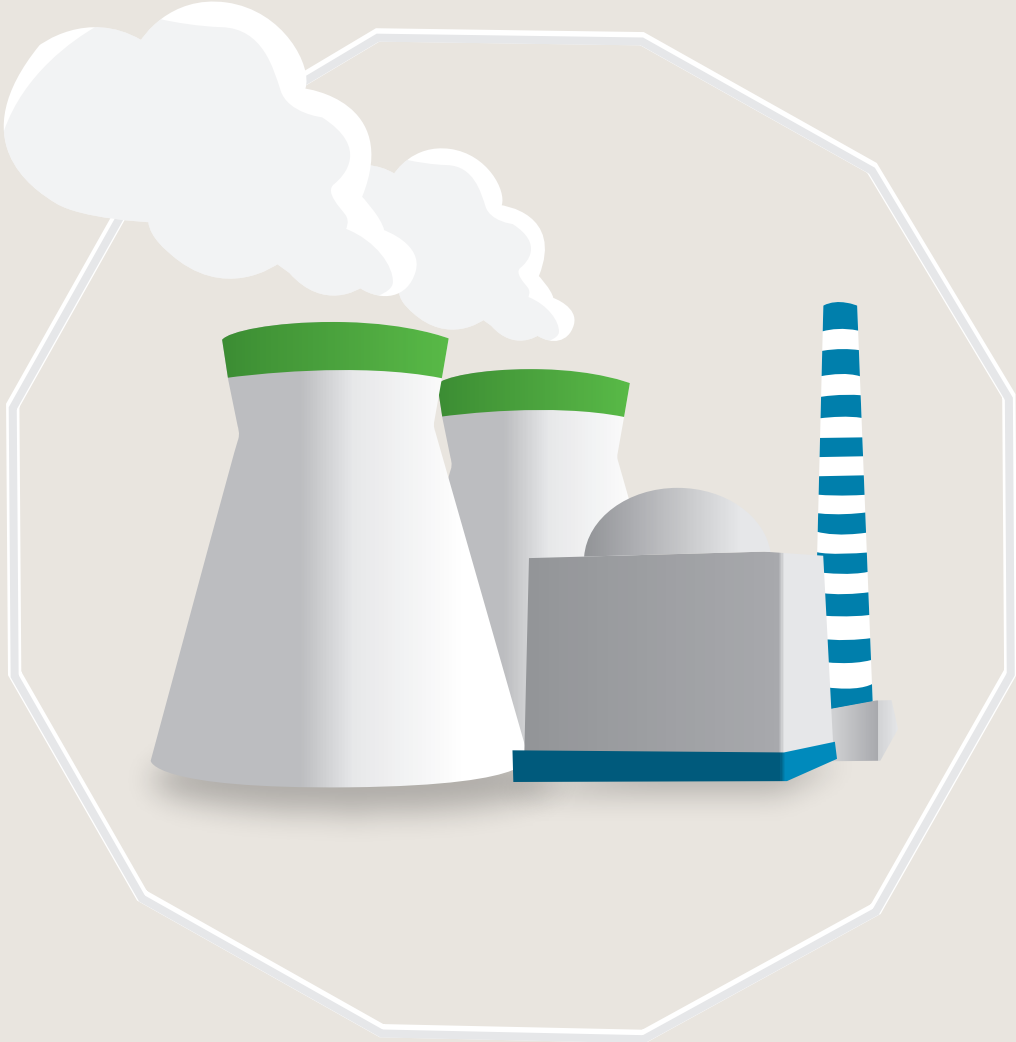
NÜKLEER ENERJİ ve SİNOP RAPORU



T.C. KUZHEY ANADOLU KALKINMA AJANSI
NORTH ANATOLIAN DEVELOPMENT AGENCY

Bölgenin Pusulası, Özgün Fikirlerin Referans Noktası

NÜKLEER ENERJİ ve SİNOP RAPORU



T.C. KUZAY ANADOLU KALKINMA AJANSI
NORTH ANATOLIAN DEVELOPMENT AGENCY

Bölgenin Pusulası, Özgün Fikirlerin Referans Noktası

Bu belge, Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı tarafından bastırılmıştır.

Belge No : 2015-RP-5/95
Revizyon No : -
Revizyon Tarih : -
ISBN : 978-605-9635-13-4

1. Basım, Haziran 2016
Editör(ler) : -

Basım Yeri : Salmat Basım Yay. Ambalaj San. Tic. Ltd. ŞTİ
Büyük Sanayi 1. Cadde 95/1
İskitler / Altındağ / ANKARA
www.salmat.com.tr

Matbaa Sertifika No : 26062

Bu belgenin her türlü yayın hakkı Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı'na aittir.

Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı'nın izni olmadan, eğitim ve tanıtım amaçlı da olsa hiçbir şekilde bu belgenin tümü veya bir kısmı yayınlanamaz ve çoğaltılamaz.

T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı
Cebrail Mah. Saray Sk. No: 1 37200 / KASTAMONU
Tel.: 0 (366) 212 58 52 Faks : 0 (366) 212 58 55
E-posta: bilgi@kuzka.gov.tr
www.kuzka.gov.tr

NÜKLEER ENERJİ ve SİNOP RAPORU

Hazırlayan
Osman UCAEL
Uzman

OCAK 2015

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ii
GRAFİKLER	iii
HARİTALAR	iii
TABLolar	iv
KISALTMALAR	v
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ	4
2.1. DÜNYADA ENERJİ	5
2.2. TÜRKİYE'DE ENERJİ	7
2.3. DÜNYA ENERJİ SENARYOLARI	8
3. NÜKLEER ENERJİ	12
3.1. NÜKLEER TEKNOLOJİ DİĞER KULLANIM ALANLARI	13
3.2. NÜKLEER ENERJİNİN DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TARİHÇESİ	13
3.3. NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ	15
3.3.1. NÜKLEER REAKTÖR TEKNOLOJİSİ VE TİPLERİ	16
3.4. DÜNYADA NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ	18
3.5. NÜKLEER YAKIT ÇEVİRİMİ	24
4. ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	28
4.1. ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN DOĞAYA ETKİSİ	29
4.1.1. SERA GAZI SALINIMI (GHG EMISSIONS)	29
4.1.2. ALAN KULLANIMI	31
4.1.3. SU KULLANIMI	32
4.1.4. EKOSİSTEM VE BİYOÇEŞİTLİLİK ÜZERİNE ETKİLER	33
4.1.5. KAZALAR VE RİSKLER	34
4.2. NÜKLEER SANTRALLERİN DİĞER ETKİLERİ	37
5. ENERJİ EKONOMİSİ	40
5.1. ENERJİ EKONOMİSİ	40
5.2. SEVİYELENDİRİLMİŞ ENERJİ MALİYETLERİ (SEM)	42
5.3. NÜKLEER TESİS MALİYETLERİ	43
5.4. İŞ YARATMA KAPASİTESİ	44
5.5. NÜKLEER TESİS İNŞAATINDA KULLANILAN MALZEME-EKİPMANLAR	46
5.6. NÜKLEER SANTRAL İŞLETİLMESİNİN EKONOMİK FAYDALARI	47
5.7. DIABLO CANYON NGS'NİN SAĞLADIĞI EKONOMİK FAYDALAR	49
6. SİNOP VE NÜKLEER	56
6.1. SİNOP GENEL TANITIM	57
6.2. SİNOP NÜKLEER SANTRALI	58
6.3. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ KÜMELENMESİ	60
6.3.1. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ KÜMELENME YOL HARİTASI	61
6.3.2. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ İHTİSAS ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ	61
6.3.3. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ EĞİTİM AKADEMİSİ	64
6.3.4. ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA YÜKSEK ENSTİTÜSÜ	66
6.3.5. NÜKLEER TEKNOLOJİ YERLİLEŞTİRMESİ	70
6.3.6. SİNOP ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA MERKEZİ VE MUHTEMEL BİRİMLER	73
7. SONUÇ	78
KAYNAKÇA	80

GRAFİKLER

Grafik 1: Dünya Toplam Birincil Enerji Üretimi (1973-2012)	5
Grafik 2: Yerli Üretilen Enerji Kaynaklarının Türlerine Göre Dağılımı, (%).....	7
Grafik 3: Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığı 2001-2012 (%)	8
Grafik 4: Mevcut Nükleer Reaktörlerin Yaşı ve Sayısı, 31 Aralık 2013	20
Grafik 5: Yapımı Tamamlanan Nükleer Reaktörlerin İnşaat Süresinin Medyanı (ay), 31 Aralık 2013.....	23
Grafik 6: Araştırma Yapan Kuruma göre Sera Gazı Salınım Miktarları, (CO ₂ eq ton/GWh).....	30
Grafik 7: Toplam Sermaye Yatırım Maliyetinin ve Gecelik Maliyetin Hesaplanması	40
Grafik 8: AP1000 (2 ünite/2,236 MWe) Reaktörünün EIA Tahmini Gecelik Maliyet Kısımları.....	43
Grafik 9: Bir Reaktör İnşaatında Doğrudan İstihdam Edilenlerin Yıllara Göre Dağılımı (adam/yıl)	45
Grafik 10: Sinop Nükleer Santrali İnşaatında Görev Alacak Çalışan Sayıları (tahmini)	59
Grafik 11: OSB'lerin Bölgelere Göre Dağılımı (%), 2014	62

HARİTALAR

Harita 1: Diablo Canyon Nükleer Güç Santrali	49
Harita 2: Türkiye'de Kurulacak Olan ve Yakın Çevrede Bulunan Nükleer Santraller.....	57
Harita 3: ABD Enerji Birimi'ne (DoE) Bağlı Bulunan Ulusal Laboratuvarlar, 2014.....	76

TABLÖLAR

Tablo 1: Tarihsel Dönemlere Göre Kişi Başına Günlük Enerji Tüketim Miktarı (Bin kCal).....	1
Tablo 2: Dünyanın En Büyük Fosil Yakıt Üreticileri ve Dünya Üretimindeki Payları, 2013	5
Tablo 3: Yenilenebilir Elektrik Gücü Küresel Sıralaması, GW, 2013	6
Tablo 4: Elektriğe Erişim ve Nüfusla İlgili Bazı Oranlar	7
Tablo 5: Birincil Enerji Arzı Kaynaklarının Payları, 2050.....	9
Tablo 6: Ticarileşmiş Nükleer Reaktör TipleriKaynak: (The IEE, 2005)*, (IAEA, 2014)**	16
Tablo 7: 4. Nesil Reaktör Sistemleri.....	17
Tablo 8: Dünyadaki Nükleer Reaktörlerin Durumu, 31 Aralık 2013.....	19
Tablo 9: Fukushima Nükleer Santral Kazasından Sonra Kapatılan Reaktörler, 31 Aralık 2013.....	20
Tablo 10: Süresiz Olarak Kapatılan Nükleer Reaktörler, 31 Aralık 2013.....	21
Tablo 11: ABD'de İşletilen Reaktörlerin Lisans Durumları, 31 Aralık 2013	21
Tablo 12: Hizmetten Çıkarılan veya Çıkarılmakta Olan Nükleer Reaktörler, 31 Aralık 2013	22
Tablo 13: İnşa Edilmesi Planlanan Nükleer Reaktörler, 31 Aralık 2013	23
Tablo 14: Geçmişte NGS'ne Sahip Olup; Mevcutta NGS Sahibi Olmayan Ülkeler, 31 Aralık 2013	24
Tablo 15: Elektrik Üretim Teknolojilerinin Değerlendirilmesi	28
Tablo 16: Elektrik Üretim Teknolojilerine göre Yaşam Döngüsü Sera Gazları Salınım Miktarı	29
Tablo 17: Elektrik Üretim Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Sera Gazı Salınımı Analizi (LCA), Japonya örneği.....	31
Tablo 18: Elektrik Üretim Teknolojilerine Göre Su Tüketimi ve Kullanımı Miktarları (gal/MWh)	33
Tablo 19: Çeşitli Enerji Üretim Teknolojilerinin Taşıdığı Riskler	35
Tablo 20: Enerji Üretim Teknolojileri Kaynaklı Ölüm Oranları ve Sayıları	36
Tablo 21: Nükleer Reaktör Çekirdeğinin Erime Olasılığı	36
Tablo 22: Elektrik Üretim Teknolojisine Göre Maliyetler, 2012.....	41
Tablo 23: Nükleer Güç Santrallerinin Ülkeler Bazında Kurulum Maliyetleri	41
Tablo 24: OECD Ülkelerinin Elektrik Üretim Teknolojileri Verilerinin Medyanı	42
Tablo 25: Çeşitli Kaynaklara Göre Nükleer Enerjinin Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetleri	43
Tablo 26: ABWR Tipindeki Ortalama Bir Reaktörün Yatırım Maliyetleri (Capital Cost) Kırılımları	44
Tablo 27: Enerji Teknolojilerine Göre Doğrudan Çalışan Yaratma Kapasitesi Çarpanı	45
Tablo 28: 1.200 - 1500 MWe Kapasite Sahip Bir Nükleer Ünitenin Bazı Emtia-Ekipman Gereksinimleri.....	46
Tablo 29: ABD özelinde 1000 MW Nükleer Santralin Mekânsal Ekonomi Üzerindeki Çarpan Etkisi.....	48
Tablo 30: ABD özelinde 1000 MW Nükleer Santralin Mekânsal Ekonomi Üzerine Etkisi.....	48
Tablo 31: DCNGS Çalışanlarının İkamet Ettikleri Yerler.....	50
Tablo 32: DCNGS'nin Yerel, Eyalet ve ABD'ye Sağladığı Ekonomik Faydalar (\$), 2011	51
Tablo 33: DCNGS'nin Yerel Ekonomik Etkileri (San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgeleri)	52
Tablo 34: DCNGS'nin San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgelerinde Yaptığı Harcamalar (\$), 2011	53
Tablo 35: Sinop İli Genel Bilgileri, 2013.....	57
Tablo 36: Sinop NGS'nde Yapılacak Toplam Yatırımın Makine-Malzeme ve İşçilik Kırılımları (tahmini)	59
Tablo 37: Yeni Yapılan Nükleer Güç Santrallerinde Potansiyel Yerleşirme İmkânları	63
Tablo 38: ASME Tarafından Nükleer Tesisler için Verilen Sertifikalar.....	64
Tablo 39: İnşaat Faaliyetlerinin Tavan Yaptığı Durumda Mesleki Çalışanlar (Craft Labour) (tahmini).....	65
Tablo 40: İşletim Aşamasında Tek Reaktörlü Bir Santralin Faaliyetleri ve Personel Sayıları	65
Tablo 41: OECD Ülkeleri Enerji Ar-Ge Bütçeleri, 2009, (Milyon \$), (2013 fiyatları ve döviz kuru).....	67
Tablo 42: Ülkelerin Toplam İhracatları ve İleri Teknoloji İhracatları, 2012 (2005 sabit milyon \$)	68
Tablo 43: Kamu Kaynaklı Bazı Araştırma Tesisleri ve Özellikleri.....	69
Tablo 44: Güney Kore Nükleer Enerji Ulusal Altyapısı.....	72
Tablo 45: Sinop Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi'nde Kurulması Muhtemel Olan Enstitüler	73

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri (The United States of America – USA)
BAE	Birleşik Arap Emirlikleri (United Arab Emirates – UAE)
BWR	Kaynar Sulu Reaktör (Boiling Water Reactor)
CCS	Karbon yakalama ve depolama (carbon capture and storage)
CSP	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (concentrated solar power)
gal	galon (gallon)
GW(e)	Gigawatt (elektrik) (gigawatt electrical) → T: Tera, M: Mega, K: Kilo (t): (Isıl)
kCal	Kilokalori (kilocalories)
kWh	Kilowatt /saat (kilowatt/hour) → T: Tera, M: Mega, K: Kilo
MTPE	Milyon ton petrol eşdeğeri (million of tonnes of oil equivalent – MTOE)
NGS	Nükleer Güç Santrali / Santralleri
OTEC	Okyanus ısı enerjisi dönüşümü (ocean thermal energy conversion)
ppm	Milyonda bulunan parça sayısı (parts per million)
PV	Fotovoltaik (photovoltaics)
PWR	Basınçlı Su Reaktörü (Pressurized Water Reactor)
qBTU	kuadrilyon İngiliz Isı Birimi, (quadrillion British Thermal Unit) → m: Milyon
SEM	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized cost of energy – LCOE)
U	Uranyum (Uranium)
WACC	Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (weighted average cost of capital)
WEC	Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council)
WNA	Dünya Nükleer Birliği (World Nuclear Association)

1. GİRİŞ

İnsan eliyle yapılan tüm canlılığı sağlayan en önemli etmen şüphesiz ki enerjidir. Dünya yaklaşık olarak 4,5 milyar yaşındadır (Allegre, Manhès, & Göpel, 1995) (US Geological Survey, 2007). Modern insana ait keşfedilmiş en eski fosilin yaklaşık 200.000 yaşında olduğu düşünüldüğünde, modern insanın dünya sahnesine çıkışı oldukça yenidir (O'neil, 2013). Ancak insanoğlu yetenekleri ve zekâsıyla iklimin değişimi pahasına da olsa tüm yeryüzünü etkilemeyi, kısmen de olsa kontrol etmeyi başarabilmiş; diğer canlı türleri üzerinde hâkimiyet kurabilmiştir. İnsanoğlunun nüfusu son iki bin yıl içerisinde 300 milyondan 7 milyara çıkarak 20 kattan fazla artmış olup; yalnızca 1950 sonrası doğup şu an yaşayan 4,5 milyar insan olduğu tahmin edilmektedir (United Nations, 1999). 1960-1970 yılları arasında dünya yıllık nüfus artışı oranı %2 olarak insanlık tarihinin muhtemel rekorunu kırdıktan sonra söz konusu oran azalmaya başlamış, sonraki 1970 – 1980 dönemi için %1,8 (Lucas, 2003) ve son olarak da 2013 yılında %1,16 olmuştur (Lucas, 2003) (The World Bank, 2013). Dünya nüfus artış hızının azalmasına rağmen dünya nüfusunun artacağı ve 2050 yılında 9,5 milyar civarında olacağı tahmin edilmektedir (United Nations, 2014).

Diğer tüm şartlar veri iken sadece dünya nüfusunun artacak olması bile yaşadığımız çevre üzerindeki baskıyı artıracığı kesindir. Bunun yanında kişi başı enerji tüketiminin kilokalori (kCal) bazında tarihsel gelişimine bakıldığında ilk insanlardan günümüz insanına kadar sürekli artış olduğu açıktır. İlk insanlar sadece gıda gereksinimleri için enerji tüketirken, ateşin keşfiyle ısınma ve yiyecek pişirme faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla enerji ihtiyacı artmıştır. Daha sonraki süreçte hâkim olunan enerji hayvanların evcilleştirilmesi ve tarımda kullanılması, sanayi devrimi, otomobilin icadı, elektriğin keşfi ve yaygınlaşması süreçlerinden geçerek insanoğlu bugünkü yüksek enerji tüketimi seviyesine ulaşmıştır. Tablo 1 ile tarihsel dönemlere göre kişi başına günlük enerji tüketim miktarı gösterilmiştir. Buna göre 15. yüzyılda 26.000 kCal olan kişi başı günlük enerji tüketimi 1970 yılında 230.000 kCal olmuş; kişi başına günlük enerji tüketimi yaklaşık 9 kat artmıştır ve artmaya devam etmektedir.¹ Toplayıcılık yapılan çağlarda günlük enerji ihtiyacını doğuran yegâne etmen gıda iken, avcılık çağında barınma ve ticaret eklenmiş, enerji ihtiyacına tarım, endüstri ve ulaşım faaliyetleri de eklenerek günümüzdeki halini almıştır.

Tablo 1: Tarihsel Dönemlere Göre Kişi Başına Günlük Enerji Tüketim Miktarı (Bin kCal)

	Teknoloji Çağı	Endüstriyel Çağ	Gelişmiş Tarım Çağı	İlkel Tarım Çağı	Avcılık Çağı	İlkel Çağ
Zaman		1875	1400	MÖ 5000	100.000	1.000.000
Yer	ABD	İngiltere	Avrupa	-	Avrupa	Doğu Afrika
Ulaşım	63	14	1	-	-	-
Tarım ve Endüstri	91	24	7	4	-	-
Barınma ve Ticaret	66	32	12	4	2	-
Gıda	10	7	6	4	3	2
TOPLAM	230	77	26	12	5	2

Kaynak: (Cook, 1971)

Enerji ihtiyacının artması insanoğlunu hem mevcut kaynakları etkin kullanmaya hem de yeni enerji kaynaklarını keşfetmeye zorlamıştır. İnsanoğlunun geçmişten günümüze kadar kullandığı enerji kaynaklarına göz atıldığında kaynak çeşidinin arttığı görülmektedir. İnsanoğlu, 19. yüzyılın ortalarına kadar gıda dışındaki enerji ihtiyacını çoğunlukla odun (yakacak) ve hayvanlardan (ulaşım, tarım vb.) sağlarken, endüstri ve ulaşım sektörlerinde buhar makinesinin kullanılmasıyla kömür de yoğun olarak kullanılmaya

¹ 1980 – 2010 yılları arasında dünyada kişi başı enerji tüketimi 63.630 MMBtu'dan 73.991 MMBtu'ya çıkarak %16 oranında artmıştır. U.S. EIA International Total Energy Stats, <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm#> Erişim Tarihi: 18.11.2014

başlamıştır. İçten yanmalı motorların icadı petrolün yeni kaynaklar arasında yer almasına neden olmuş; 20. ve 21. yüzyıllarda ise elektriğin ve elektrikle çalışan makinelerin yaygınlaşması doğalgaz, nükleer, rüzgâr, güneş gibi yeni enerji kaynaklarının kullanılması sonucunu doğurmuştur.² Diğer taraftan, enerji darboğazları ve çevre ile ilgili artan hassasiyetler, özellikle verim ile ilgili çalışmalarda önemli yol kat edilmesini sağlamıştır. Örneğin 1972’de konutlarda kullanılan bir buzdolabının yıllık elektrik tüketimi 1.800 kWh civarında iken günümüzde söz konusu tüketim 500 kWh’nin altına düşmüştür.³

² U.S. EIA, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=11951> Erişim Tarihi: 10.09.2014

³ ASE, https://www.ase.org/sites/ase.org/files/resources/Media%20browser/ee_commission_history_report_2-1-13.pdf Erişim Tarihi: 10.09.2014



Enerji

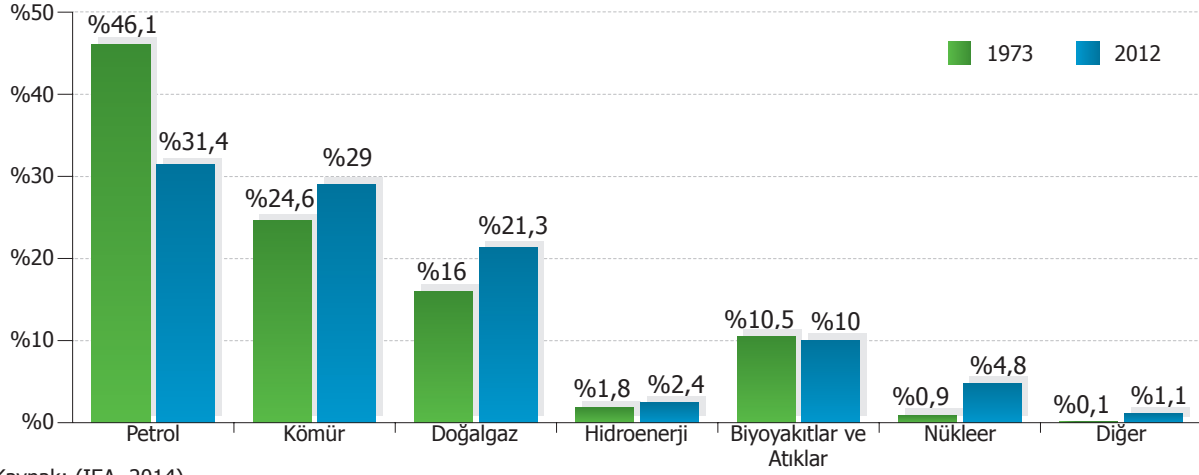
2. ENERJİ

Enerji, günümüzde siyasi, sosyal ve ekonomik sebepleri ve sonuçları nedeniyle sürekli gündemde kalan konuların başında gelmektedir. Enerji ile ilgili tartışmalar, çalışmalar ve araştırmalar insanoğlu var olduğu sürece önemini şüphesiz ki devam ettirecektir. Tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve teknolojik gelişmelerin baş döndürücü hızda olması insanoğlunun hâlihazırda kullanılan ve gelecekte kullanılacak olan ürün ve hizmetlerin planlama sürecinden hizmetten çıkarma sürecine kadar tüm süreçlerde enerjiye ihtiyaç duyacağı açıktır.

2.1. DÜNYADA ENERJİ

Her ne kadar enerji ihtiyacı denildiği zaman çoğunlukla elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılan kaynaklar akla gelse de aslında kavramsal olarak daha fazlasını kapsamaktadır. Sanayide, ulaşımda, konutlarda, tarımda vb. alanlarda elektrik elde etme dışında ısıtma, pişirme, endüstriyel, ulaşım gibi alanlarda da ihtiyaç duyulmaktadır. 1973'te 6.106 milyon ton petrol eşdeğeri (MTPE) olan yıllık dünya toplam birincil enerji üretimi 2,2 kat artarak 2012 yılında 13.371 MTPE'ye çıkmıştır (IEA, 2014). Bu süreçte söz konusu üretim miktarı sadece artmakla kalmamış, aynı zamanda bu üretimin kaynakları da hem tür açısından hem de enerji üretimindeki payı açısından değişime uğramıştır. Grafik 1 ile gösterildiği üzere, 1973 yılında toplam enerji üretiminde %46,10 ile en yüksek paya sahip olan petrol, 2012 yılında %31,40 payla yine en yüksek paya sahip enerji üretim kaynağı olmakla birlikte ciddi pay kaybederken %29,00 paya sahip olan kömür farkı kapatmak üzeredir. Özellikle payını 5 kattan fazla arttıran nükleer enerji ve 10 kat arttıran diğer enerji kaynaklarının (güneş, rüzgâr, jeotermal vd.) başarısı dikkat çekicidir. Fosil enerji kaynaklarının toplam enerji üretimi içerisindeki payı düşmesine rağmen hala %90'ın üzerindedir.

Grafik 1: Dünya Toplam Birincil Enerji Üretimi (1973-2012)



Kaynak: (IEA, 2014)

Dünyanın en büyük 5 fosil yakıt üretici ülkesi, türleri ve bu ülkelerin dünya üretimindeki payları Tablo 2 ile gösterilmiştir. Dünyanın en büyük petrol üreticisi dünyada %13,10 pay ile Suudi Arabistan olurken, Rusya, ABD, Çin ve Kanada diğer büyük üreticiler olmuştur. Kömür üretiminde ise dünya genelinde %45,50 paya sahip ve açık ara lider olan Çin'i sırasıyla ABD, Hindistan, Endonezya ve Avustralya; %19,8 payla dünyanın en büyük doğalgaz üreticisi sahip ABD'yi Rusya, Katar, İran ve Kanada takip etmektedir. Dünyadaki birincil enerji üretiminin %80'den fazlasını (Grafik 1 – biyolojik olanlar hariç) oluşturan söz konusu 3 fosil kaynağın üretiminde de ilk 5'te yer alan tek ülke ABD, herhangi iki fosil kaynağı üretiminde ilk 5'te yer alan ülkeler ise Çin, Rusya ve Kanada olmuştur.

Tablo 2: Dünyanın En Büyük Fosil Yakıt Üreticileri ve Dünya Üretimindeki Payları, 2013

Petrol	Dünya (%)	Kömür	Dünya (%)	Doğalgaz	Dünya(%)
S. Arabistan	13,10	Çin	45,50	ABD	19,8
Rusya	12,80	ABD	11,60	Rusya	19,3
ABD	10,70	Hindistan	7,80	Katar	4,6
Çin	5,10	Endonezya	6,30	İran	4,6
Kanada	4,70	Avustralya	5,90	Kanada	4,5

Kaynak: (IEA, 2014)

2012 verilerine göre dünyanın en büyük 5 net ithalatçı ülkesi ise sırasıyla Çin (467,53 MTPE), Japonya (374,88 MTPE), ABD (374,88 MTPE), Güney Kore (263,44 MTPE) ve Hindistan (243,22 MTPE) olmuştur. ABD'nin ve Çin'in dünyanın en büyük fosil yakıt üreticileri olmasına rağmen aynı zamanda en büyük net

ithalatçıları oluşu enerji tüketimlerinin çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 3 ile yenilenebilir enerji kaynakları toplam kurulu gücünün en fazla olduğu (hidroelektrik hariç) 5 ülke verilmiştir. Çin 118 GWe (gigawatt) kurulu güç ile birinci sıradayken, Çin'i 93 GWe ile ABD takip etmektedir. Diğer 3 üretici ise sırasıyla Almanya (78 GWe), İspanya (32 GWe) ve İtalya (31 GWe) olmuştur. Söz konusu 5 ülkenin kapasiteleri toplamının dünya yenilenebilir elektrik gücü kapasitesine oranı %22,56 olmuş, kurulu hidroelektrik kapasitesinde ise Çin dünya hidroelektrik kapasitesinin %26,00'üne sahiptir. 5 ülke özelinde biyoenerjide ve jeotermalde ABD, hidroelektrikte ve rüzgârda Çin, güneş enerjisinde Almanya (PV) ve İspanya (CSP) en fazla kurulu güce sahip olan ülkelerdir. Okyanus enerjisi ise dalga, gel-git, okyanus termal enerji dönüşümü (OTEC) teknolojilerinin elektrik üretiminde kullanılmasını ifade etmektedir.⁴ Okyanus enerjisinde hâlihazırda en fazla kurulu güce sahip olan ülke Güney Kore (255 MWe) ve Kanada (20 MWe) olmuştur (OES, 2014). Kişi başına yenilenebilir enerji kurulu gücü söz konusu 5 ülke içinde Almanya 960 W ile en fazla, 90 W ile Çin en az kapasiteye sahip iken, dünya ortalaması 80 W olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3: Yenilenebilir Elektrik Gücü Küresel Sıralaması, GW, 2013

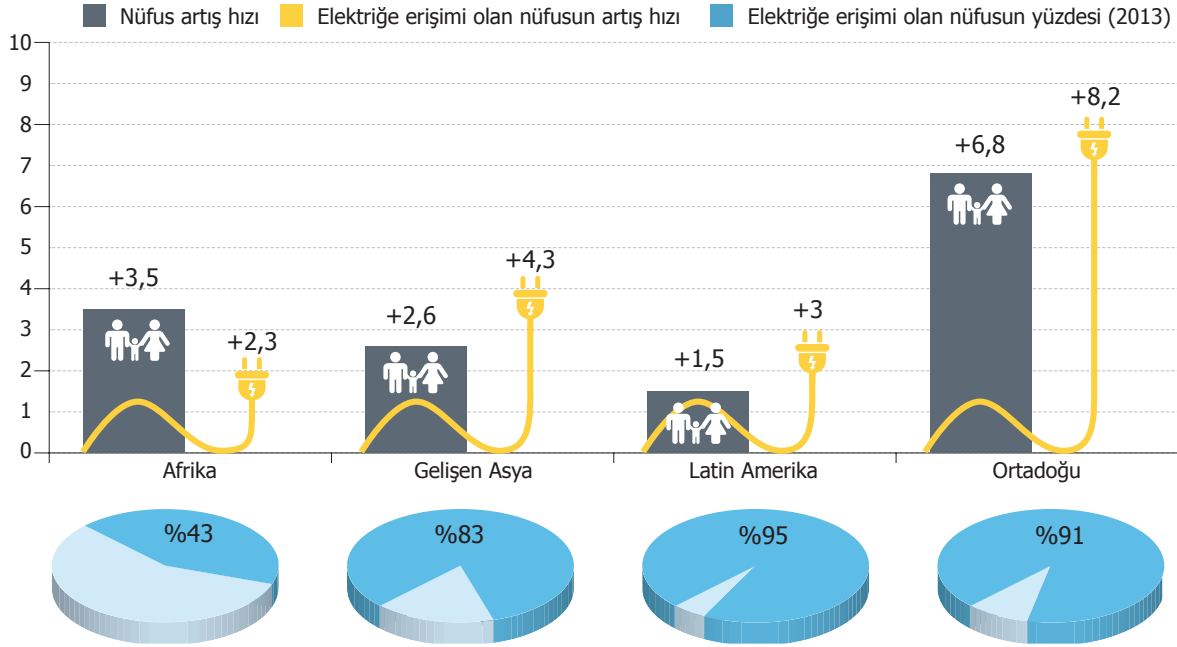
Teknoloji Türü	Dünya	Çin	ABD	Almanya	İspanya	İtalya
Hidroelektrik	1.000,00	260,00	78,00	5,60	17,10	18,30
Rüzgâr	318,00	91,00	61,00	34,00	23,00	8,60
Güneş (PV)	139,00	19,90	12,10	36,00	5,60	17,60
Biyoenerji	88,00	6,20	15,80	8,10	1,00	4,00
Jeotermal	12,00	~0	3,40	~0	0	0,90
Güneş (CSP)	3,40	~0	0,90	~0	2,30	~0
Okyanus Enerjisi	0,50	~0	~0	0	~0	0
Toplam (hidro. hariç)	1.560,00	118,00	93,00	78,00	32,00	31,00
Watt/kişi (hidro. hariç)	80,00	90,00	300,00	960,00	690,00	510,00

Kaynak: (REN21, 2014)

2012 yılı verilerine göre, tüm dünyada tüketilen 8.979 MTPE toplam nihai tüketimin %40,70'i petrol, %18,10'i elektrik, %12,40'ı biyoyakıt ve atıklar, %10,10'u kömür ve türevleri %3,5'i ise diğer (jeotermal, güneş, rüzgâr vd.) kaynaklardan karşılanmıştır. Tüketimin sektöre ve enerji kaynaklarına göre dağılımına bakıldığında kömür %80,00 ile sanayide, petrol %63,70 ile ulaşım – taşımacılıkta ve doğalgaz %43,40 ile diğer (tarım, ticari ve kamu hizmetleri, konut vd.) alanlarda tüketilmiştir. Dünyadaki toplam elektrik tüketiminin ise %56,10'u diğer (tarım, ticari ve kamu hizmetleri, konut vd. mekanlarda), %42,30'u sanayide ve %1,60'ı ulaşım-taşımacılık sektörlerinde gerçekleşmiştir.

Enerji tüketiminin önemli bileşenlerinden olan elektrik tüketimi ile ilgili bazı önemli istatistikler Tablo 4 ile verilmiştir. Bölgeler özelinde incelendiğinde Afrika'nın elektriğe en az erişebilen (%43) bölge olduğu ve gelişmekte olan Asya ülkelerinin (%83) Afrika'yı takip ettiği görülmektedir. Mevcut durumda Afrika'nın elektriğe erişebilirliğinin daha da kötüye gideceği nüfus artış hızının elektriğe erişimi olan nüfus artış hızından daha fazla olması sebebiyle açıkça görülmektedir. Gelişen Asya yaklaşık net %1,7; Latin Amerika net %1,5 ve Orta Doğu net %1,4 elektriğe erişimde artış hızına sahiptir ve yakın gelecekte nüfusun tamamına yakınının elektriğe erişebileceği mevcut şartlar altında öngörülebilir niteliktedir. Diğer taraftan elektriğe erişimin artışı elektrik arzı üzerinde baskıya neden olmaktadır.

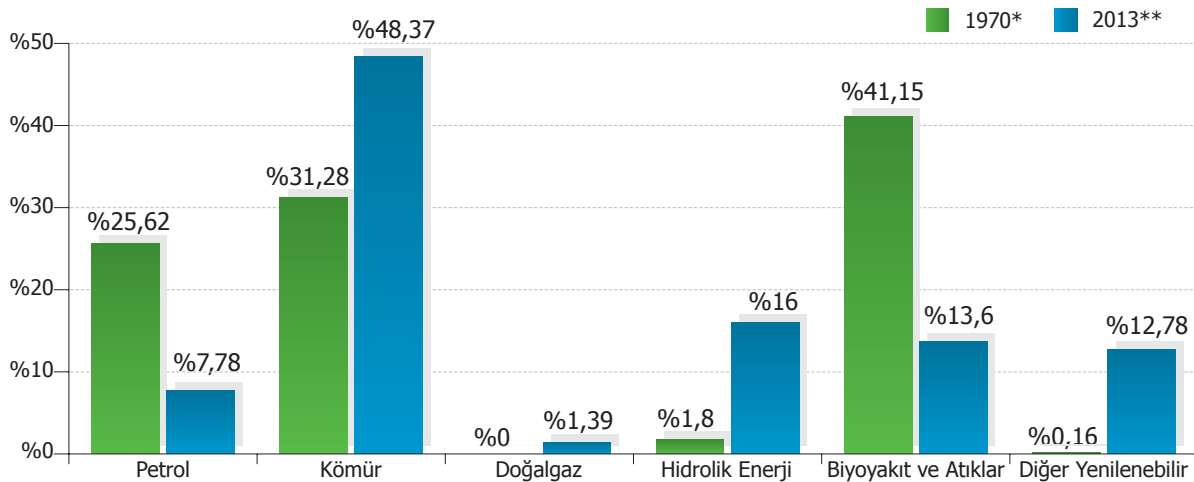
⁴ Detaylı bilgi için: <http://www.energy.ca.gov/oceanenergy/> Erişim Tarihi: 09.12.2014

Tablo 4: Elektrik Erişim ve Nüfusla İlgili Bazı Oranlar

Kaynak: Şekil (REN21, 2014) çalışmasının 97. sayfasından alınmış ve çevirisi yapılmıştır.

2.2. TÜRKİYE'DE ENERJİ

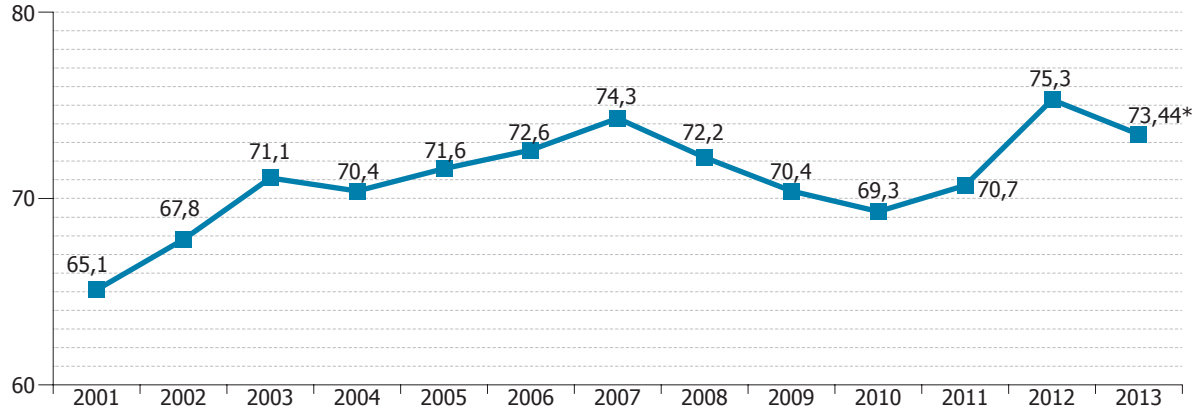
Türkiye nüfusu 1970 yılında 35,3 milyon (DEKTMK, 2003) iken, 2013 yılında 2,17 kat artarak 76,7 milyona (TÜİK, 2014) çıkmış, ayrıca söz konusu süre boyunca birincil enerji arzı 6,37 kat artarak 18,88 MTPE değerinden (DEKTMK, 2003) 120,29 MTPE değerine (T.C. ETKB, 2014a) çıkmıştır. 1970 – 2013 arasında yerli enerji üretimi de 14,52 MTPE'den 31,94 MTPE'ne çıkarak 2,20 oranda artmış ve yeni enerji kaynakları (doğalgaz, jeotermal, biyoyakıt, güneş ve rüzgâr) üretime katılmıştır. Grafik 2 ile Türkiye'de üretilen kaynakların 1970 ve 2013 yıllarında kaynak türüne göre dağılımı verilmiştir. Yerli üretimde petrolün, biyoyakıt ve bitki/hayvan a(r)tıklarının payı düşmüştür. Kömürün, hidrolik enerjinin ve özellikle diğer yenilenebilir kaynakların (jeo/ısı, jeotermal, güneş ve rüzgâr) payları önemli ölçüde artmıştır ve dünya ortalamasına kıyasla Türkiye'de yenilenebilir enerjinin toplam birincil enerji üretimindeki payı daha yüksektir. Bu durum yenilenebilir enerji kapasite artışlarında da kendini göstermektedir ve 2012 yılı verilerine göre jeotermal, hidroelektrik ve güneş enerjili su ısıtma sistemleri kapasite artışında Türkiye dünyada 2. olmuştur (REN21, 2014).

Grafik 2: Yerli Üretilen Enerji Kaynaklarının Türlerine Göre Dağılımı, (%)

Kaynak: (DEKTMK, 2003)*, (T.C. ETKB, 2014a)**

Tüm bu gelişmelere rağmen Türkiye'nin birincil enerji tüketimi birincil enerji üretiminden daha hızlı artmış olması nedeniyle birincil enerji talebi çoğunlukla ithalatla karşılanmakta ve bu sebeple Türkiye mevcut durumda enerji kaynakları bakımından büyük oranda dışa bağımlı olmaktadır. Grafik 3 ile gösterildiği üzere birincil enerji tüketiminin yerli üretimle karşılanma oranı 1990 yılında %48,10; 2011 yılında ise %28,20'ye gerilemiştir. Söz konusu süre içerisinde yerli üretim miktarı %25,9 artarken; toplam enerji talebi %116,4 artmış ve yerli kaynaklar yetersiz kalmıştır. Bu gelişmeler sonucunda Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı dalgalanmalar olmakla birlikte 2012'de tarihi rekor kırarak %75,3 seviyesine çıkmış ve aynı yıl toplam enerji ithalatı 55,92 milyar \$ olmuştur (TÜİK, 2014). Enerji ithalatı cari açık üzerinde baskı yaratan önemli ithalat kalemlerinden olup; 2013 yılında yapılan 243,39 milyar \$'lık ithalatın %28,11'ini makine ve ulaştırma araçları (SITC Rev. 3 – 7 nolu başlık) oluştururken, %22,97'sini enerji kaynakları (SITC Rev. 3 – 3 nolu başlık⁵) oluşturmuştur.

Grafik 3: Türkiye'nin Enerjide Dışa Bağımlılığı 2001-2012 (%)



Kaynak: (EuroStat, 2014), * (T.C. ETKB, 2014a) çalışmasından alınmıştır.

2.3. DÜNYA ENERJİ SENARYOLARI

Dünya enerji senaryoları ile ilgili yapılan önemli çalışmalardan olan Dünya Enerji Konseyi'nin 2050 yılı senaryolarına göre dünya enerji senaryoları ile ilgili 10 anahtar mesajı vardır (WEC, 2013b).

1. Enerji sistemlerinin karmaşık yapısı daha da artacaktır.
2. Enerji verimliliği talebin arzi geçmesini önlemede hayati öneme sahiptir.
3. Enerji karmasını 2050 yılında temelde fosil yakıtlar oluşturacaktır.
4. Bölgesel öncelikler farklıdır ve her sorunu çözen tek bir çözüm yoktur.
5. Küresel ekonominin 450 ppm (milyonda parça sayısı) hedefini caydırıcı karbon fiyatları olmaksızın yakalaması zor görünmektedir.
6. Düşük karbonlu gelecek sadece yenilenebilir enerjilere bağlı değildir. Karbon yakalama sistemleri (CCS) önemlidir ve tüketici davranışlarını değiştirmeye ihtiyaç vardır.
7. Karbon yakalama sistemleri, güneş enerjisi ve enerji depolama 2050 yılına kadar temel belirsiz konulardandır.
8. Enerjinin üç önermeli durumu (trilemma⁶) zor seçimler yapma anlamına gelmektedir.
9. Enerji piyasasını işlevli hale getirme faydayı tüm tüketicilere yaymak için yatırım ve bölgesel

⁵ 3 nolu başlığın resmi adı "madeni yağlar, yakıtlar vb. ilgili maddeler" olup; elektrik, petrol, doğalgaz, kömür verilerini içermektedir.

⁶ Enerjinin üç önermeli durumu; enerji güvenliği, enerji eşitliği ve çevresel sürdürülebilirlik arasında seçim yapmanın ve dengeyi bulmanın zorluğudur. Detaylı bilgi için: <http://www.worldenergy.org/work-programme/strategic-insight/assessment-of-energy-climate-change-policy/> Erişim Tarihi: 10.12.2014

bütünleşme gerektirir.

10. Enerji politikaları enerji ve karbon piyasalarının etkinliğini garantilemelidirler.

Dünya Enerji Konseyi (WEC) farklı varsayımlara dayanan ve öngöründe bulunan 2050 Jazz Senaryosu ve 2050 Symphony Senaryosunu açıklamıştır (WEC, 2013b). Tablo 5 ile 2050 yılında karşılaşılabilecek muhtemel olan 2 senaryo gösterilmiştir. 2012 yılında birincil enerji arzının %90'ından fazlasını fosil yakıtların 2050 Jazz Senaryosuna göre %76,70 paya sahip olacağı, 2050 Symphony Senaryosuna göre %59,40 olacağı ve böylece paylarının düşeceği tahmin edilmiştir⁷. 2012 yılı istatistikleriyle karşılaştırıldığında hidroelektrik, gazın ve biyokütlenin paylarındaki dalgalanmanın az olacağı, nükleer enerjinin kullanılan senaryoya göre artacağı ya da azalacağı, diğer yenilenebilir kaynakların (güneş, rüzgâr, jeotermal vd.) payını mutlaka arttıracığı öngörülmüştür.

Tablo 5: Birincil Enerji Arzı Kaynaklarının Payları, 2050

Enerji Kaynakları	2050 Jazz Senaryosu	2050 Symphony Senaryosu
Kömür	%25,40	%15,30
Petrol	%24,60	%20,30
Gaz (doğalgaz, kayagazı vd.)	%26,70	%23,80
Nükleer	%4,20	%11,40
Biyokütle	%11,00	%15,90
Hidroelektrik	%2,40	%4,00
Diğer Yenilenebilir	%5,80	%9,40

Kaynak: (WEC, 2013b)

BP Şirketi'nin tahminlerine göre 2012 yılında 12.582 MTPE olan birincil enerji arzının yaklaşık %40 artarak 2035 yılında 17.532 MTPE değerine çıkması, söz konusu 4.950 MTPE artışın %27,39'unun Çin, %10,45'inin ABD ve %8,29'unun Hindistan birincil enerji arzı artışı kaynaklı olması öngörülmektedir (BP, 2014). Çalışmada elektrik üretiminde petrol, kömür ve gazın paylarının düşeceği, nükleer ve hidroelektrik paylarının sabit kalacağı ve yenilenebilir enerjinin payının 3 kat artarak %13,72'ye çıkacağı tahmin edilmekle birlikte fosil yakıtların elektrik üretiminde payının yine de %60'ın üzerinde olması beklenmektedir.

ExxonMobil Şirketi'nin tahminlerine göre 2010-2040 yılları arasında enerji talebinin 526 qBTU'dan %36 artarak 717 qBTU'ya çıkacağı, fosil yakıtların toplam talebinin %77 civarında olacağı öngörülmektedir (ExxonMobil, 2014). Bahsi geçen 30 yıllık sürede elektrik talebinin yıllık %2,10 toplamda ise %87 artarak 2040 yılında elektrik üretiminde fosil yakıtların %63,28; nükleerin %19,27; hidroelektriğin %6,84 ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının %10,61 paya sahip olması beklenmektedir.

Çalışmalardan anlaşılabileceği üzere, önümüzdeki yıllarda birincil enerji arzında fosil yakıtlar liderliğini koruyacak ancak payları önemli derecede azalacaktır. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ciddi ölçülerde artacak; enerji verimliliği, karbon yakalama sistemleri, yenilenebilir enerji, kaya gazı gibi konular daha fazla tartışılacak; Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler dünya enerji gündemini meşgul edecektir. Belirtilmesi gereken diğer husus, hâlihazırda enerjisinin %55'ini ithal eden, normal seyrinde devam edilmesi durumunda 2030 yılında enerjisinin %70'ini ithal etmek durumunda kalacak olan Avrupa Birliği'nin iddialı 2050 enerji vizyonudur. Söz konusu vizyon; 2050 yılında enerjisinin tamamını yenilenebilir enerjiden karşılayan AB'dir. Teknik olarak bunun mümkün olacağı ayrıca belirtilmiştir (EREC, 2010).

⁷ 2012 yılı istatistikleri Grafik 1: Dünya Toplam Birincil Enerji Üretimi (1973-2012)'den alınmıştır.



Nükleer Enerji

3. NÜKLEER ENERJİ

Nükleer; “atom çekirdeği ile ilgili, çekirdeksel” anlamına gelen Fransızca “nucléaire” kelimesinden türetilmiş ve Türk Diline yerleşmiş sıfat niteliğinde bir sözcüktür (Türk Dil Kurumu, 2014). Nükleer enerji (atom enerjisi) temel olarak atom çekirdeğinin içindeki enerjidir. Nükleer enerji atomun parçalara ayrılması (filyon) veya iki atomun birleşmesi sonucu (füzyon) açığa çıkan ve kütlenin enerjiye dönüşümüyle sonuçlanan bir enerji biçimidir (NNR, 2014). Atomu bir arada tutan bağlar yüksek miktarda enerji içermektedir. Ünlü fizikçi Albert Einstein’ın meşhur $E=mc^2$ formülü tam olarak bu enerji ile ilgilidir. Nükleer enerjinin önemi, kamuoyunun gündemini ilk olarak meşgul ettiği; sırasıyla 6-9 Ağustos 1945’te Japonya’nın Hiroşima ve Nagazaki kentlerine atılan atom bombasından bugüne kadar ekonomik, teknolojik, sosyal, çevresel ve siyasi yönleri sebebiyle korunagelmıştır. Bu çalışmanın temelini oluşturan nükleer enerji, farklı yönleriyle aktarılmaya çalışılacaktır.

3.1. NÜKLEER TEKNOLOJİ DİĞER KULLANIM ALANLARI

Nükleer Enerji temel olarak nükleer reaktörler ve santraller yardımıyla elektrik üretimi için kullanılsa da pek çok sektörde de barışçıl amaçlarla kullanılmaktadır. Kullanım alanları (WNA, 2014):

- 1. Gıda ve Tarım:** Genetik çeşitliliği artırma, gübre kullanımını etkinleştirme gibi nükleer temelli biyomühendislik çalışmalarla tüm dünyada artan gıda güvenliği sorununu çözmeye yardımcı olur.
- 2. Zararlı Kontrolü:** Zararlı böcekler tüm dünyada ortalama %10, gelişmekte olan ülkelerde ise ortalama %30 hasat kaybına neden olmaktadır. Kimyasal ilaçlar zararlılarla mücadelede etkinliği tam olarak sağlayamamaktadırlar. Ancak yeni geliştirilen steril böcek tekniği (sterile insect technique) ile radyasyona maruz bırakılan böcekler kısırlaştırılarak kontrol altına alınabilmekte ve doğaya etkisi en aza indirgenebilmektedir. Birleşmiş Milletler bu tekniğin pek çok ülkede uygulanmasını teşvik etmektedir.
- 3. Besin Koruma:** 40'tan fazla ülkenin sağlık ve gıda güvenliği yetkili kuruluşları, et, meyve, sebze, tahıl ve baharatlar da dâhil olmak üzere 60 kadar gıda ürününün ısıtılmasını (irradiation) onaylamıştır. Diğer kimyasal ve fiziksel koruma metotlarına iyi bir alternatif oluşturmaktadır.
- 4. Su Kaynakları:** Su kaynaklarının kalitesini ve kaynağını izotop hidrolojisi teknikleriyle saptayabilmek ve sürdürülebilir kaynak yönetimini sağlamak nükleer teknoloji sayesinde mümkün olabilmektedir.
- 5. Tıp Alanında:** Radyoizotoplar tıp alanında sterilizasyon, teşhis ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Teşhiste radyofarmasötiklerin kullanımının artış hızı %10'un üzerindedir.
- 6. Desalinasyon ve Isı:** Nükleer reaktörler, deniz suyunun buharlaşmasıyla suyun tuzdan arınarak içme suyuna dönüşmesini sağlayabilmekte ve ısınan suyun konut ve seralar için gerekli olan sıcaklığın temininde kullanılabilir. Bu sistem, geçmişte Kazakistan tarafından kullanılmış, günümüzde ise Japonya ve Hindistan tarafından kullanılmaktadır.
- 7. Taşımacılık:** Hidrojen yakıt pilleri için hidrojen üretimi, nükleer güçle çalışan gemilere enerji sağlanması işlerinde kullanılmaktadır.
- 8. Endüstriyel Kullanım:** Nükleer teknoloji, endüstriyel ve çevresel durum izleyici, maddeleri tarihlendirme, yoğunluk ölçme, duman detektörleri üretimi ve uzay araçları için güç kaynağı gibi birçok endüstriyel kullanım alanına sahiptir.

Nükleer teknoloji kullanım kolaylığı, güvenilirliği ve etkinliğinin yüksek olması gibi sebeplerden dolayı günümüzün vazgeçilmez teknolojileri arasında yerini almıştır, almaya da devam edecektir.

3.2. NÜKLEER ENERJİNİN DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TARİHÇESİ

İnsanlığın nükleer enerji ile ilgili devrimsel çalışmaları 20. yüzyılın başlarına dayanırken, Türkiye'nin nükleer teknolojiyle ilgili çalışmaları 1950'lerden sonra başlamıştır. Huffington Post (2012), DoE (2014), **Yamaç (2014)** çalışmalarının belirttiğine göre dünyada ve Türkiye'de nükleerin tarihsel gelişimi özetle;

1942: İtalyan fizikçi Enrico Fermi ünlü Manhattan Projesi'nin bir parçası olarak yaptığı testte Chicago Üniversitesi'nde kendi kendine devam eden ilk zincirleme nükleer reaksiyonu gözlemledi.

1945: ABD New Mexico çölünde kod adı "Trinity" olan ilk nükleer silahı test etti. 6 Ağustos'ta Hiroşima'ya 9 Ağustos'ta Nagazaki'ye atom bombası atıldı.

1951: ABD'nin Idaho Eyaleti'nde deneysel üretken reaktörde (EBR) ilk defa nükleer enerjiden elektrik enerjisi üretildi.

1955: ABD’de dünyanın ilk nükleer denizaltısı olan Nautilus inşa edildi.

1954-1956: İlk defa Rusya nükleer reaktörden ürettiği elektriği şebekeye bağladı (5 Mw). İki yıl sonra İngiltere Sellafield’da sivil kullanıma yönelik ilk ticari nükleer güç santralini (NGS) kullanıma açtı.

1957: Birleşmiş Milletler tarafından Avusturya Viyana’da Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı kuruldu.

1965: ABD tarafından uzaya ilk nükleer yakıtla çalışan uzay aracı gönderildi.

1972: Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) Nükleer Enerji Birimi’ni kurdu.

1976: Mersin (Akkuyu NGS) alan lisansı kabul edildi.

1977-1979: Akkuyu NGS ihalesi iptal edildi.

1979: ABD’de Three Miles Island NGS ikincil soğutma sistemi arızasından dolayı reaktör çekirdeği eridi ve çok miktarda radyoaktif madde atmosfere karıştı.

1983-1985: Akkuyu NGS ihalesi iptal edildi.

1986: Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) Nükleer Enerji Birimi kapatıldı.

1986: Şimdiki Ukrayna sınırlarında bulunan Çernobil NGS’nin 4 numaralı reaktörü operatör hatası yüzünden havaya uçtu. Kaza anında 31 kişi hayatını kaybetti. Tüm dünyada nükleer ile ilgili tartışmalar arttı.

1996: Japonya’da Tokyo Elektrik Şirketi (TEPCO) tarafından dünyanın ilk gelişmiş kaynar sulu reaktörü (ABWR) ticari operasyonuna başladı.

1999-2000: Akkuyu NGS ihalesi 8 ertelenmeden sonra iptal edildi.

2005: Finlandiya tarafından dünyanın ilk 3. nesil reaktörleri Fransa’dan sipariş edildi.

2007: Ulusal Nükleer Teknoloji Geliştirme Programı başladı.

2007: 5710 sayılı “Nükleer Güç Santrallerinin Kurulması ve İşletilmesi ile Enerji Satışına İlişkin Kanun” yürürlüğe girdi.

2007: Fransa’nın Flamanville 3 reaktörünün yapımına başladı. Fransa elektrik ihtiyacının %70’inden fazlası NGS’lerden karşılanmaktadır.

2008-2009: Akkuyu NGS ihalesi iptal edildi.

2010: “Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti arasında “Türkiye Cumhuriyeti’nde Akkuyu Sahası’nda Bir Nükleer Güç Santralini Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma” imzalandı.

2011: Japonya’da 11 Mart tarihinde 9,0 şiddetindeki deprem ve yarattığı tsunami Fukushima-Daiichi NGS’nde patlamaya ve sızıntıya sebep oldu. Su ve gıda kaynaklarına radyoaktif materyaller karıştı, kitlesel göçe sebep oldu.

2012: Japonya, son nükleer reaktörünü geçici de olsa kapatarak 1970’den beri ilk defa nükleer enerjiden uzak kaldı.

2013: Türkiye ve Japonya Hükümetleri arasında Sinop NGS için protokol imzalandı.

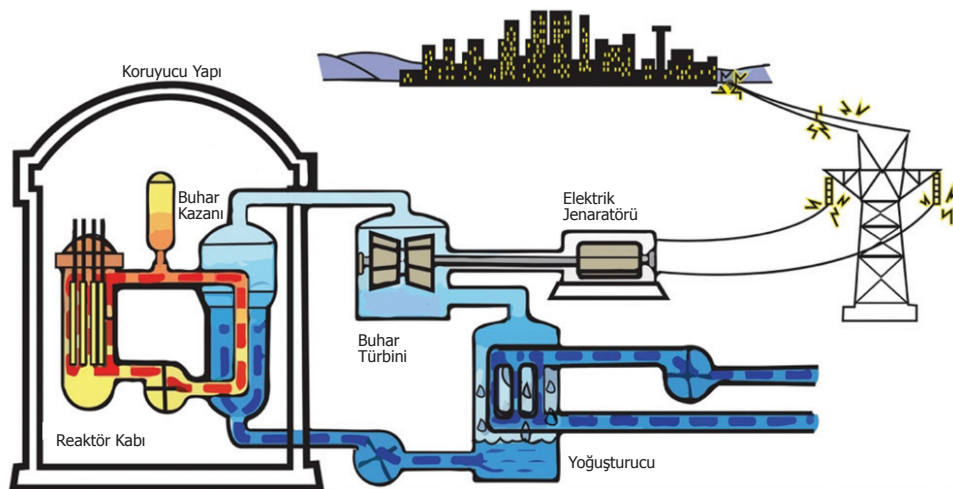
3.3. NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ

Nükleer güç santrali (NGS) az bir nükleer reaktörden oluşan esasen termik tabanlı olan temelde elektrik üretim tesisidir. NGS diğer termik santraller gibi sıcaklığı yükselen suyun basınçlı buhar üretmesi ve güç türbinlerini döndürerek elektrik üretilmesi temeline dayanmakla birlikte farklı olarak atomun parçalanması suretiyle açığa çıkan enerji ısı kaynağı olarak kullanılır ve yanma işlemi hiç gerçekleşmez (Duke Energy, 2014). Farklı tipte reaktörler olmakla birlikte ortalama bir reaktör Şekil 1 ile gösterilmiştir.

Bir nükleer reaktörün temel parçaları şöyle sıralanabilir (Duke Energy, 2014) (U.S. NRC, 2012):

- **Nükleer Yakıt:** Nükleer reaktörlerde yakıt olarak uranyum-235 (235U) tabletler (pellet) kullanılmaktadır. Tabletlerin reaktörlerde kullanılabilmesi için ayrı tesislerde işlenmesi gerekmektedir.
- **Reaktör Kabı:** Uranyumun parçalanarak enerjinin açığa çıktığı, ısıya dönüştüğü ve radyoaktif faaliyetlerin gerçekleştiği yerdir. Reaktör kabı, yakıt çubukları ve kontrol çubuklarından oluşur.
- **Buhar Kazanı:** Suyun sıcak ve basınçlı buhara dönüştüğü yerdir.
- **Buhar Türbini:** Sıcak ve basınçlı buharın mekanik enerjiye çevrildiği çok büyük termik turbo makinelerdir.
- **Elektrik Jeneratörü:** Buhar türbininin devinimi sonucu elektriğin üretildiği dinamo, üreticidir.
- **Yoğusturucu:** Buhar kazanına gönderilmek üzere buharın yoğunlaşarak tekrar suya dönüştüğü yerdir.

Şekil 1: Tipik Bir NGS'de Enerji Çevrimi



Kaynak: (U.S. NRC, 2012)

Farklı tip ve özelliklerde NGS bulunmakla birlikte çalışma prensibi temelde aynıdır. İlk olarak reaktör kalbinde yakıt olarak kullanılan uranyum tabletlerine nötron fırlatılır. Daha sonra uranyum kararsız hale gelerek ikiye bölünür böylece enerji ve yeni nötronlar açığa çıkar. Söz konusu nötronlar aynı işlemi milyarlarca kez tekrarlar ve ortaya büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerji ısıya dönüşür ve reaktöre giren suyun yüksek sıcaklıklı ve basınçlı buhar haline gelmesini sağlar. Su buharı elektrik jeneratörüne bağlı bulunan devasa büyüklükteki buhar türbinini çevirir, elektrik üretimi gerçekleşir ve iletim hatlarıyla nihai tüketim yerine ulaştırılır. Diğer taraftan, buhar türbinini çevirdikten sonra sıcaklığı düşen ve yoğunlaşur. Sıvılaştıran su kullanılmak üzere tekrar reaktöre gönderilir. Böylece, üretilen elektrik konutların, işyerlerinin ve sanayi tesislerinin enerji ihtiyacını karşılar. Anlaşılabileceği üzere, NGS fazlaca miktarda su talep etmesi, süreklilik arz eden ve yeterli miktarda suyun temin edilebileceği deniz, okyanus, göl vb. kaynakların yakınında bulunma nedenini açıklamaktadır.

3.3.1. NÜKLEER REAKTÖR TEKNOLOJİSİ VE TİPLERİ

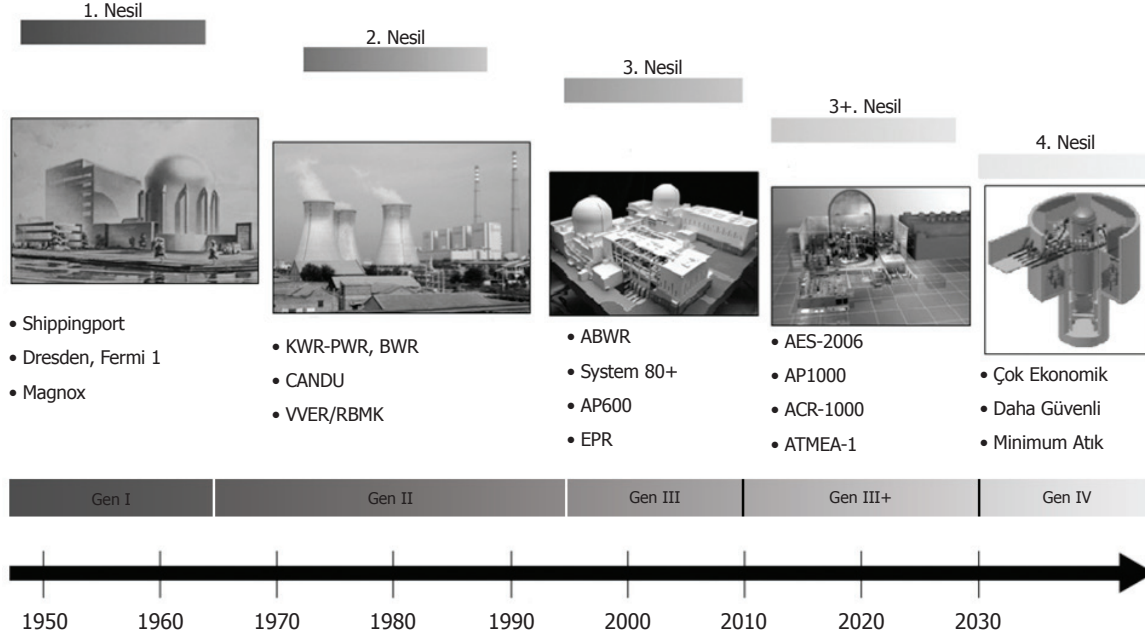
Nükleer reaktörlerin çalışma prensipleri aynı olsa da kapasite, özellik, verim, ekonomiklik, teknoloji düzeyi vb. bakımlardan farklı tip ve özelliklerde temel olarak 6 tip reaktör geliştirilmiştir. Tablo 6 ile görüldüğü üzere dünya genelindeki işletme halinde bulunan 434 reaktörün çoğunluğu (%62) PWR tipindeki reaktörlerden, %19'u BWR tip reaktörlerden; kalan %19'u ise çeşitli tipteki reaktörlerden oluşmaktadır. PWR tip reaktörler kurulu nükleer gücün %68'ini oluşturmakta ve yoğunlukla ABD, Fransa, Japonya; BWR tip reaktörleri ABD, Japonya, İsveç; PHWR tipi reaktörleri Kanada, Hindistan; LWGR tipi reaktörleri yalnızca Rusya; GCR tip reaktörleri yalnızca İngiltere; FBR tipi reaktörleri ise Rusya, Çin ve Hindistan kullanmaktadır. Hâlihazırda inşaatı devam eden 72 reaktörün 60'ı PWR tipinde olup; PWR tip reaktörlerin üstünlüğü söz konusudur (IAEA, 2014).

Tablo 6: Ticarileşmiş Nükleer Reaktör Tipleri

Ana Reaktör Tipi*	Örnek Modeller	Öncü Ülkeler	Reaktör Sayısı**
Basınçlı Su Reaktörü (PWR)	VVER, AP, EPR, CNP, ATMEA, OPR, WE, SNUPPS	ABD, Fransa, Japonya, Güney Kore, Rusya, Çin	273
Kaynar Sulu Reaktör (BWR)	ABWR, BWR-1, ABB BWR	ABD, Japonya, İsveç	81
Basınçlı Ağır Su Reaktörü (PHWR)	PHWR KWU, CANDU	Kanada, Hindistan	48
Grafit Yavaşlatıcılı Su Soğutmalı Reaktör (LWGR)	EGP, RMBK	Rusya	15
Gaz Soğutmalı Reaktör (GCR)	AGR, MAGNOX	İngiltere	15
Hızlı Üretken Reaktörü (FBR)	BN, PFBR	Rusya, Çin, Hindistan	2

Kaynak: (The IEE, 2005)*, (IAEA, 2014)**

Bir taraftan nükleer santraller ve dolayısıyla reaktörler inşa edilirken diğer taraftan daha yüksek teknolojiye sahip yeni reaktör tipleri ve santraller geliştirilmektedir. Söz konusu geliştirmelerin önemli sebepleri maliyet etkinliği, nükleer emniyeti, güvenlik ve nükleer silahlanmanın önlenmesi, şebekeye uygunluk, ticarileşme yol haritası ve yakıt döngüsü yönetimi konuları olarak sıralanabilir (Goldberg & Rosner, 2011). 1960'ların ortalarına kadar yapılan reaktörler 1. Nesil erken prototipler olarak adlandırılmaktadır. Galler'de bulunan 41 yaşındaki Wylfa – 1 reaktörü operasyona devam eden 1. Nesil tek nükleer reaktördür ve 2015 Aralık ayına kadar elektrik üretmeye devam edecektir (NDA, 2014). Hâlihazırda elektrik üreten reaktörlerin önemli bölümü 1970'li ve 1980'li yıllarda işletmeye alınan ekonomiklik ve nükleer güvenlik konularında temel donanımlara sahip 2. Nesil reaktörlerden oluşmaktadır. 1990'lı yıllarda işletmeye alınan 3. Nesil reaktörler 60 yıldan fazla kullanım ömrüne sahip olmasının yanında yakıt teknolojisi, güvenlik sistemleri, termal etkinlik gibi konularda yüksek teknolojiye sahip yapısıyla günümüz nükleer teknolojisinin temelini oluşturmaktadır. 3. Nesil reaktörlerin daha güvenli hale getirilmiş hali olan 3+ Nesil reaktörler ise 2000'li yıllarda ticarileşmiş, çağın en son teknolojisidir (Goldberg & Rosner, 2011). 4. Nesil reaktörlerin ticarileşmesinin beklendiği 2030 yılına kadar hâkim olan teknoloji 3+ Nesil reaktörler olacaktır.

Şekil 2: Nükleer Reaktörlerin Dönüşümü

Kaynak: (Goldberg & Rosner, 2011) ve (GIF, 2002) kullanılarak revize edilmiştir.

4. Nesil reaktörler henüz tasarım aşamasında bulunmaktadır. 2000 yılı Ocak ayında ABD Enerji Bakanlığı (US DOE) 4. Nesil nükleer enerji sistemlerinin uluslararası ortaklıkla geliştirilmesi adına düzenlediği toplantıya 9 ülkeden kamu görevlilerini davet etmiştir. Daha sonra 2000 yılı Nisan ayında yapılan toplantıya teknik uzmanlar da katılmış ve akabinde The Generation IV International Forum (GIF) (4. Nesil Uluslararası Forumu) kurulmuştur (GIF, 2014). Hâlihazırda 13 üyesi bulunan Forum, temel olarak sürdürülebilirlik, ekonomi, nükleer emniyet ve güvenlik, yayılma direnci ve fiziksel koruma olan 4 hedef alanı ve Tablo 7 ile gösterilen 6 tip 4. Nesil nükleer sistemini 2002 yılında hazırladığı yol haritası ile belirlemiştir ve yol haritası takip edilmektedir. Ticarileşmeleri 2030 yılını bulacak olan SCWR ve SFR reaktör sistemlerinin çoğunlukla elektrik üretimini, VHTR reaktör sisteminin geleceğin önemli enerji kaynaklarından olacağı düşünülen hidrojen üretimini, GFR, LFR ve MSR sistemleri hem elektrik hem de hidrojen üretimini sağlaması amaçlanmıştır (GIF, 2002). Bilindiği üzere, hidrojen doğada serbest bulunmayan yanıcı bir elementtir. Temiz enerji kaynaklarından olan hidrojen, içten yanmalı motor teknolojilerinde doğrudan kullanılabilirliğe sahip olmakla birlikte gelişiminin hidrojen pilleri sistemleri çerçevesinde olacağı öngörülmektedir (T.C. ETKB YEGM, 2014).

Tablo 7: 4. Nesil Reaktör Sistemleri

Reaktör Sistemi (Türkçe)	Reaktör Sistemi (İngilizce)	Kısaltma
Gaz Soğutmalı Hızlı Reaktör	Gas-Cooled Fast Reactor	GFR
Kurşun Soğutmalı Hızlı Reaktör	Lead-Cooled Fast Reactor	LFR
Ergimiş Su Soğutmalı Reaktör	Molten Salt Reactor	MSR
Sodyum Soğutmalı Hızlı Reaktör	Sodium-Cooled Fast Reactor	SFR
Süper Kritik Su Soğutmalı Reaktör	Supercritical-Water-Cooled Reactor	SCWR
Çok Yüksek Sıcaklıklı Reaktör	Very-High-Temperature Reactor	VHTR

Kaynak: (GIF, 2002) (Vural, 2007)

3.4. DÜNYADA NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİ

İlk nükleer reaktörün yapılmasından itibaren geçen yaklaşık 60 yıllık sürede hem nükleer enerji üretiminde hem de teknolojisinde büyük gelişmeler yaşanmıştır. Tablo 8 ile belirtildiği üzere 2013 yılı sonu itibarıyla dünya çapında 31 ülkede kurulu olan toplam 434 nükleer reaktör 371.733 MWe kurulu güce sahiptir. Nükleer reaktörlerin sayısının ve kapasitesinin en yüksek olduğu ülke ABD'dir. 100 reaktörde 99.081 MWe kurulu güce sahip olan ABD'yi sırasıyla 58 reaktör 63.100 MWe kurulu güçle Fransa, 48 reaktör 42.388 MWe kurulu güçle Japonya, 33 reaktör ve 23.643 MWe kurulu güçle Rusya takip etmektedir. 2013 yılında nükleer reaktörlerden elde edilen toplam enerji 2.358,60 TWh (terawatt/saat) olmuş; %50'den fazlası sadece Amerika ve Fransa tarafından üretilmiştir. Fransa elektrik üretiminin %73,30'unu nükleer enerjiden karşılamış ve oransal olarak lider olmuştur. Fransa'yı %52,10 ile Belçika, %51,70 ile Slovakya, %50,70 ile Macaristan, %43,60 ile Ukrayna, %42,70 ile İsveç ve %36,40 ile İsviçre takip etmektedir. Nükleer santral işletip, söz konusu oranda en düşük değere sahip ülkeler İran, Japonya, Çin ve Hollanda olmuş, oranları sırasıyla %1,50; %1,70; %2,10 ve %2,80 olarak gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisinin önemli bölümünü nükleer enerjiden karşılayan ülkelerin önemli kısmının Avrupa ülkesi olması dikkat çekmektedir. Dünya'nın büyük nükleer enerjisi üreticisi olan ABD ise elektrik enerjisinin %19,40'ını nükleer enerjiden dolayısıyla NGS'den karşılamaktadır.

Yine Tablo 8 ile kurulu kapasiteden fiili kullanıma düzeyini gösteren enerji ulaşılabilirlik faktörü (EAF) (energy availability factor) gösterilmiştir. En yüksek oranlar sırasıyla %95,10, %93,60 ve %92,40 ile İran, Romanya ve Finlandiya'ya aittir. En düşük oran %18,60 ile Japonya'ya ait olup; bu durumun ana sebebi 2011'de yaşanan nükleer facia sonrası güvenlik ve kamuoyu baskısı sebebiyle işletimi askıya alınan reaktörlerdir. Japonya'dan sonra söz konusu oranı en düşük olan ülke %68,20 ile Ermenistan iken; dünya ortalaması %75,10 olmuştur.

Tablo 8 ile gösterildiği üzere 2013 yılı sonu itibarıyla 69.367 MWe kurulu güce sahip olması planlanan 72 nükleer reaktörün inşasına devam edilmektedir. Söz konusu reaktör inşaatlarının tamamlanmasından sonra Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) ve Belarus ilk defa NGS sahibi olacaklardır. Söz konusu inşaatların yaklaşık %40'ı (29 reaktör) Çin tarafından yapılmakta olup; Çin'i 10 reaktörle Rusya, 6 reaktörle Hindistan ve 5'er reaktörle ABD ve Güney Kore takip etmektedir. Nükleer reaktör inşaatlarının tamamlanmasının ardından dünya nükleer enerji kurulu kapasitesi %19 oranında artacaktır.

Diğer bir husus ortalama reaktör büyüklükleridir. Tablo 8 ile gösterildiği üzere mevcut tesislerde reaktör başına kurulu güç 857 MWe iken; inşa halindeki tesislerde reaktör başına kurulu güç 963 MWe olmuştur. Yeni reaktörler mevcut reaktörlere göre daha büyük olacaktır. Mevcut olan reaktörlerinin ortalama büyüklüğü en yüksek olan ülke 1.340,90 MWe ile Almanya iken; Almanya'yı 1.088,40; 1.017,30 ve 990,80 MWe ile sırasıyla Fransa, İspanya ve ABD takip etmektedir. İnşa halindeki nükleer reaktörlerin ortalama olarak en büyükleri 1.630 MWe kapasiteyle Fransa ve 1.600 MWe kapasiteyle Finlandiya tarafından yapılmaktadır.

Tablo 8: Dünyadaki Nükleer Reaktörlerin Durumu, 31 Aralık 2013

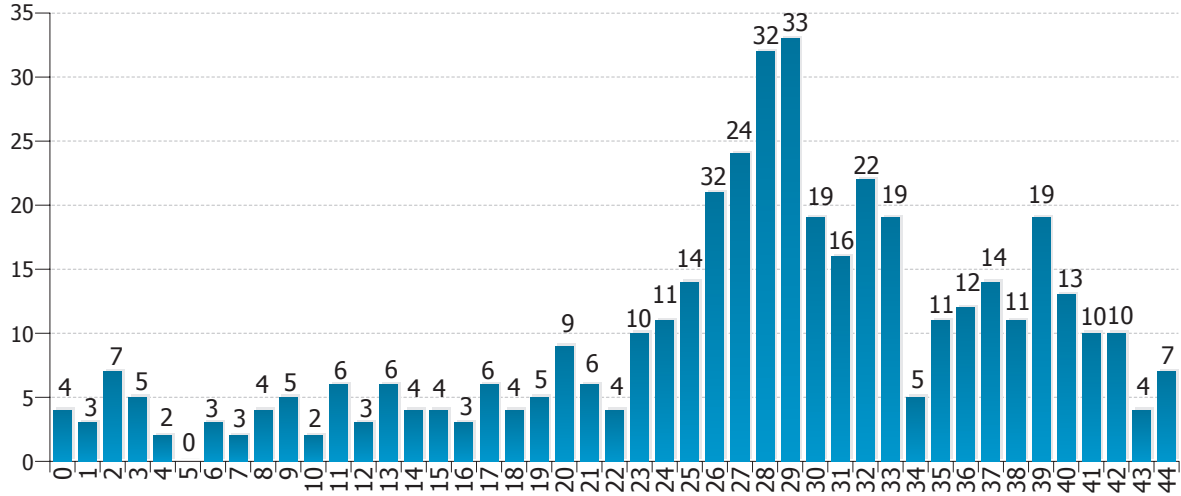
Ülke	Mevcut		İnşa Halinde		Nükleer Elektrik (2013)		EAF 2011-2013 (%)
	Reaktör Sayısı	Kurulu Güç MWe	Reaktör Sayısı	Kurulu Güç MWe	Üretim TWe/saat	Toplam % pay	
ABD	100	99.081	5	5.633	790,2	19,4	88,50
Fransa	58	63.130	1	1.630	405,9	73,3	77,10
Japonya	48	42.388	2	1.325	13,9	1,7	18,60
Rusya	33	23.643	10	8.382	161,7	17,5	79,30
Güney Kore	23	20.721	5	6.370	132,5	27,6	82,20
Çin	20	15.977	29	28.774	104,8	2,1	88,90
Kanada	19	13.500	-	-	94,3	16	80,20
Ukrayna	15	13.107	2	1.900	78,2	43,6	75,80
Almanya	9	12.068	-	-	92,1	15,4	86,40
İsveç	10	9.474	-	-	63,7	42,7	74,10
Bir. Kr. (UK)	16	9.243	-	-	64,1	18,3	75,60
İspanya	7	7.121	-	-	54,3	19,7	85,50
Belçika	7	5.927	-	-	40,6	52,1	80,30
Hindistan	21	5.308	6	3.907	30	3,5	77,30
Tayvan (Çin)	6	5.032	2	2.600	39,8	19,1	90,00
Çek Cumh.	6	3.884	-	-	29	35,9	84,70
İsviçre	5	3.308	-	-	25	36,4	86,80
Finlandiya	4	2.752	1	1.600	22,7	33,3	92,40
Bulgaristan	2	1.906	-	-	13,3	30,7	88,40
Macaristan	4	1.889	-	-	14,5	50,7	88,10
Brezilya	2	1.884	1	1.245	13,8	2,8	90,50
Güney Afrika	2	1.860	-	-	13,6	5,7	80,90
Slovakya	4	1.815	2	880	14,6	51,7	91,00
Meksika	2	1.330	-	-	11,4	4,6	79,20
Romanya	2	1.300	-	-	10,7	19,8	93,60
Arjantin	2	935	1	692	5,7	4,4	72,70
İran	1	915	-	-	3,9	1,5	95,10
Pakistan	3	690	2	630	4,4	4,4	76,20
Slovenya	1	688	-	-	5	33,6	89,40
Hollanda	1	482	-	-	2,7	2,8	80,90
Ermenistan	1	375	-	-	2,2	29	68,20
Belarus	-	-	1	1.109	Veri Yok	Veri Yok	Veri Yok
BAE	-	-	2	2.690	Veri Yok	Veri Yok	Veri Yok
TOPLAM	434	371.733	72	69.367	2.358,60	Veri Yok	75,10

Kaynak: (IAEA, 2014)

Nükleer reaktörlerin fiili faaliyetleri elektrik şebekesine bağlandığı ve şebekeye elektrik sağlandığı zaman başlar. Grafik 4 ile yatay eksen de işletimde olan nükleer reaktörlerin yaşı, dikey eksen de ise sayıları gösterildiği üzere, mevcut 434 reaktörün ağırlıklı yaş ortalaması 27,55'tir. Mevcut reaktörlerin %75'i 20 ile 40 yaşı arasında olmakla birlikte en yaşlı nükleer santral 44 yaşındadır. Nükleer reaktörlerin en yoğun olarak inşasına başlanan yılların 1974-1976 olması ve uzun yapım süreleri sebebiyle şebekeye elektrik

bağlantısının 1984-1985 yıllarında yapılması, önemli miktarda reaktörün günümüze kadar mevcudiyetlerini devam ettirmesini sağlamıştır. 1979 yılında ABD’de yaşanan Three Miles Island kazası sonrasında ABD inşa etmeyi planladığı 51 nükleer reaktörü iptal etmiş, 1986 yılında meydana gelen Çernobil faciası sonrasında ise dünya genelinde inşa edilen reaktörlerin sayısı en aza inmiş 1990’ların başından itibaren inşa edilen nükleer reaktör sayısında ciddi düşüş meydana gelmiştir (Saygın, 2011). Böylece 2000’li yıllarda elektrik şebekesine bağlanan nükleer reaktör sayısı yıllık ortalama olarak 4’e düşmüştür.

Grafik 4: Mevcut Nükleer Reaktörlerin Yaşı ve Sayısı, 31 Aralık 2013



Kaynak: (IAEA, 2014)

1963 yılında ilk defa kalıcı olarak kapatılan ABD’nin 24 MWe kapasiteli GE Vallecidos nükleer reaktöründen bu yana 140’dan fazla reaktör kapatılmıştır. Fukushima – Daiichi Nükleer Güç Santrali kazasından sonra Japonya’da söz konusu NGS’nin 6 reaktörü kalıcı olarak kapatılmıştır. Tablo 9 ile gösterildiği üzere, dünyada toplam 22 nükleer reaktör kalıcı olarak kapatılmış; bu reaktörlerin ortalama yaşı 35,60 olmakla birlikte kapatılan reaktörlerin en yenisinin 28 yıllık, en eskinin 41 yıllık olduğu saptanmıştır. Almanya 8 reaktör dolayısıyla 8.821 MWe kurulu güçten vazgeçerek en fazla nükleer kurulu güçten vazgeçen ülke unvanına sahiptir. Fukushima sonrası kapatılan reaktörler Birleşik Krallıkta 43,00; Japonya’da 36,50; ABD’de 34,00; Almanya’da 33,63 ve Kanada’da 30,00 yıl ortalama hizmet süresi faaliyet göstermiştir. Bu süre zarfında uzun dönem kapatılan reaktörü olan tek ülke ise İspanya olmuştur.

Tablo 9: Fukushima Nükleer Santral Kazasından Sonra Kapatılan Reaktörler, 31 Aralık 2013

Ülke	Uzun Dönem Kapatılan		Kalıcı Olarak Kapatılan		Reaktörlerin Ortalama Yaşı
	Reaktör Sayısı	Kapasite (MWe)	Reaktör Sayısı	Kapasite (MWe)	
Kanada	-	-	1	675	30,00
Almanya	-	-	8	8.821	33,63
Japonya	-	-	6	4.696	36,50
Birl. Kral.	-	-	3	1.000	43,00
ABD	-	-	4	3.739	34,00
İspanya	1	466	-	-	42,00
Toplam	1	466	22	18.031	35,60

Kaynak: (IAEA, 2014)

1963 yılından 2013 sonuna kadar toplam 149 reaktör süresiz olarak kapatılmıştır. Kapatılan reaktörlerin ortalama yaşı 23,93 olmuştur. Söz konusu reaktörlerin ortalama kapatılma yaşının 10 yıllık dilimler halinde incelendiğinde sürekli arttığı görülmektedir. Örneğin 1980-1989 yılları arası kapatılan 28 reaktörün ortalama yaşı 17,50 iken 2000 – 2009 yılları arası kapatılan 35 reaktörün ortalama yaşı 35,46 olmuştur.

Nükleer teknolojinin gelişmesi paralelinde inşa edilen yeni nesil reaktörlerin daha güvenli ve uzun kullanıma izin vermesi reaktörlerin ortalama yaşının yükselmesinin en önemli nedeni olmuştur.

Tablo 10: Süresiz Olarak Kapatılan Nükleer Reaktörler, 31 Aralık 2013

Kapatılma Yılı	Kapatılan Reaktör Sayısı	Kapatılan Reaktörlerin Yaş Ortalaması
2010-2013	23	35,65
2000-2009	35	35,46
1999-1990	38	22,23
1989-1980	28	17,50
1979-1970	17	8,47
1969-1963	8	3,13
Toplam	149	23,93

Kaynak: (IAEA, 2014)

Reaktörlerin ortalama kapatılma yaşı daha da artacaktır. Bunun en önemli sebepleri yeni nesil reaktörlerin uzun kullanım ömürleri ve hâlihazırda yapılan lisans yenileme işlemleridir. Yeni nesil (Gen3+) nükleer reaktörlerle standart işletme ömürleri 40 yıldan 60 yıla çıkarılabilmektedir. Diğer taraftan ABD’de teknik ömürleri 40 yıl olan ve lisans süreleri dolmak üzere olan nükleer reaktörler lisans yenileme işlemleriyle 20 yıl daha işletme izni almışlardır. 2013 sonu itibarıyla 100 reaktörü bulunan ABD’nin 72 reaktöründe lisans yenileme işlemleri tamamlanmış, 28 reaktörün ise halen ilk lisansları mevcuttur (U.S. NRC, 2014). ABD’de lisans izinleri 1954 Atom Enerjisi Yasası (Atomic Energy Act) ve ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu (U.S. NRC) düzenlemelerinden dolayı orijinal lisanslar 40 yıllığına verilmektedir. Bunun sebebi teknik imkânlardan ziyade tekelciliğin önlenmesine çalışılmasından ve ekonomik gerekçelerden kaynaklanmaktadır. Teknik açıdan lisansların yenilenmesinin (licence renewal) mümkün olduğu belirtilmektedir (U.S. NRC, 2006).

ABD’de lisans yenileme işlemleriyle Nükleer Düzenleme Komisyonu (U.S. NRC) ilgilenmekte ve yenilenme işlemleri başvurudan itibaren yaklaşık 48 – 50 ay kadar sürebilmektedir (U.S. NRC, 2006). ABD’nin 1996 yılında elektrik şebekesine bağlanan Watts Bar-1 reaktörü en yeni reaktörü; 1969 yılında elektrik şebekesine bağlanan R.E. Ginna en eski reaktörü olmakla birlikte hâlihazırda işletilen tüm reaktörlerin yaş ortalaması 34 olmuştur. Lisansı yenilenen reaktörlerin en yenisi 1991 yılında en eskisi 1969 yılında, lisans başvurusu halen değerlendirilmekte olan reaktörlerin en yenisi 1973 yılında en eskisi 1990 yılında, lisans yenileme başvurusunda bulunan reaktörlerin en yenisi 1993 yılında en eskisi 1982 yılında ilk olarak elektrik şebekesine bağlanmıştır. R.E. Ginna nükleer reaktörü ise ABD’nin en yeni reaktörü olması sebebiyle işletici lisans yenileme talebinde henüz bulunmamıştır. Uzunca süre yeni nükleer reaktör inşa etmeyen ABD nükleer enerji üretiminin önemli kısmını lisansları yenilenmiş ancak nispeten eski reaktörlerden karşılamaktadır. Ancak işletme lisansına sahip bulunan işletmelerin faaliyetlerinin lisans bitimine kadar devam edeceğinin herhangi bir garantisi bulunmamaktadır. Örneğin işletme lisansı 2022 yılına kadar olan San Onofre 2-3 nükleer reaktörleri buhar jeneratörü sistemindeki arızadan dolayı 2013 yılı Haziran ayında süresiz olarak kapatılmıştır (The Washington Post, 2013).

Tablo 11: ABD’de İşletilen Reaktörlerin Lisans Durumları, 31 Aralık 2013

Lisans Durumu	Nükleer Reaktör Sayısı*	Ortalama Yaşı
Lisansı Yenilenen	72	36,20
Başvurusu Değerlendirilen	14	30,86
Başvuru Bekleniyor	13	27,62
Talep Açıklamayan	1	18,00
TOPLAM	100	34,15

* (GAO, 2013) çalışmasından kapatılan San Onofre 2-3 reaktörleri çıkarılarak (IAEA, 2014) çalışmasıyla uyumlu hale getirilmiştir.

Kaynak: (GAO, 2013) (IAEA, 2014)

Diğer bir konu kapatılmakla birlikte hizmetten çıkarılan (decommissioned) veya çıkarılmakta olan (decommissioning) nükleer reaktörlerdir. Kullanım ömrünün dolması, arızalanması, ekonomik olmaması gibi sebeplerden dolayı reaktörlerin hizmetten çıkarılması, üzerine yapıldığı alanın doğaya tekrar kazandırılması, radyoaktif olmayan çoğu parçasının geri dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Dünya’da ilk defa 1960’larda yapılan hizmetten çıkarma işleminden 2013 yılı sonuna kadar 119 nükleer reaktör hizmetten çıkarılmıştır veya çıkarılması devam etmektedir (IAEA, 2014). 29 nükleer reaktörle ABD, 26 nükleer reaktörle Birleşik Krallık söz konusu işlemleri en çok yapan ülkeler olmuştur. Söz konusu 119 reaktör için 200 adet hizmetten çıkarılma sebebi sayılmıştır. Bazı reaktörlerin kapatılması 2 ile 4 arası ayrı sebebi gerektirebilmiştir. Tablo 12 ile gösterildiği üzere nükleer santral işletmelerinin hizmetten çıkarılmasının en önemli sebebi 45 reaktörde görülen kârlı olmama durumudur. 35 reaktörde karşılaşılan diğer sebepler, 25 reaktörün ana parçalardan bazılarının arızalanması veya işlevsizleşmesi, 23 reaktörün kamuoyunun kabulü ve politik sebepler ile 22 reaktörün diğer ekonomik sebeplerle hizmetten çıkarılması ana sebeplerden olmuştur. Genel olarak ifade etmek gerekirse ekonomik, teknolojik, teknik problemler ve diğer sebepler reaktörlerin hizmetten çıkarılmasına neden olmuştur.

Birleşik Krallık’ın sahip olduğu 26 nükleer reaktörün 23 tanesini işletmenin karlı olmaktan çıkması ve ana parçalardan bazılarının arızalanması veya işlevsizleşmesi sebebiyle hizmetten çıkarması dikkat çekmektedir. Piyasa şartlarında mevcut reaktörlerin ağır bakımlarının yapılması ve ana parçalarının değiştirilmesi ekonomik görülmemiş ve ilgili reaktörler bu sebeple kapatılmıştır.

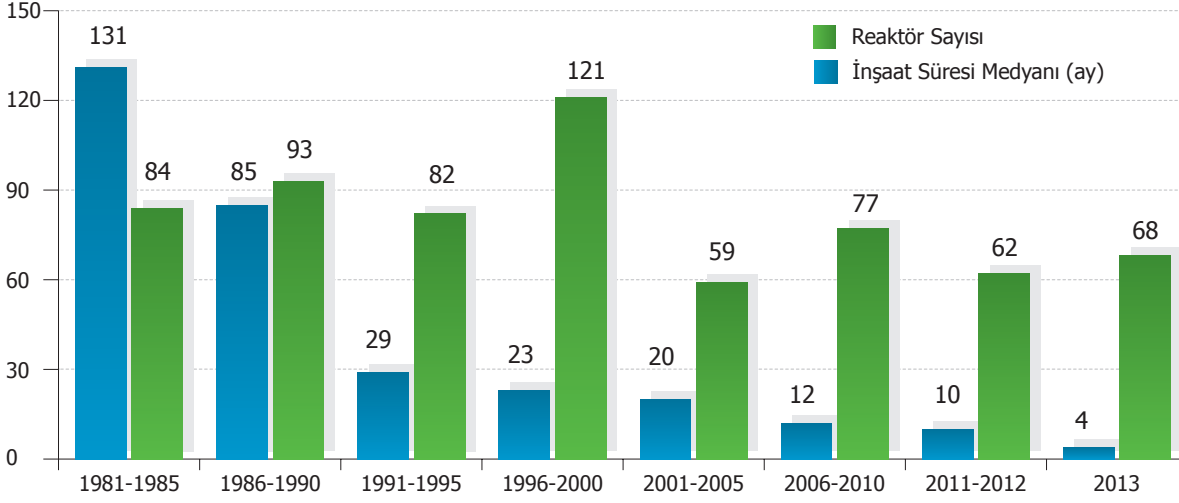
Diğer önemli bir husus ise 7 reaktörün bir olay veya kaza nedeniyle hizmetten çıkarılmasıdır. Bu sebeplerle hizmetten çıkarılan veya çıkarılmakta olan reaktörler İtalya’da Garigliano, Slovakya’da Bohunice A1, İspanya’da Vandellós-1, İsviçre’de Lucens, ABD’de Piqua, Fermi-1 ve Three Miles Island-2 reaktörleridir. Bu reaktörler ciddi derecede hasar almışlar ve hizmetten çıkarılmak zorunda kalmışlardır (IAEA, 2014). Süresiz olarak kapatılma reaktör faaliyetlerin tamamen durdurulduğu ve müdahale edilmeyi bekleyen anlamı taşıırken, hizmetten çıkarılma ise faaliyetleri tamamen durdurulmuş nükleer reaktörlerin sökülmesi, parçalara ayrılması anlamını taşımaktadır. Zira Fukushima – Daiichi NGS ve Çernobil NGS süresiz olarak kapatılmışlar ancak teknik sebeplerden dolayı henüz hizmetten çıkarılamamışlardır.

Tablo 12: Hizmetten Çıkarılan veya Çıkarılmakta Olan Nükleer Reaktörler, 31 Aralık 2013

Hizmetten çıkarılma sebebi	Reaktör Sayısı
İşletmenin karlı olmaktan çıkması	45
Ana parçalardan bazılarının arızalanması veya işlevsizleşmesi	25
Kamuoyunun kabulü ve politik sebepler	23
Diğer ekonomik sebepler	22
Kullanılan teknoloji veya uygulanan işlemler eskimesi	17
Diğer teknolojik sebepler	17
Lisanslama gerekliliklerindeki değişimler	9
İşletim ile ilgili bir olay veya kaza sonucu	7
Diğer	35

Kaynak: (IAEA, 2014)

Nükleer reaktörlerin yapımının uzun hazırlık ve inşaat sürelerini gerektirdiği bilinmektedir. 1981-1985 yılları arasında yapımı tamamlanan 131 nükleer reaktörün inşaat süresi medyanı (ortanca değer) 84 ay (7 yıl) olmuş; 1996-2000 yılları arasında yapımı tamamlanan 23 nükleer reaktörün inşaat süresi medyanı ise 121 ay (10,1 yıl) olarak gerçekleşmiş ve oldukça uzun bir sürede tamamlanmıştır. 2013 yılında yapımı tamamlanan 4 nükleer reaktörün inşaat süresi medyanı 68 ay (5,7 yıl) olmuştur. 1981-2013 yılları arası inşaat süresi medyanlarının eğilimine bakıldığında sürenin azaldığı görülmektedir. Söz konusu medyanların ağırlıklı ortalamalarına bakıldığında ortalama inşaat süresinin 86,20 ay (7,2 yıl) olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca 1981 yılından 2010 yılına kadar beşer yıllık süreler incelendiğinde inşaatı tamamlanan nükleer reaktörlerin sayısında önceki dönemlerdeki azalan nükleer reaktör inşaatlarından dolayı gözle görülür düşüş yaşanmıştır.

Grafik 5: Yapımı Tamamlanan Nükleer Reaktörlerin İnşaat Süresinin Medyanı (ay), 31 Aralık 2013

Kaynak: (IAEA, 2014)

2013 yılında 6 nükleer santral kapanırken 10 yeni nükleer reaktör inşaatına başlanmıştır (IAEA, 2014) ve Tablo 13 ile belirtildiği üzere 92 nükleer reaktörün ileriki yıllarda inşa edilmesi planlanmaktadır. 92 nükleer reaktörde en az 90 GWe kurulu net güce ulaşılması hedeflenmektedir. İnşa edilmesi planlanan nükleer reaktörlere 35 reaktör ve 28.720 MWe kurulu güçle Çin liderlik ederken; 22 reaktörle ve 23.319 MWe kurulu güçle Rusya, 16 reaktör ve 21.256 MWe kurulu güçle ABD Çin'i takip etmektedirler. 2011 yılında nükleer felaket yaşayan Japonya ise 12.419 MWe kurulu net güce sahip 9 nükleer reaktör inşa etmeyi planlamaktadır. Herhangi bir NGS bulunmayan Vietnam ise 2 reaktörle nükleer güce sahip ülkeler arasında yerini alacaktır. Arjantin'in inşa edeceği tek reaktör olan CAREM-25 reaktörü ise Arjantin'in kendi nükleer reaktörünü üretme ve ticarileştirme konusunda inşa edeceği prototip reaktör olma özelliğini taşımaktadır (Magan, et al., 2001). Avrupa Birliği ülkeleri yeni nükleer reaktör veya santral inşa etmeyi planlamamaktadır (IAEA, 2014).

Tablo 13: İnşa Edilmesi Planlanan Nükleer Reaktörler, 31 Aralık 2013

Ülke	Reaktör Sayısı	Toplam Net Kapasite* (MWe)
Çin	35	28.720
Rusya	22	23.319
ABD	16	21.256
Japonya	9	12.419
Birleşik Arap Emirlikleri	2	2.690
İran	3	2.160
Vietnam	2	2.000
Hindistan	2	1.834
Arjantin	1	25
Toplam	92	94.423

* Toplam net kapasite 85 reaktörü kapsamaktadır. Çin'in 6, Rusya'nın 1 reaktörü için net kapasite belirtilmemiştir.

Kaynak: (IAEA, 2014)

Nükleer enerji tarihi sadece nükleer reaktöre sahip olan veya olacak ülkeleri değil bir zamanlar nükleer reaktöre sahip ülkelere de tanıklık etmiştir. 2013 sonu itibarıyla nükleer reaktörlerini kapatarak nükleer enerji sayfasını kapatan 3 ülke olmuştur. Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı. ile görüldüğü üzere, toplam 7 reaktöre sahip İtalya, Litvanya, Kazakistan toplam net kurulu gücü 3.855 MWe olan reaktörlerini kapatmışlardır. Kamuoyunun kabulü ve politik sebepler ve diğer nedenlerle İtalya 3 reaktörünü 1987 ve 1990 yıllarında, Litvanya 2 reaktörünü 2004-2009 yıllarında kapatmışlardır. Avrupa Birliği'nin (AB) üyesi olan bu ülkeler mevcut durumda yeniden nükleer reaktör kurmayı düşünmemektedirler. Kazakistan'ın sahip

olduğu ve 1999 yılında süresiz olarak kapattığı 52 MWe kurulu net güce sahip Aktau Nükleer Reaktörü'ne özel vurgu yapılması gerekmektedir. Hazar Denizi kıyısında kurulu olan FBR tipi BN – 350 modelindeki reaktör 27 yıl boyunca (1973 – 1999) kurulu gücünün %60'ını desalinasyon (suyu tuzdan arındırma) ve %40'ını bölgenin elektrik ihtiyacı için kullanan tesis böylece nükleer desalinasyon ile günlük 80.000 m³ içme suyu üretme kapasitesine sahipti (PNNL, 1998). Ancak Kazakistan hükümeti yeniden nükleer santral kurma yolunda olduğunu beyan etmiş, Rusya ile yaptığı anlaşma her iki devletin başkanları tarafından imzalanmıştır (RiaNovosti, 2014). Kazakistan hükümeti yetkilileri nükleer santral inşaatına 2018 yılında başlamayı planladıklarını duyurmuşlardır (CHA, 2014).

Tablo 14: Geçmişte NGS'ne Sahip Olup; Mevcutta NGS Sahibi Olmayan Ülkeler, 31 Aralık 2013

Ülke	Reaktör Sayısı	Kurulu Güç (MWe)	Ortalama Ömür (yıl)	Kapatılma Nedeni
İtalya	4	1.433	20	Kamuoyunun kabulü ve politik sebepler, Diğer*
Litvanya	2	2.370	22	Kamuoyunun kabulü ve politik sebepler, Diğer
Kazakistan	1	52	27	Ekonomik olmama, Teknolojik sebepler
Toplam	7	3.855	21	Muhtelif sebepler

*İtalya'nın Garigliano reaktörü hem yaşanan kaza hem de lisans ile ilgili problem sebebiyle kapatılmıştır.

Kaynak: (IAEA, 2014)

Özetle, nükleer enerji santralleri günümüzde enerji ihtiyacını karşılayan önemli tesislerden olmuşlardır. Dünya'da üretim kapasitesi, kurulu güç ve reaktör sayısı bakımından lider ülke ABD'dir. Ancak Çin'in hâlihazırda inşa ettiği ve inşa etmeyi planladığı reaktörler sayesinde liderliğe oynayacağı öngörülmekte ve Rusya'nın da bu yarışmanın önemli aktörlerinden olacağı anlaşılmaktadır. Gelecekte nükleer enerjide liderliği gelişmekte olan ülkelerin üstleneceği görülmektedir.

Sonuç olarak bir yandan nükleer reaktörlerin inşasına devam edilirken diğer taraftan ekonomik, politik, teknolojik vb. sebeplerden dolayı nükleer reaktör ve santraller kapatılmakta ve hizmetten çıkarılmaktadır.

3.5. NÜKLEER YAKIT ÇEVİRİMİ

Nükleer santrallerden enerji üretmek kadar yakıt üretimi ve yüksek radyoaktif atık içeren kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi ve bertarafı da hayati öneme sahiptir. Nükleer yakıt çevrimi, uranyum madenciliği işleminden, nükleer atık yönetimi sürecini kapsayan bir dizi işlemden oluşur⁸. Nükleer güç santrallerinde yakıt olarak kullanılan yakıt tabletlerinin temel hammaddesi uranyum elementidir. Zararsız (2005) çalışmasında belirtildiği üzere doğada serbest olarak bulunmayan ancak diğer başka elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getiren uranyum; 1789 yılında Alman kimyager Martin Heinrich Klaproth tarafından keşfedilmiştir. Doğada bulunan uranyumun sadece %0,71 fisil (bölünebilir) olan U-235 izotopunu içermekte ve geriye kalan %99,29'luk kısım ise fisil olmayan U-238 izotopunu içermektedir. Nükleer yakıt olarak kullanılan izotop U-235 izotopudur. Nükleer yakıt çevrimi özetle aşağıdaki süreçlerden oluşmaktadır⁹:

- **Uranyum Madenciliği (Uranium Mining):** Uranyum cevherini elde etmek için yer kazma (excavation) veya yerinde özütleme yöntemi (in-situ-leach) kullanılmaktadır. Tipik olarak, 120 metreden daha derin yerler için kapalı ocak madenciliği (close pit) tercih edilirken, yeryüzüne daha yakın uranyum yataklarında açık ocak madenciliği (open pit) tercih edilir.
- **Uranyum Öğütmesi/Kazanımı (Uranium Milling):** Genelde uranyum madenciliği yapılan yere yakın kurulan tesislerde, ortalama %0,1 uranyuma sahip olan cevherin uranyum oksit yoğunluğu bu işlemle artırılmakta ve ortaya çıkan ürün "sarı kek" (yellowcake) olarak adlandırılmaktadır.

⁸ ENS, <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/n/nuclear-fuel-cycle.htm> Erişim Tarihi: 15.12.2014

⁹ WNA, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Introduction/Nuclear-Fuel-Cycle-Overview/> Erişim Tarihi: 15.12.2014

• **Dönüştürme ve Zenginleştirme (Conversion/Enrichment):** Doğal uranyumun sadece %0,7'si fisil (bölünebilir) niteliktedir. Zenginleştirme işleminde¹⁰ amaç, fisil olan uranyum-235 (U-235) izotopu yoğunluğunu %3,5-%5,0 arasına çıkarmaktır. Dönüştürme işleminde ise, zenginleştirme işlemini yapabilmek için uranyum oksit düşük sıcaklıklarda gaz haline getirilip uranyum heksafloride (UF₆) dönüştürülmekte ve çeşitli işlemlerden geçirilerek zenginleştirmeye uygun hale getirilmektedir.

• **Yakıt İmalatı (Fuel Fabrication):** Reaktörlerde kullanılmak üzere hazırlanan yakıtın son aşamasıdır. Nükleer yakıt reaktör tipine ve ilgili standartlara göre imal edilmektedir. İşlem sırası; önce UF₆ veya UO₃'ten saf UO₂'e üretimi, daha sonra yüksek yoğunluklu ve yüksek hassasiyette şekillendirmiş seramik UO₂ tabletleri üretimi ve son olarak temelde zirkonyum alaşım yakıt tertibatlarını üretimi ile yakıt çubuklarına yakıt tabletlerinin yerleştirilmesi¹¹ şeklinde olmaktadır.

• **Güç Üretimi ve Nükleer Tükenme (Power Generation/Burn-up):** Reaktör kalbinde yakıt olarak kullanılan uranyum tabletlerine nötron fırlatılır. Uranyum kararsız hale gelerek ikiye bölünür ve büyük miktarda enerji ve yeni nötron parçaları açığa çıkar ve işlem sayısız kere tekrarlar ve ortaya büyük miktarda enerji açığa çıkar.

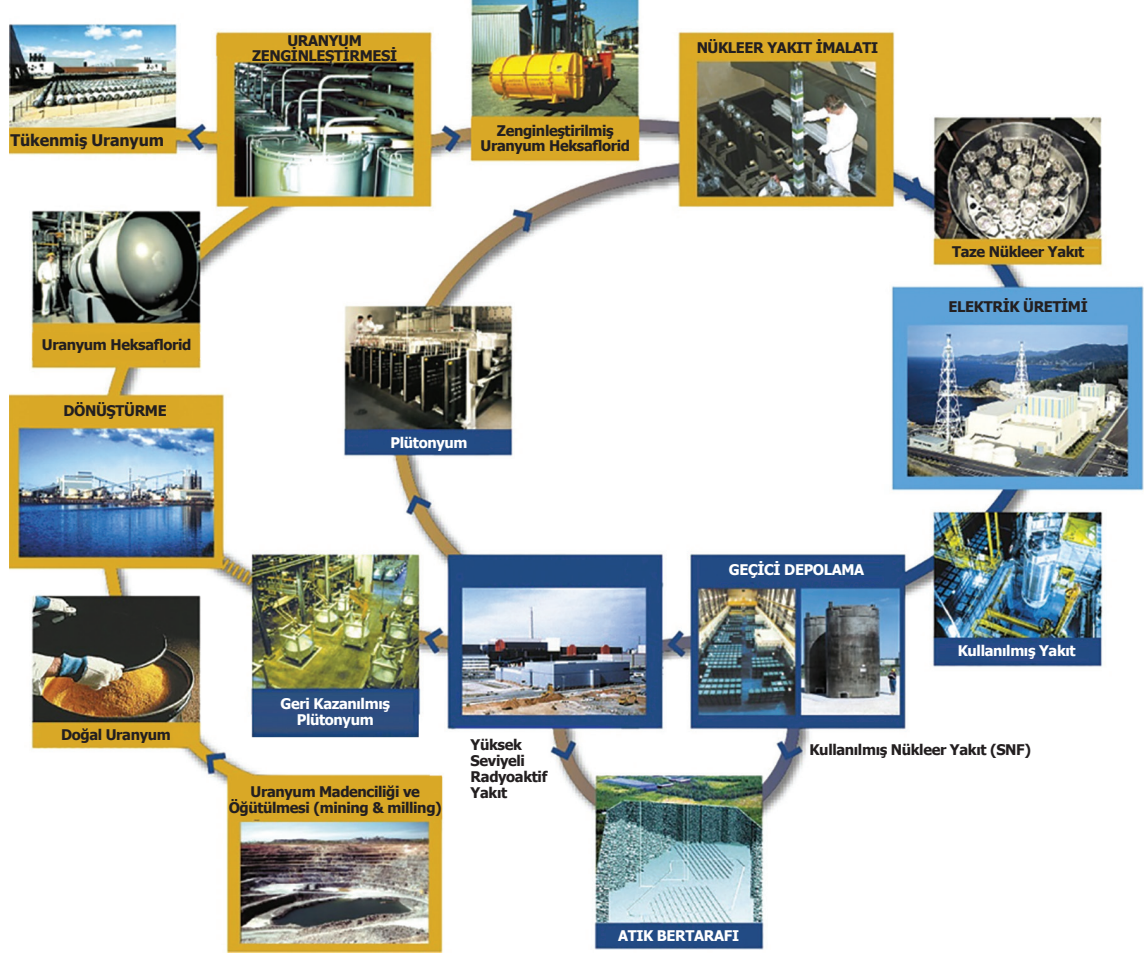
• **Kullanılmış Yakıt:** 18 - 36 ay sonra kullanılmış yakıt reaktörden çıkarılır. Kullanılmış yakıt, hem radyasyon hem de ısı yayması radyasyon seviyesinin düşürülmesi için su dolu havuzlarda bazen birkaç ay bazen de yıllarca bekletilir. Yaklaşık 5 yıl sonra tesis içerisinde doğal olarak havalandırılan bir alana taşınabilir. Son olarak kullanılmış yakıt için, yeniden işlenmek üzere imalat veya yeniden işlenmeksizin depolama (atık bertarafı) olmak üzere iki seçenek bulunmaktadır.

Şekil 3 ile nükleer yakıt çevriminin uranyum madenciliğinden atık bertarafına kadar olan süreci gösterilmiştir. Örneğin, 1.000 MWe kurulu güce sahip yeni nesil bir EPR tipi reaktörün 1 yılda kullanacağı nükleer yakıt miktarı 17,5 ton UO₂'dir. Söz konusu yakıtın imalatı için 20.000 – 400.000 ton arası uranyum cevheri kullanılarak 171 ton "sarı kek" elde edilmesi gerekmektedir. Tüm bu süreçler göz önünde bulundurulduğunda nükleer yakıt çevriminin azami emek ve dikkat isteyen, aynı zamanda yoğun cevher kullanımı gerektiren bir süreç olduğu anlaşılmaktadır.

¹⁰ Dünyada kullanılan santrallerin çoğu LWR (PWR,BWR) tipinde reaktörler olması sebebiyle yakıt için kullanılacak uranyumun zenginleştirilmesine çoğu zaman ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak Kanada'nın CANDU ve İngiltere'nin Magnox tipindeki reaktörleri zenginleştirme işlemine ihtiyaç duymadan doğal uranyumu yakıt olarak kullanabilmektedir. Detaylı bilgi için: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Uranium-Enrichment/> Erişim Tarihi: 14.12.2014

¹¹ WNA, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Conversion-Enrichment-and-Fabrication/Fuel-Fabrication/> Erişim Tarihi: 15.12.2014

Şekil 3: Nükleer Yakıt Çevrimi



Kaynak: OECD-NEA, <http://www.oecd-nea.org/press/press-kits/rad-waste-images/nuclear-fuel-cycle.jpg> çevirisi yapılmıştır. Erişim Tarihi: 16.12.2014

Diğer taraftan fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, 1 kg kömürden 8 kWh, 1 kg petrolden 12 kWh enerji elde edilmekteyken, 1 kg U-235 izotopundan yaklaşık 24 milyon kWh enerji elde edebilmekte; 1 kg doğal uranyum 14.000 kg kömür veya 10.000 kg petrole eş değer (45.000 kWh) enerji üretebilme potansiyeline sahip olmaktadır¹². Üretilen kWh başına kullanılan cevhere bakıldığında uranyumun fosil yakıtlara karşı açık üstünlüğü bulunmaktadır. Ancak, yenilenebilir enerjilerden olan rüzgâr ve güneş enerjisini kullanan santrallerin, teknik olarak kullandığı bir yakıt bulunmamaktadır ve dolayısıyla NGS'lere karşı yakıt miktarı açısından tartışmasız üstünlükleri bulunmaktadır.

¹² ENS, <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/f/fuelcomparison.htm> Erişim Tarihi: 16.12.2014

4

Enerji Teknolojilerinin Karşılaştırılması

4. ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Elektrik üretim teknolojilerini karşılaştırdığı IEA NEA (2010) çalışmasına göre nükleer ve hidroelektrik santrallerin ortalama tesis kapasitelerinin çok büyük; rüzgar enerjisi santrallerinin de küçük olduğu belirtilmiştir. Gerçekten de en az bir reaktörden oluşan nükleer santrallerin reaktör başı ortalama kapasitesi 857 MWe; toplam hidroelektrik kapasitesinin %94'ünü oluşturan büyük ölçekli tipik hidroelektrik santrallerin kapasitesi 50 MWe (IEA ETSAP, 2010) sahip olmasına rağmen, dünyanın en büyük rüzgâr türbini 8 MWe kapasiteye sahiptir (WPM Dergisi, 2014) (renewableenergyworld.com, 2014). Tablo 15 ile özetlendiği üzere, büyük tesislerde kW başı yatırım maliyeti ve mevzuat riskleri yüksek olurken, teslim süresi (lead time) uzun olmaktadır. Nükleer teknolojide yakıt maliyeti düşük, CO2 emisyonu olmazken; hidrolik ve rüzgâr teknolojilerinde yakıt maliyeti ve CO2 emisyonu olmamaktadır. Kombine çevrim gaz türbini (CCGT) teknolojisi kısa zamanda teslim edilebilir, kW başı yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve mevzuat riskleri düşüken orta düzeyde CO2 emisyonuna sahiptir. Kömürle çalışan termik santrallerde işletme maliyeti düşüken, CO2 emisyonu yüksektir. Sonuç olarak her açıdan üstün bir enerji teknolojisi henüz mevcut olmayıp; karar vericilerin önceliklerine göre kullanılacak olan teknolojinin türü, kapasitesi ve payı belirlenmektedir.

Tablo 15: Elektrik Üretim Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Teknoloji	Tesis Büyüklüğü	Teslim Süresi	Yatırım Maliyeti/kW	İşletme Maliyeti	Yakıt Maliyeti	CO2 Emisyonu	Mevzuat Riskleri
CCGT	Orta	Kısa	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
Kömür	Büyük	Uzun	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Nükleer	Çok Büyük	Uzun	Çok yüksek*	Orta	Düşük	Yok	Yüksek
Hidroelektrik	Çok Büyük	Uzun	Çok Yüksek	Çok Düşük	Yok	Yok	Yüksek
Rüzgar	Küçük	Kısa	Yüksek	Orta	Yok	Yok	Orta

* Çalışmanın aslında nükleer yatırım maliyeti yüksek olarak belirtilmiş ancak Tablo 22 ile gösterildiği üzere hidroelektrikten düşük tür. Kaynak: (IEA NEA, 2010)

4.1. ENERJİ TEKNOLOJİLERİNİN DOĞAYA ETKİSİ

4.1.1. SERA GAZI SALINIMI (GHG EMISSIONS)

Sera gazı salınımı (emisyon) konusu küresel ısınmanın insan yaşantısına etkisinin doğrudan hissedilmeye başlaması sebebiyle öne çıkan konulardan olmuştur. Sera gazlarının küresel ısınmaya en çok etki eden bileşeni karbondioksit (CO₂) olmakla birlikte diğer önemli sera gazlarına örnek metan (CH₄) ve azot-oksit (NO₂) verilebilir (UCS, a). Dünyada yakıt tüketiminden kaynaklı CO₂ salınımının en önemli kaynakları %43,94 ile kömür, %35,33 ile petrol ve %20,21 ile doğalgaz olurken; kullanıldıkları yerler çoğunlukla %37,96 ile elektrik üretimi ve ısınma, %22,34 ile ulaşım ve %20,77 ile sanayi-inşaat sektörleri olmuştur. 1991-2011 yılları arasında toplam CO₂ miktarı %49,30 artarken, aynı süreçte dünya gayrisafi yurtiçi hasıla (GSYİH) %73,50 ile oranında artmıştır. Söz konusu sürede Türkiye’de ise CO₂ salınımı %125,10 oranında artarak rekor seviyelere ulaşmış; 2011 yılında CO₂ salınımının en çok yapıldığı alan %38,99 ile dünya ortalamasında olduğu gibi elektrik üretimi ve ısınma olmuştur (IEA, 2013).

Tablo 16 ile elektrik üretim teknolojileri yaşam döngüsü (LCA) sera gazları salınımı miktarları karşılaştırılmıştır. Yaşam döngüsü metodu, teknolojinin kullanıldığı tesisin inşaat, işletme ve hizmetten çıkarılma sürelerini kapsayan uzun bir analiz yöntemidir. Dünya Nükleer Birliği (WNA) tarafından hazırlanan WNA, 2011 çalışması 1997-2010 yılları arasında yapılmış 21 çalışmanın analizini yapmış; GWh başına diğer sera gazlarını da kapsayan karbondioksit eşdeğeri (CO₂eq) ton/GWh değer aralıkları ve ortalama değerlerini göstermiştir. Ortalama olarak CO₂eq değeri en düşük olan elektrik üretim teknolojileri sırasıyla 26, 26, 29 ve 45 ton/GWh ile rüzgâr, hidroelektrik, nükleer ve biokütle enerji teknolojileri olmuştur. Bunun yanında fosil yakıt temelli linyit, kömür, petrol ve doğalgaz en çok CO₂eq salınımının yapıldığı teknolojiler olmuştur.

2011 yılında fosil olmayan (hidroelektrik ve nükleer) yakıtlardan elektrik ihtiyacının %27,5’i karşılanırken, fosil yakıtlardan (kömür, petrol, doğalgaz) karşılanan elektrik ihtiyacı 2,47 katına çıkarak %68 olmuştur (OECD/IEA, 2013). Bu orana rağmen fosil yakıtların ürettiği ağırlıklı GWh başı ortalama CO₂eq/ton miktarı fosil olmayan (nükleer ve hidroelektrik) teknolojilerin ürettiği ağırlıklı GWh başı ortalama CO₂eq/ton miktarının 27,41 katı olmuştur¹³. Anlaşıldığı üzere elektrik üretimi kaynaklı sera gazı salınımının en önemli kaynağının hem birim başı salınımların yüksekliği hem de yoğun kullanımı dolayısıyla fosil yakıtlar olduğu görülmektedir. Değer aralıklarının bu denli farklı olmasının sebebi çalışmalardaki yöntembilim farkı, yıllar boyunca (özellikle güneş kolektörleri) artan verimlilik ve çalışma yıllarındaki farklılık olmuştur.

Tablo 16: Elektrik Üretim Teknolojilerine göre Yaşam Döngüsü Sera Gazları Salınım Miktarı

Elektrik Üretim Teknolojisi	Değer Aralığı CO ₂ eq (ton/GWh)	Ortalama CO ₂ eq (ton/GWh)
Linyit	790 – 1.372	1.054
Kömür	756 – 1.310	888
Petrol	547 – 935	733
Doğalgaz	362 – 891	499
Güneş (PV)	13 – 731	85
Biokütle	10 – 101	45
Nükleer	2 – 130	29
Hidroelektrik	2 – 237	26
Rüzgâr	6 – 124	26

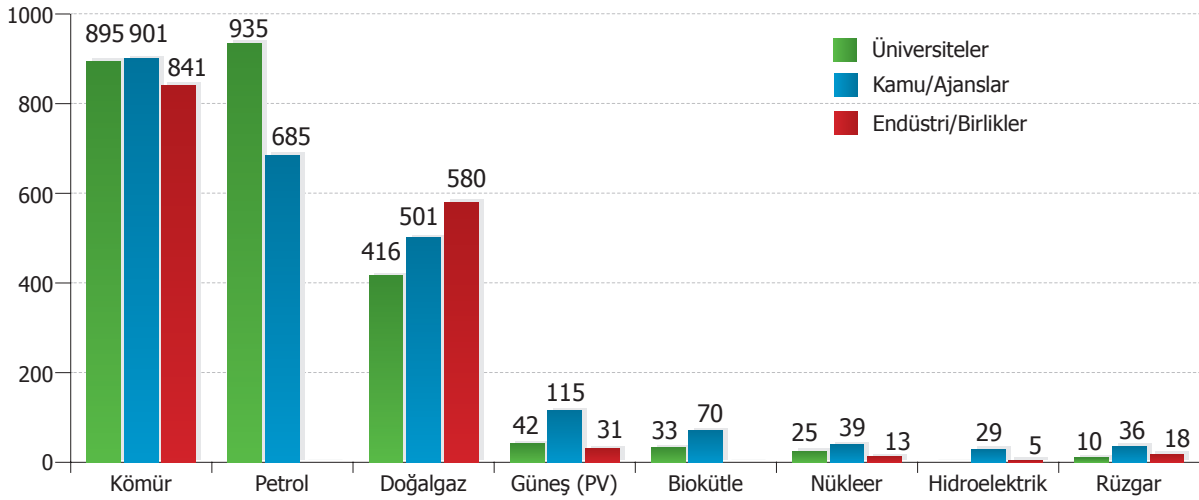
Kaynak: (WNA, 2011)

Dünya Nükleer Birliği’nin yapmış olduğu WNA (2011) raporunun diğer önemli bulgusu daha önce bahsedilen 21 çalışmayı yapan kuruluşların sınıflandırılması ve belirtilen her sınıfın belirttiği ortalama sera gazı

¹³ (OECD/IEA, 2013) çalışmasında yer alan “yakıt türlerine göre elektrik üretimi” oranları ortalama olarak CO₂eq fosil yakıt için 802,19 ton/GWh, fosil olmayan yakıt için 27,28 ton/GWh bulunmuştur.

salınımları miktarları olmuştur. Söz konusu 21 çalışmanın 9'u endüstri/birlikler (2006-2009), 8'i kamu/ajanslar (2000-2007) ve 4'ü üniversiteler (1997-2007) tarafından yapılmıştır. Grafik 6 ile görüldüğü üzere kamu/ajanslar tarafından yapılan çalışmalarda ortalama sera gazı salınımı değerleri petrol ve doğalgaz hariç diğer sınıflara göre daha yüksek bulunmuştur. Üniversiteler tarafından yapılan çalışmalarda rüzgâr, biokütle ve doğalgaz salınımı miktarları diğer sınıflara göre daha düşük olup; petrolün salınımı ise en yüksek olarak saptanmıştır. Endüstri/birlikler tarafından yapılan çalışmalara göre diğer sınıflara kıyasla hidroelektrik, güneş, nükleer ve kömür salınım miktarları daha az bulunmuştur. Endüstri/birlikler tarafından yapılan çalışmaların daha yeni olması sebebiyle verimlilik eksenli olarak salınımın düşük çıkması beklenen sonuç olmuştur. Üniversite tarafından yapılan 4 çalışmada hidroelektrik, endüstri/birlikler tarafından yapılan 9 çalışma ise petrol ve biokütle ile ilgili veriye yer verilmemiştir. Sınıfların saptadığı değerler arasında önemli farklar bulunmamakta ve fosil olmayan yakıtların fosil yakıtlarla kıyaslandığında sera gazı salınımı düşüklüğünde üstün olduğu 21 çalışmada da açıkça anlaşılmaktadır. Çalışmaya göre rüzgâr, hidroelektrik, nükleer, biyokütle ve güneş (PV) gibi fosil yakıtı olmayan enerji teknolojilerinin üretilen GWh başı sera gaz salınımları fosil yakıtların 1/30'undan daha az olabilmektedir.

Grafik 6: Araştırma Yapan Kuruma göre Sera Gazı Salınım Miktarları, (CO₂eq ton/GWh)



Kaynak: (WNA, 2011)

Tablo 17 ile gösterildiği üzere yaşam döngüsü analizinde elektrik üretim sistemlerine göre Tablo 16 ile uyum gösteren karbondioksit salınımlarının kaynakları verilmiştir. Kömür ve petrol kaynaklı üretim sistemlerinde en önemli salınım kaynağının yakıt olarak kullanılan kömür ve petrol olduğu ve tesis salınımının %90'ından fazlasına sebep olduğu; bunun doğalgaz üretim sistemlerinde %78,7 olduğu belirtilmiştir. Doğalgaz tesislerinde bu oranın diğerlerine oranla az olmasının sebebi doğalgaz sıvılaştırma işlemi sonucu ortaya çıkan CO₂ ve doğalgaz taşıması işleminin daha fazla salınım gerektirmesidir. Nükleer tesislerde esas enerji üretim yeri olan reaktörde yanma olayı gerçekleşmediği için herhangi bir sera gazı salınımı olmamakla birlikte en önemli CO₂ salınım kaynağının toplam salınımın %61,9'u oranında nükleer yakıt zenginleştirme faaliyetinden kaynaklanmaktadır. Böylece esas karbon salınımının gerçekleştiği mekânın zenginleştirme faaliyetinin yapıldığı mekân olduğu anlaşılmaktadır. Fosil yakıt kullanmayan hidroelektrik, rüzgâr ve güneş (PV) teknolojilerinde CO₂ salınımının en yüksek olduğu evre inşaat aşamasıdır. Buna karşın jeotermal enerji tesisleri nükleer tesisler gibi yüksek miktarda salınımı yeni kuyu açma faaliyetleri, genel bakım-onarım ve bazı ekipmanları değiştirme gerekliliği gibi operasyonel evrede gerçekleştirilmektedir. Kömür ve doğalgaz tesislerindeki metan sızıntısı kaynaklı CO₂ salınımı, çıkarılma ve işleme aşamalarında ortaya çıkan salınımlardır (Hondo, 2004). Hizmetten çıkarılma ile ilgili salınımlar sadece nükleer tesisler için öngörülmüştür. Fosil olmayan yakıtlar içinde inşaattan kaynaklı GWh başına düşen CO₂ salınımı en az nükleer için 2,83 ton olarak saptanmış; diğerleri için jeotermal, hidroelektrik, rüzgâr ve güneş (PV) için sırasıyla 5,30; 9,4; 21,21 ve 41,06 ton olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yakıtlar için hesaplanan operasyon kaynaklı üretilen GWh başına düşen CO₂ salınımı hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal, güneş (PV) ve nükleer için sırasıyla 1,94; 8,29; 9,71; 12,34 ve 20,96 ton değerlerini almıştır. Fosil yakıt

sistemleri inşaat için ortalama 3,06 ton ve operasyonlar için 61,64 ton salınım yapmaktadır. Sonuç olarak sıfır salımlı elektrik üretim teknolojisi bulunmamakta, inşaat veya operasyon işlemleri sırasında nispeten düşük de olsa sera gazı salınımı gerçekleşmektedir. Nükleer sistemlerde uranyum zenginleştirme evresi, özellikle rüzgâr ve güneş (PV) sistemlerinde inşaat faaliyetleri ve makinelerde yapılacak geliştirmeler salınımları düşürebilecektir.

Tablo 17: Elektrik Üretim Sistemlerinin Yaşam Döngüsü Sera Gazı Salınımı Analizi (LCA), Japonya örneği

	Kapasite	CO2 ton/Gwh	Yakıt	İnşaat	Operasyon	Metan Sızıntısı	Toplam
Kömür	1.000	975,20	%90,9	%0,4	%3,3	%5,4	%100
Petrol	1.000	742,10	%94,9	%0,3	%4,7	-	%100
Doğalgaz	1.000	607,60	%78,7	%0,5	%19,4	%1,5	%100
Nükleer*	1.000	24,20	-	%11,7	%86,6	-	%100
Hidroelektrik	10	11,30	-	%82,8	%17,2	-	%100
Jeotermal	55	15,00	-	%35,3	%64,7	-	%100
Rüzgâr	0,3	29,50	-	%71,9	%28,1	-	%100
Güneş (PV)	0,003	53,40	-	%76,9	%23,1	-	%100

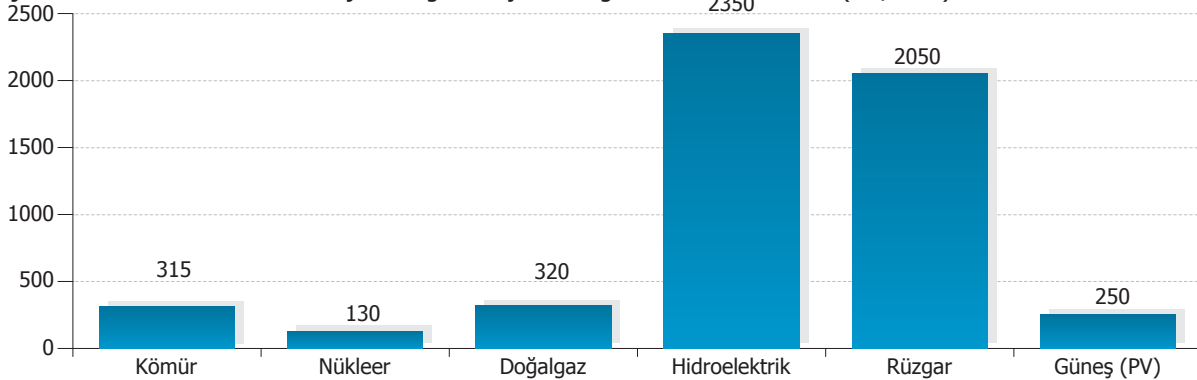
* Çalışmada nükleer tesisi hizmetten çıkarmak maliyeti toplam maliyetin %1,8 olarak kabul edilmiş ve toplama eklenmiştir.

Kaynak: (Hondo, 2004)

4.1.2. ALAN KULLANIMI

Enerji üretim tesisleri bulundukları yeri mekânsal kullanım açısından da etkilemekte, coğrafi ve stratejik özelliklere göre bazen karar alıcıları seçim yapmak durumunda bırakmaktadır. Şekil 4 ile kömür¹⁴, nükleer, doğalgaz, hidroelektrik, rüzgâr ve güneş (PV)¹⁵ teknolojilerinin yaşam döngüsü alan kullanımları gösterilmiştir. Nükleer GWh başına ortalama 130 m² ile kullanım alanı en az teknoloji olup; güneş (PV), kömür, doğalgaz teknolojileri sırasıyla 250, 315, 320 m² değerlerini almışlardır. Rüzgâr ve hidroelektrik teknolojileri GWh başına diğer teknolojilerin ortalama ihtiyaç duyduğu alanın 7,7 kat daha fazla kullanım alanına ihtiyaç duymaktadır. Veriler ortalama olup; tesislerin kapasiteleri, teknolojileri, verimlilikleri vb. etkenlerle oldukça değişebilmektedir.

Şekil 4: Elektrik Üretim Teknolojilerine göre Yaşam Döngüsü Alan Kullanımları (m²/GWh)



Kaynak: Fthenakis and Kim (2009)'dan aktaran (Kammen, Nelson, Mileva, & Johnston, 2011)

(Entergy Arkansas, 2009) çalışmasına göre, 1.800 MWe kurulu güce sahip bir nükleer tesis 4,45 km² (1,72 mil²) alana ihtiyaç duyarken, aynı kurulu güce sahip modern bir rüzgar enerjisi santrali 437,06 km² (168,75 mil²) ve güneş (PV) 54,36 km² (20,81 mil²) alana ihtiyaç duymaktadır¹⁶. Böylece ekonomik imkânları elverişli olan ancak yeterli alana sahip olmayan bölgeler için nükleer tesisler çözüm olabilir.

¹⁴ ABD'nin doğusunda ve batısında yer alan açık işletme kömür değerlerinin ortalaması alınmıştır.

¹⁵ Multi-silicon fotovoltaik ve konsantre fotovoltaik değerlerinin ortalaması alınmıştır.

¹⁶ Kapasite kullanımları (capacity factor) farklılıkları göz önünde bulundurulduğunda rüzgar ve güneş (PV) enerjisi sistemleri daha fazla alana ihtiyaç duyacaktır.

4.1.3. SU KULLANIMI

Artan sanayileşme, nüfusun artışı, küresel iklim değişikliği gibi sebepler su kaynaklarının kirletilmesine ve temiz su kaynaklarının azalmasına sebep olmuştur (Yılmaz & Peker, 2013). Su, sadece yaşam açısından değil politik açıdan da öne çıkan konulardan olmuş; bu önem İsmail Serageldin¹⁷ tarafından "21. yüzyıl su savaşları çağı olacaktır" sözüyle dikkat çekmiştir (Bulut, 2011). Gerçekten de 1990'ların başından itibaren suyla ilgili yaşanan anlaşmazlıklar (conflict) sayıca çoğalmış, anlaşmazlıklar boyut değiştirip; alt ulusal (subnational) anlaşmazlıklar ülkelerarası (transnational) anlaşmazlıkları gerçekleştiren olay sayısı bakımından geçmiştir (Gleick & Heberger, 2013). Bu denli hayati önem taşıyan suyun idare edilmesi ve temiz kaynakların sürdürülebilmesi hususu önem arz etmektedir. Türkiye kişi başına düşen yıllık 1.519 m³ su miktarıyla su azlığı yaşayan ülkelerdendir (DSİ İnternet, 2014). 2003 yılı istatistiklerine göre Türkiye'de su tüketiminin %74'ü tarım, %11'i sanayi ve %15'i hane halkları (domestic use) tarafından gerçekleştirilmekle birlikte ABD, Almanya, Fransa, İsviçre gibi sanayileşmiş bazı ülkelerde sanayi sektörünün su tüketimi %40'ın üzerine çıkabilmektedir¹⁸ (Pasific Institute, 2013).

Dünya'da elektrik üretiminin %90'ından fazlası ısı tabanlı teknolojiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Söz konusu teknolojilerde ısıya dönüşen enerji suyu buharlaştırmakta ve yüksek sıcaklıktaki yoğun buhar türbinlerini çevirerek elektrik üretimini sağlamaktadır. Elektrik üretim teknolojisi, kullanılan soğutma sistemi, termal verimi, soğutma suyu sıcaklığı vb. etmenler kullanılan ve tüketilen suyun miktarında önemli etkilere sahip olmaktadır. Tesis işletim ve soğutma sürecinde temel olarak 2 sistem¹⁹ kullanılmaktadır:

- **Açık devre soğutma (Once-through cooling veya open-loop cooling):** Belirli bir rezervden (deniz, nehir, göl vd.) alınan su tesiste kullanıldıktan sonra kaynağına daha yüksek bir sıcaklığa sahip olarak gönderilir. Kullanılan su miktarı yüksek iken, buharlaşmadan dolayı kaybedilen suyun miktarı düşüktür.
- **Kapalı devre soğutma (Re-circulating cooling veya closed-loop cooling):** Tesise giren su soğutma kulelerinde soğutulur ve tekrar sisteme verilir ve böylece ısı dengesi sağlanarak daha düşük miktarda su kullanılır. Ancak buharlaşma sebebiyle kaybedilen su miktarı daha yüksektir.

Kapalı devre soğutma sistemleri özellikle son yıllarda yapılan tesislerde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin 1970'lere kadar ABD'de açık devre soğutma sistemleri daha yaygınken; günümüze kadar olan süreçte kapalı devre sistemler açık ara üstünlüğü elde etmiştir. 2012 yılı istatistiklerine göre ABD'de bulunan soğutma sistemi kullanan enerji tesislerinin %53'ü kapalı devre sistemlerini, %43'ü açık devre sistemlerini ve %4'ü de diğer soğutma sistemleri kullanmaktadır. Güneş (PV) ve rüzgâr sistemleri üretim esnasında su tüketmemekte veya kullanmamakta, hidroelektrik santraller suyun kütle etkisini kullanmakta ve diğer termik tabanlı tesisler su buharını kullanmaktadır (Macknick, Newmark, Heath, & Hallett, 2012). Su tüketimi ve kullanımıyla ilgili taranan 30 kadar çalışmanın sonuçları Tablo 18 ile gösterilmektedir. Ancak termik tabanlı sistemler en fazla su kullanımına sahip teknolojiler olmakta ve kullanım suyunu yüzlerce derece sıcaklığa çıkarmaktadır. Kapalı devre sistemler kullanım suyunu tesis içinde soğutması ve tekrar kullanması sebebiyle daha az miktarda su kullanmakta, açık sistemler ise kullanmak için aldığı suyu tekrar kaynağa göndermesi ve yeni suyu kaynaktan çekmesi sebebiyle su kullanımı büyük miktarda arttırmakta ve suyu boşalttığı (water discharge) kaynağın sıcaklığını arttırmaktadır. Artan sıcaklık kaynağın (deniz, nehir, göl vd.) canlı yaşamını tehdit etmektedir (US EPA, 2013). Nükleer enerji santralleri açık devre veya kapalı devre fark etmeksizin, üretilen MWh elektrik başına ortalama olarak en çok su tüketen ve kullanan tesislerdir. Nükleer tesislerde birim elektrik üretim başına sera gazı salınımları oldukça düşük iken su tüketimi ve kullanımları aksine çok yüksek miktarlara ulaşmaktadır. Termik tabanlı tesislerin kullandıkları ve boşalttıkları suyun doğaya etkisinin olmadığını iddia etmek imkânsız olmakla birlikte, çevre yaşantısına etkisinin minimum düzeyde tutulması için kapalı devre sistemler önerilmekte

¹⁷ Dünya Bankası Başkan Yardımcısı (1992-2000) <http://www.serageldin.com/Home/Page.aspx?id=21> Erişim Tarihi: 14.11.2014

¹⁸ "Sanayileşmiş ülkelerde sanayide kullanılan su tüketiminin payı yüksektir" genellemesini yapmak zor görünmektedir. Örneğin Japonya, Avustralya ve Danimarka'da su tüketiminde sanayinin payı %20'nin altındadır (Pasific Institute, 2013)

¹⁹ Diğerleri; hybrid (karma), dry cooling (kuru) sistemlerdir. <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=14971> E. T: 16.11.2014

ve böylece kullanılan su %90 oranında azalmaktadır. Dolayısıyla, mevcut teknolojiler arasında etkisi en az olan sistemler olarak görülmektedir (Henderson, et al., 2011).

Tablo 18: Elektrik Üretim Teknolojilerine Göre Su Tüketimi ve Kullanımı Miktarları (gal/MWh)

	Soğutma Teknolojisi	Su Tüketimi (Water Consumption)		Tar. Kay. Sayı.	Su Kullanımı (Water Withdrawal)		Tar. Kay. Sayı.
		Medyan	En az - En çok		Medyan	En az - En çok	
Güneş (PV)	-	1	0 – 5	3	-	-	-
Rüzgâr	-	0	0	2	-	-	-
Biyoenerji	Kapalı Devre	553	480 – 965	4	878	500 – 1.460	2
Biyoenerji	Açık Devre	300	300 – 300	1	35.000	20.000 – 50.000	1
Jeotermal	Kapalı Devre	15	5 – 361	4	-	-	-
Jeotermal	Karma	461	221 – 700	2	-	-	-
Hidroelektrik	-	4.491	1.425 – 18.000	3	-	-	-
Nükleer	Kapalı Devre	672	581 – 845	6	1.101	800 – 2.600	3
Nükleer	Açık Devre	269	100 – 400	4	44.350	25.000 – 60.000	4
Doğalgaz*	Kapalı Devre	475	390 – 626	10	655	562 – 762	9
Doğalgaz*(CCS hariç)	Açık Devre	170	48 – 196	5	23.190	8.750 – 40.000	3
Kömür (Jenerik)	Kapalı Devre	687	480 – 1100	5	1.005	500 – 1.200	4
Kömür (Jenerik)	Açık Devre	250	100 – 317	4	36.350	20.000 – 50.000	4

*3 sistemin (combined cycle, steam ve combined cycle with CCS) ortalaması alınmıştır.

Kaynak: (Macknick, Newmark, Heath, & Hallett, 2012)

Açık devre soğutma sistemine sahip nükleer santrallerin sudaki canlı yaşamına olan etkisi (Henderson, et al. (2011) çalışmasında açıklanan sonuçlara göre, yaklaşık 2.200 MWe net kurulu güce sahip ABD'nin Diablo Canyon nükleer güç santralinde kullanılan suya yılda 1,5 milyar larva balık (larval fish) sürüklenmekte, karışmakta ve yok olmaktadır. Yine ABD'nin California eyaletinin kıyılarında bulunan ve kapanan San Onofre nükleer güç santralinin Pasifik Okyanusu'ndan kullanmış olduğu sudan yılda 121 ton orta su balığını (palejik) tesise sürüklediği, 3 kilometre yarıçapında bir alanda balık sayısının %37-%70 arasında azalmasına neden olduğu saptanmıştır. Bu sebeple kapalı devre sistemlerin yaygınlaştırılması, yeni kurulacak tesislerde su kaynaklarının sürdürülebilirliği, soğutma sistemi Ar-Ge çalışmaları gibi konular önem arz etmekte ve bütüncül çevre yönetimi (holistic environmental management) yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir.

4.1.4. EKOSİSTEM VE BİYOÇEŞİTLİLİK ÜZERİNE ETKİLER

Elektrik üretim teknolojilerinin bulundukları ekosisteme ve ekosistemin biyoçeşitliliği üzerine etkisi kullanım alanlarının (landuse) özellikleriyle önemli derecede ilgilidir. Elektrik üretim tesislerinin temel olarak etkileri, rezervuar yaratımı, açık işletme madenciliği, atık depoları, alanların öz niteliğini değiştirme vd. sebeplerle habitat ve ekosistemin doğrudan yok edilmesi; endemik türlerin yaşam alanlarının daraltılması ve doğal yaşamın tehdit edilmesi; su ve hava kirliliğiyle çevreyi kalitesizleştirme şeklinde olmaktadır (Jayant, et al., 2012). Yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerinin ekosistem ve biyoçeşitlilik üzerindeki etkileri ise şu şekildedir (Jayant, et al., 2012):

- **Biyoenerji:** Alan kullanımı değişiklikleri (örneğin, orman arazilerinin tarıma açılması) sebebiyle yüksek kaliteli doğal yaşam alanlarının kaybı, tarımsal yoğunlaşma sebebiyle tarımsal biyoçeşitlilik üzerine etkiler, toprak bozulması, su habitatlarında azot ve fosfat miktarının (eutrophication) ve zararlı organizmaların artması, istilacı veya genetiği değiştirilmiş türlerin türemesi,
- **Güneş (PV):** Tesisin kurulma aşamasında üzerinde kurulduğu alanda bulunan canlıların zarar görmesi, tesislerin gölgesinde kalan bitki türlerinin etkilenmesi,

- **Jeotermal:** Sondaj sonucu yeryüzüne çıkan ve etrafa yayılan suyun tehlikeli kimyasal bileşikler içermesi durumunda çevreye verdiği etki, koruma alanlarındaki doğal çevreyi etkilemesi,
- **Hidroelektrik:** Kıyı, nehir, göl ve benzer (lentic) ekosistemlerin değişmesi, balık göç yollarının etkilenmesi, canlıların üreme ve gelişme bölgelerine ulaşımının aksaması, nehirlerin tortul yük (sediment load) miktarlarında değişim, su altında kalan alanlar sebebiyle canlıların doğal yaşam mekânlarındaki kayıp, suyun kimyasal bileşiminin ve sıcaklığının değişmesi, mevsimsel akıntılardaki değişim, endemik ve yerli türlerin yok olması ve yerli olmayan canlı türlerinin yayılımı,
- **Rüzgâr:** Göç rotalarında bulunması durumunda göçmen kuşların etkilenmesi, pervaneye çarpan hayvanların zarar görmesi, kıyının açığında (off-shore) kurulan santrallerin kurulum aşamasında çıkan ses ve gürültünün deniz memelilerini ve derin deniz canlılarını olumsuz etkileyebilmesi olarak sıralanabilir. Colby, et al. (2009) çalışmasına göre Rüzgâr santrallerinin çıkardığı gürültünün sağırlığa sebep olmadığı, düşük frekansta olan ve duyulmayan seslerin insan sağlığına fiziksel olarak herhangi bir risk teşkil etmediği ancak psikolojik etkisi olduğu saptanmıştır.

Yenilenebilir olmayan elektrik üretim teknolojilerinin etkileri ise;

- **Fosil yakıtlar:** Kömür, petrol, doğalgaz vb. fosil temelli üretim teknolojileri alan kullanımından dolayı yenilenebilir enerji teknolojileri tesisleri gibi doğal yaşamı etkilerken, ek olarak sera gazı salınımları sebebiyle havayı ve suyu kirleterek ekolojik dengeyi sarsmakta, su kullanımı ve su boşaltımının (discharge) mekanik etkileri sudaki canlılara fiziksel olarak zarar vermekte, sıcak su boşaltımları ise suyun sıcaklığını arttırarak, yakın çevredeki su canlılarının yok olmasına sebep olmaktadır (Kryshev, 1998).
- **Nükleer:** Nükleer santraller fosil yakıtlarla aynı şekilde çevreyi etkilemekte, benzer yollarla doğal yaşamı etkilemektedir. Sera gazı salınımlarını düşük miktarda gerçekleştirmesi sebebiyle, fosil yakıt temelli teknolojilerin çevreye olan etkisine nükleer tesisin işletim aşamasında karşılaşılmamaktadır (Kryshev, 1998) ancak özellikle yakıt olarak kullanılacak uranyumun zenginleştirme faaliyeti yoğun sera gazı salınımına neden olmaktadır (Hondo, 2004).

Söz konusu tesislerde kapalı devre soğutma sistemi kullanılması durumunda tesisin soğutma kulelerinden (bacalarından) sıcak su buharı çıkmakta ve havaya karışmaktadır. Çıkan sıcak suyun havayı ısıtması herhangi bir probleme sebep olmamakta, esas sorun suya boşaltılan (discharge) sıcak su olmaktadır (UCS, b).

Özetle, her elektrik üretim tesisi ekolojik sistemi az ya da çok etkilemektedir. Üretim teknolojisi tercihi yaparken bütüncül yaklaşımla fayda-maliyet analizi yapılmalı, çevreye olan etkisi en azından insanoğlunun yaşam kalitesini devam ettirebilmek için mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple doğayı en az şekilde etkileyen elektrik üretim teknolojilerinin kullanılması ve mevcut teknolojilerin daha çevre dostu ve verimli hale getirilmesi önem arz etmektedir.

4.1.5. KAZALAR VE RİSKLER

Elektrik üretim teknolojilerinde de diğer tüm üretim teknolojilerinde olduğu gibi olan bazı aksaklıklar, kazalar ve felaketlerle karşılaşmaktadır. Söz konusu olumsuzluklar doğal tehlikeler, teknolojik iş görmezlik, kötü niyetli müdahaleler (purposefully malicious action) ve insan kaynaklı sebeplerle olabilmektedir. Olumsuzluklar sadece elektrik üretiminin olduğu safhada değil, tesisin inşaa aşamasından, atık bertarafına kadar tüm tedarik zinciri boyunca olabilmektedir (Jayant, et al., 2012). Çeşitli enerji üretim teknolojilerinin taşıdığı riskler Tablo 19 ile gösterilmiştir. Petrol, doğalgaz, jeotermal su üretiminde sondaj işlemi yapılmakta, kömür üretiminde ise kazma işlemiyle kaynaklar yerkürenin üzerine çıkarılmaktadır. Petrol, doğalgaz, jeotermal su üretim sürecinde rezervler kullanıldıkça yerkürenin alt tabakasında boşluklara neden olmakta ve yapay deprem ve çöküntü riski oluşturmaktadır. Hidroelektrik teknolojisinde ise küçük alanlarda yüksek miktarda su toplanması nedeniyle tabana yüksek basınç uygulanması söz konusu

olabilmekte çöküntü ve yapay depremlere neden olabilmektedir²⁰. Diğer taraftan karbon yakalama ve depolama sistemleri (CCS), azalan petrol ve doğalgaz rezervlerinin dışarıya çıkarmak için yüksek düzeyde basınçla yer altına pompalanması sebebiyle kayaları yerinden oynatmak suretiyle çöküntülere sebep olabilmektedir²¹. Hidroelektrik santraller havzadaki suyu kontrol edebilmeleri, biyoenerji ise yeni tarım alanları açılması yönünde baskı yaratması ve mevcut tarım alanlarına ekimi yapılacak gıda ürünleri yerine biyoenerji için kullanılacak bitkilerin ekilmesi kaynak yarısına sebep olmaktadır. Örneğin biyoyakıt için dikimin fırsat maliyeti gıda bitkileri üretimi olmuş ve gıda fiyatlarının artışına sebep olmuştur (Kalkınma Bakanlığı, 2014). Güneş panelleri üretiminde kullanılan silikon kristalleri imalatı aşamasında²² ve jeotermal sularla birlikte sülfür, arsenik, cıva gibi ağır metallerin yeryüzüne çıkmasının olası olması sebebiyle her iki teknoloji tehlikeli maddelerin açığa çıkmasına doğrudan veya dolaylı olarak sebep olabilir. Nükleer atıkların radyoaktivitelerini uzun süre devam ettirmeleri ve karbon yakalama ve depolama teknolojilerinde ise depolanan alanda meydana gelen sızıntının canlı sağlığı ve yeryüzünün altına depolanması veya pompalanması durumunda yeraltı sularını kirletme tehlikesi bulunmaktadır (Denstedt & Kirby, 2009). Nükleer silahlanma şüphesiz ki en önemli risklerdendir, "Nükleer Silahlarının Yaygınlaşmasının Önlenmesi Anlaşması" (NPT) 190 ülke tarafından imzalanmasına rağmen²³ bazı ülkeler tarafından imzalanmamış, Kuzey Kore, Pakistan, Hindistan, İsrail gibi ülkelerin faaliyetleri²⁴ nükleer silahsızlanmanın geleceği açısından riskli görülmektedir. Doğalgaz, yenilenebilir enerji faaliyetleri enerji ticareti yapan ülkelerin enerji portföylerinde değişikliğe veya ulaşılabilirliklerinde farklılaşmalara sebep olmuştur. Diğer taraftan boru hatlarıyla taşınamayan doğalgaz sıvılaştırılarak LNG haline getirilerek ve tankerlerle taşınması sebebiyle terör ve korsan saldırılarının hedefi olabilmektedir (Hurst, 2008). Diğer taraftan başka ülkelere kurulan enerji üretim tesislerinin ve enerji nakil hatlarının özellikle istikrarsız siyasi iklimlerde terörist saldırılara maruz kalması mümkün görünmektedir (Desertec Analizi)²⁵.

Tablo 19: Çeşitli Enerji Üretim Teknolojilerinin Taşıdığı Riskler

Risk Alanı	Etkilenen Teknolojiler
Yapay Deprem/Çöküntü	Petrol, doğalgaz, kömür, hidroelektrik, jeotermal, karbon yakalama ve depolama
Kaynak Yarışı	Biyoenerji, hidroelektrik
Tehlikeli madde	Güneş (PV), jeotermal
Uzun dönemli depolama	Nükleer atıklar, karbon yakalama ve depolama
Silahlanma	Nükleer
Jeopolitik, terör saldırıları	Doğalgaz, yenilenebilir enerji (örn. Termal güneş)

Kaynak: (Jayant, et al., 2012)

Enerji üretimi ile ilgili kazalar sadece enerji üretimi evresinde değil enerji planlamasından, kaynağın çıkarılması, tesisin inşaatı ve tamamen hizmetten çıkarmaya kadar tüm evrelerde olabilmektedir. Tablo 20 ile elektrik üretim teknolojilerinin türlerine göre sebep oldukları ölümlerin istatistikleri verilmiştir. GW başına en fazla ölüm OECD ülkelerinde kömürden olmuşken, diğer ülkelerde hidroelektrik teknolojisi ve petrol sebebiyle olmuş, en az ölüm ise güneş (PV), Gen II – PWR tipi santraller ve rüzgâr (kara) (ülkeler genelinde bilgi mevcut değil) teknolojilerinde olmuştur. Ölen sayısına bakıldığında iki felaket tüm istatistikleri altüst etmektedir. Birincisi, Ukrayna'da bulunan Çernobil Nükleer Santrali'nin 26 Nisan 1986 yılında nükleer test sırasında patlamasıyla²⁶ 31 kişinin ölmesi fakat sonrasında radyasyona bağlı ölümlerin 9.000 ile 33.000 arası gibi korkunç seviyelere çıkmasıdır. Diğeri ise 1975 yılında Çin'de Banqiao Barajının yıkılması ile oluşan akıntı sebebiyle yaklaşık 26.000 kişinin ve bulaşıcı hastalıklar ve açlıktan dolayı 230.000 kişinin ölümüdür (Graham, 1999). Hidroelektrik hariç yenilenebilir enerji teknolojilerinin yakın zamanda kullanılmaya başlayan teknolojiler ve göreceli olarak düşük kapasitelerde olmaları sebebiyle ölümüne neden olduğu kişi sayısı bakımından oldukça düşük olduğu, daha olgun teknolojilerin (fossil, nükleer vd.)

²⁰ International Rivers, <http://www.internationalrivers.org/earthquakes-triggered-by-dams> Erişim Tarihi: 16.12.2014

²¹ CCSA, <http://www.ccsassociation.org/faqs/can-the-injection-of-carbondioxide-lead-to-earthquakes/> Erişim Tarihi: 16.12.2014

²² ABD Oregon Gov., <http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/docs/life-cyclehealthandsafetyconcerns.pdf> Erişim Tarihi: 16.12.2014

²³ BM, <http://www.un.org/disarmament/WMD/Nuclear/NPT.shtml> Erişim Tarihi: 16.12.2014

²⁴ <http://www.wsj.com/articles/SB123154631955669739>

²⁵ Palgrave Journals, <http://www.palgrave-journals.com/rm/journal/v14/n1/abs/rm201115a.html> Erişim Tarihi: 16.12.2014

²⁶ USNRC, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/chernobyl-bg.html> Erişim Tarihi: 15.12.2014

sebepler olduğu ölümlerin ise daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 20: Enerji Üretim Teknolojileri Kaynaklı Ölüm Oranları ve Sayıları

	Ölüm/GWe-yıl		Ölen kişi		Açıklama
	OECD	Diğer	OECD	Diğer	
Kömür	0,1200	0,5690	272	65	*Çin ²⁷ hariç (1970-2008)
Petrol	0,0932	0,9300	252	4.386	(1970-2008)
Doğalgaz	0,0721	0,1150	109	243	(1970-2008)
Hidroelektrik	0,0027	0,936	14	2.500	Banqiao felaketi hariç ²⁸
Nükleer (Gen II – PWR)	0,000414		EF:502,LF:9.738,TF:10.240		Mart 2011 Fukushima'daki kazayı kapsamamaktadır ²⁹
Nükleer (Çernobil)	0,0302		EF:31,TF:9.000 - 33.000		
Güneş (PV)	0,000245		5		Kristal silikon paneller
Rüzgâr (kara)	0,001890		5		Almanya özelindeki veri
Rüzgâr (kıyı)	0,006410		10		Birleşik Krallık özelinde veri.
Biyoenerji (Kombine sist.)	0,014900		10		Yerel dağıtım sistemi dahil
Jeotermal	0,001740		7		Geliştirilmiş Jeoter Sistem

Kaynak: (Jayant, et al., 2012)

Şüphesiz ki nükleer santrallerde karşılaşılan en önemli risk radyoaktivite ile ilgili konulardır. Radyoaktif parçaların yayılmasına sebep olan riskler; reaktör çekirdeğinin erimesi, radyoaktif madde sızıntısı ve yüksek miktarda radyoaktif maddenin belirlenmiş alanların dışına dağılması şeklinde sıralanabilir (Mukaiyama, 2014). Tablo 21 ile mevcut nükleer santrallerin çoğunu oluşturan 2. nesil bir reaktörün çekirdeğinin erime ihtimali yüz binde bir iken, son model reaktörlerde bu oranın milyonda birin çok altında olduğu gösterilmiştir. Hem yeni tip tasarımlar (aktif güvenlik önlemlerinden ziyade pasif güvenlik önlemleri) hem artan güvenlik önlemleri sayesinde (Goldberg & Rosner, 2011) yeni nesil reaktörlerin daha güvenli ve az can ve mal kaybına sebep olmasını öngörmek yanlış olmayacaktır.

Tablo 21: Nükleer Reaktör Çekirdeğinin Erime Olasılığı

Model Reaktör Kapasitesi	2. Nesil Reaktör ³⁰	ABWR 1.350 MW	AP1000 1.170 MW	APR1400 1.400 MW	ESBWR 1.550 MW	EPR 1.600 MW
Erime Olasılığı	$2,0 \times (10)^{-5}$	$1,6 \times (10)^{-7}$	$5,0 \times (10)^{-7}$	$2,3 \times (10)^{-6}$	$3,2 \times (10)^{-8}$	$6,1 \times (10)^{-7}$

Kaynak: (Grigoriev, 2014)

Diğer taraftan Rangel & Leveque (2012) çalışmasına göre, nükleer endüstri tarihinde ilki 1959'da California – ABD'de ve en yenisi ise 2011'de Fukushima-Japonya'da olmak üzere 11 çekirdek erimesi (1986-Çernobil dâhil) kazası olmuştur. 50.000 reaktör yılda²⁷ bir kaza olma olasılığı hesaplanmışken, 15.661 reaktör yılda (IAEA, 2014) gerçekleşen 11 çekirdek erimesinin düşünüldüğünde ortalama olarak 1.424 reaktör yılda bir çekirdek erimesiyle karşılaşıldığı gerçeği mevcuttur. U.S. NRC & Sandia (2008) çalışmasında belirtilen 1982 yılında yayınlanmış bir çalışmaya göre, ABD nükleer reaktörleri özelinde olası bir kazada yaşanacak felaketler senaryosunda erimenin sebep olduğu tavan ölüm (peak early fatalities) 173 kişi (WPPSS-3 reaktörü, Olimpia, WA) ile 100.000 kişi (her bir Salem-1 ve 2 reaktörleri, Salem, NJ) arası, kanser sebebiyle tavan ölüm (peak cancer deaths) 100 kişi (Yankee Rowe, Rowe, MA) ile 38.000 kişi (Millstone-3 reaktörü, Waterford, CT) miktarlarına ulaşacağı tahmin edilmiş, toplam mal zararınınsa reaktör başına 21,4 milyar \$ (Yankee Rowe, Rowe, MA) ile 314 milyar \$ (Indian Point-3, Buchanan,

²⁷ 1994-1998 yılları arasında Çin'de 434 kişi ölmüştür.

²⁸ Banqiao/Shimantan Barajı'nın (Çin) yıkılması (1975) 26.000 kişinin ölmesine sebep olmuştur.

²⁹ EF (early fatalities): erken ölümler (doğrudan), LF (latent fatalities): örtülü ölümler (daha sonra), TF (total fatalities): toplam ölüm

³⁰ (Rangel & Leveque, 2012) çalışmasının (EPRI, 2008) çalışmasının ABD için hesapladığını belirttiği olasılıktır.

NY) arasında olacağı hesaplanmıştır. Söz konusu çalışmada verilen maddi kayıp miktarların gerçekliği, kazaların gerçekleşme ihtimalleri ve yeni yapılan tesislerde kaza ihtimallerinin oldukça düşük olduğu gibikonular tartışmaya açık olmak ile birlikte riskin olmadığını varsaymak fazla iyimser bir tahmindir. Risk düşük olsa da vardır, sonuçları gerçekten ciddidir. Buna rağmen, yenilikçi çalışmalarla kaza riskinin daha da düşeceği aşikârdır. Çok sayıda gelişmiş ve gelişmekte olan ülkenin tercihi olan nükleer enerji iyi bir enerji alternatifi olarak kabul edilmektedir.

4.2. NÜKLEER SANTRALLERİN DİĞER ETKİLERİ

Nükleer santraller kurulduğu bölgeyi ekonomik, sosyal, kültürel, teknolojik gibi pek çok açıdan etkilemektedir. Çevreye, istihdama ve bölge ekonomisine olan etkileri genel olarak en çok tartışılan etkilerin başında gelmektedir. Diğer etkileri ile ilgili kısaca bilgi verilmeye çalışılacaktır.

Bezdek & Wendling (2006) çalışmasında ABD'den 7 nükleer tesis analiz edilmiş, tesis yakınındaki ev talebinin yükselmesi, yüksek ücretli çalışanların kaliteli ev talep etmesi, vergi gelirlerinin daha yüksek altyapı yatırımlarına izin vermesi vb. sebeplerle tesislere yakın muhitlerdeki emlak fiyatlarının bölge ortalamalarının üzerinde yükseldiği belirtilmiştir. Diğer taraftan Davis (2010) çalışmasına göre 1990'dan sonra hizmete giren nükleer tesislerde 2 mil (3,22 km) kadar uzaklıkta olan mekânlarda emlak fiyatları ve kira bedelleri %3 - %7 arasında; hatta bazı yüksek kapasiteli tesislere 1 milden (1,61 km) daha yakın olan mekânlarda daha fazla düşüş gözlemlendiği belirtilmiştir. Nükleer tesislerin emlak fiyatları üzerindeki etkileri ile ilgili literatür taraması yapan Ruhil (2012) çalışmasına göre varsayımları, örneklemeleri ve metodolojileri farklı olan çalışmaların sonuçlarına göre nükleer tesislerin konut fiyatları üzerinde olumlu, olumsuz veya nötr etkileri olduğunu saptayan çalışmalar olduğu belirtilmiştir. İsveç'te bulunan Forsmark nükleer santrali özelinde yapılan çalışmaya göre söz konusu nükleer santrale olan yakınlık ile emlak fiyatları arasında ilişkinin varlığına rastlanmamıştır (Ewelönn, 2011). Anlaşıldığı üzere, nükleer tesislerin emlak fiyatları üzerine etkisi ile ilgili bir fikir birliği bulunmamaktadır.

Nükleer tesislerin hem turizm üzerine hem de özellikle turizm bölgelerine olan etkileri ile ilgili oldukça az sayıda çalışma vardır (Kantarci, Uysal, & Altin, 2012). (Dąbrowski, 2012) çalışmasında Fransa örneğinden yola çıkarak nükleer santrallerin varlığı turizmin ve turizm altyapısının gelişmesine engel teşkil etmeyeceği belirtilmiş, (INPPS, 2014) çalışmasında ise nükleer santrallerin ve turizm faaliyetlerinin beraber yürütüldüğü örneklerle yer verilmiştir. Ancak (Kantarci, Uysal, & Altin, 2012) çalışması kapsamında yapılan ankete göre Mersin Akkuyu'ya yapılacak nükleer santralin turizm üzerinde olumsuz etkisi olacağı algısının yüksek olduğu belirtilmiştir. (Momal, 2013) sunumunda Fransa'da meydana gelebilecek büyük ölçüde bir kazanın turizm gelirlerinde uzun vadede 60 milyar € üzerinde azalmaya sebep olacağı tahmin edilmiştir.



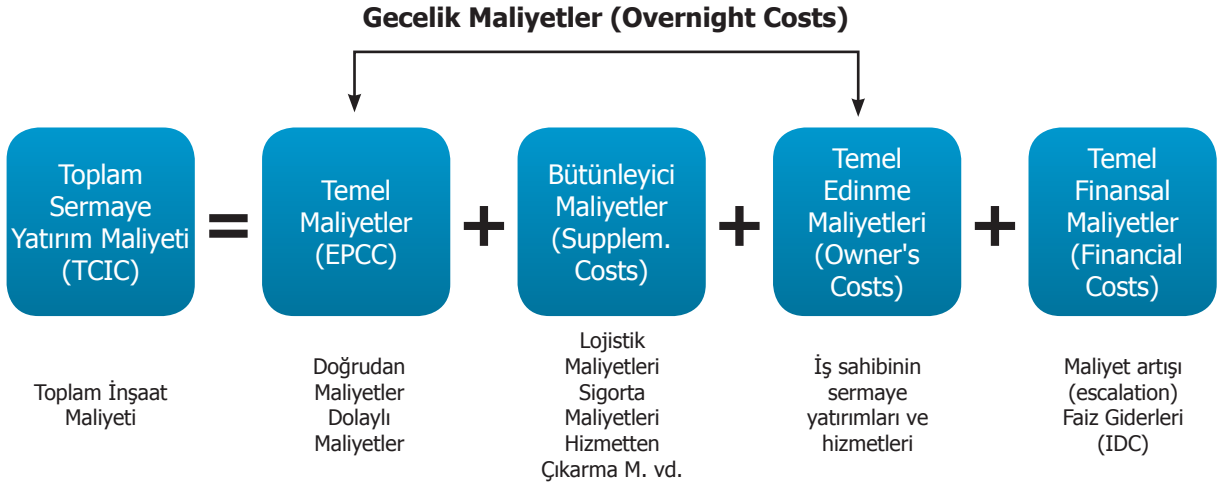
Enerji Ekonomisi

5. ENERJİ EKONOMİSİ

5.1. ENERJİ EKONOMİSİ

Elektrik üretim tesislerinin kurulumu (construction) enerji ekonomisinin hem kullanılan malzeme ve ekipman hem de inşaatı yapan işgücünün bölgesel ve ülke genelinde etkisi önemli konulardan olmuştur. Gerek karar alıcılar gerek enerji paydaşları (hane halkları, firmalar, sivil toplum vd.) için yatırım yapılacak teknolojinin türü, niteliği, kapasitesi gibi konular üzerinde önemli tartışmalar yaşanmaktadır. Ancak konu ile ilgili olarak yapılan önemli miktardaki çalışma teknik zorluklar sebebiyle varsayım ve öngörüler özelinde olmuş, bu ise enerji sistemlerinin en azından maddi açıdan maliyet ve etkisinin anlaşılmasını zorlaştırmıştır. Örneğin, konu ile ilgili bazı çalışmaları derleyen Thomas (2005) çalışmasında belirtildiği üzere; ABD için kurulum maliyeti (MIT, 2003) çalışmasında 1111 £/kWe, (Scully Capital, 2005) çalışmasına göre 500-800 £/kWe, İngiltere'nin Sizewell B reaktörü için (Performance&Innovation Unit, 2002) çalışmasına göre 2250-3000 £/kWe tahmin edilmiş ve maliyetlerin ne kadar farklılaştığı görülmüştür. Bir tesisin kurulum maliyeti teknolojik düzey, tesisin kapasitesi, malzeme-ekipman ve işçi maliyetleri, inşaat süresince göz önünde bulundurulmak durumunda kalan faiz ve enflasyon oranları, kurulum alanı gereklilikleri, mevzuat gereklilikleri, bölgesel maliyet farklılıkları vd. etmenler sebebiyle değişkenlik gösterir (Lau, 2014). Üretim teknolojileri kurulum maliyetleri genel olarak karşılaştırma yapmaya imkân vermesi sebebiyle "gecelik maliyetler" (overnight cost) terimi kullanılmaktadır.

Grafik 7: Toplam Sermaye Yatırım Maliyetinin ve Gecelik Maliyetin Hesaplanması



Kaynak: (González, 2014)

ABD'nin Elektrik Bilgi İdaresi tarafından yapılan (US EIA, 2013) çalışmasında ön hazırlık, inşaat, işçilik, mühendislik vb. maliyetlerini kapsayan gecelik maliyet hesaplamalarının medyanı, diğer çalışmalarla ise ticarileşmiş bir elektrik üretim teknolojisinin kurulum sürelerinin ve tesis işletim ömürlerinin ortalamaları veya medyanları Tablo 22 ile gösterilmiştir. ABD için gecelik maliyetlere bakıldığında 1 kw kurulu güç elde edilmek amacıyla katlanılması gereken maliyet en yüksek rüzgâr (kıyı) için 6.230 \$, nükleer için 5.530 \$, kömür içinse 4.400 \$ civarında olmuştur. Güneş (PV) ve rüzgâr (kara) teknolojilerinin kurulum süreleri 1 yıl kadar olup; en hızlı inşa edilen tesisler olarak göze çarpmaktadır. Bu durum ise ilk yatırımın getirisini diğer teknoloji türlerine göre daha hızlı alınması anlamına gelmektedir. Ortalama işletim ömürlerine bakıldığında nükleer santraller 60 yıl, hidroelektrik santraller ise 80 yıl ekonomik ömre sahiptir. Diğer teknolojilerin ortalama ekonomik ömürleri ise 20 ile 40 yıl arasında değişmektedir. İnşaat süreleri uzadıkça faiz ve enflasyon oranlarının belirsizlik göstermesi sebebiyle ileriye dönük maliyet tahminleri zorlaşmaktadır. Uç bir örnek olarak ABD'de 1966-1977 yılları arasında inşaatına başlanan 75 reaktör için yapılan maliyet tahminleri (1970'lerde yaşanan ekonomik ve siyasi krizde muhtemel etkisiyle) %207

oranında (gecelik maliyet 938 \$/kw tahmin edilirken gerçekte 2.959 \$/kw olmuştur) artış göstermiştir (Schlissel & Biewald, 2008). Fransa'nın Flamanville Nükleer Santrali'nin toplam inşaat maliyetinin tahmini 2005'te 3,3 milyar € iken 2010 yılında 5,0 milyar € olmuş; dolayısıyla tahminler %60 oranında revize edilmiştir (AnalysisGroup, 2011).

Tablo 22: Elektrik Üretim Teknolojisine Göre Maliyetler, 2012

Teknoloji	Gecelik Sermaye Mal. (\$/kw) (Overnight Cap. Cost)	Siparişten-teslime süre (yıl) (leadtime)	Ortalama İşletim Ömrü (yıl)(expected lifetime)
Kömür (Tek ünite IGCC)	4.400	4 (IEA NEA, 2010)	40 (IEA NEA, 2010)
Doğalgaz (Konva. CT)	973	2 (IEA NEA, 2010)	30 (IEA NEA, 2010)
Nükleer (Çift ünite)	5.530	7 (IEA NEA, 2010)	60 (IEA NEA, 2010)
Biyokütle (BFB)	4.114	2-3 (UK DECC, 2012)	20 (IRENA, 2012)
Rüzgâr (kara) (onshore)	2.213	1 (IEA NEA, 2010)	25 (IEA NEA, 2010)
Rüzgâr (kıyı) (offshore)	6.230	3 (UK DECC, 2012)	25 (Meijer, 2014)
Güneş (PV)	3.873	1 (IEA NEA, 2010)	25 (IEA NEA, 2010)
Jeotermal (Binary)	4.362	2 (Salmon, et al., 2011)	40 (IEA NEA, 2010)
Hidroelektrik (Konvans.)	2.936	1,5 - 8 (IEA ETSAP, 2010)	80 (IEA NEA, 2010)

Kaynak: (US EIA, 2013) (IEA NEA, 2010) (UK DECC, 2012) (Salmon, et al., 2011) (Meijer, 2014) (IEA ETSAP, 2010)

Elektrik üretim teknolojilerinden nükleer güç teknolojisine bakıldığında maliyetlerin ülke özelindeki finansal ve teknik kapasite, düzenleyici hükümler gibi etmenlere göre farklılaştığı dikkat çekmektedir (IEA NEA, 2010). Tablo 23 ile gösterildiği üzere tesislerin net kapasiteleri 1.070 MWe ile 1.630 MWe arasında değişmekte olup; birbirine yakın kapasitelerde olduğu görülmektedir. Güney Kore (1.556 \$/kWe) ve Çin (2.302 \$/kWe) en düşük gecelik maliyete sahipken, İsviçre (5.863 \$/kW) ve Çek Cumhuriyeti (5.858 \$/kWe) ise en yüksek değerlere sahip olmuştur. Nükleer elektrik üretimi yapan OECD ülkelerinin gecelik maliyetlerinin medyanı 4.102 \$/kWe ve ortalaması 4.055 \$/kWe olmuştur (IEA NEA, 2010).

Tablo 23: Nükleer Güç Santrallerinin Ülkeler Bazında Kurulum Maliyetleri

Ülke ³¹	Reaktör tipi – Kapasite (MWe)	Gecelik Maliyet(\$/kWe)
Güney Kore	APR-1400 / 1343	1.556
Çin	AP-1000 / 1250	2.302
Rusya	VVER-1150 / 1070	2.933
Japonya	PWR / 1120	3.009
ABD	3+ Nesil / 1350	3.382
Brezilya	PWR / 1405	3.798
Fransa (EDF, Flamanville)	EPR / 1630	3.860
Almanya	PWR / 1600	4.102
Belçika	EPR-1600 / 1600	5.383
Çek Cumhuriyeti	PWR / 1150	5.858
İsviçre	PWR / 1600	5.863

Kaynak: (IEA NEA, 2010)

Dikkat edilmesi gereken husus, yüksek ilk yatırım maliyetleri ile birim başına üretim maliyetlerinin (\$/kWh) aynı olmadığıdır. Kapasite kullanım oranları ve verimlilik konularının önemli olduğu \$/kWh maliyetleri ile teknoloji tiplerine göre başka bir tablo çizilebilmektedir. Seviyelendirilmiş enerji maliyetleri (SEM) doğrudan bir birim kWh üretebilmek için katılan maliyetleri gösteriyor olup; hangi enerji teknolojisinin

³¹ (IEA NEA, 2010) çalışmasında İsviçre, Güney Kore ve Çin özelinde kurulu kapasitesi yüksek reaktörler kayda alınmıştır.

daha rekabet edebilir maliyeti olduğu konusunu açığa kavuşturmaktadır. Sonuçta elektrikten faydalanan paydaşların katlanması gereken gider sayaçlardaki temel ilk okuma ve son okuma arasındaki farkı belirten tüketim miktarının kWh cinsinden olması sebebiyle (SEDAŞ, 2014), daha düşük kWh maliyeti daha rekabetçi fiyatların sunulabilmesine olanak sağlayabilmektedir. Dikkat edilmesi gereken husus gecelik maliyetlerin SEM hesaplamalarında önemli bir yere sahip olduğu ancak tek belirleyen olmadığıdır.

5.2. SEVİYELENDİRİLMİŞ ENERJİ MALİYETLERİ (SEM)

Seviyelendirilmiş enerji maliyetleri çeşitli üretim teknolojilerini karşılaştırma için kullanılan, bir enerji üretim tesisinin ekonomik ömrü boyunca katlandığı maliyetlerin, söz konusu dönem boyunca ürettiği toplam enerji miktarına bölümüyle hesaplanan ve genel olarak \$/MWh veya türevleri cinsinden belirtilen bir ölçü birimidir (REA, 2014). Tablo 22 ile gösterilen ABD gecelik maliyetleri değerleri Tablo 24 ile gösterilen OECD ülkelerinin gecelik maliyet medyan verilerinden oldukça farklılaşmış, hatta Tablo 23 ile gösterilen ABD verisi ile Tablo 22 ile gösterilen ABD verisi arasında (5 yıldan daha kısa bir sürede) %60'dan fazla fark oluşmuştur. Hal böyleyken karşılaştırma yapma imkânı gittikçe zorlaşmaktadır. Tablo 24 ile belirtilen SEM'e göre nükleer enerji maliyetleri diğer (doğalgaz, kömür, rüzgâr ve güneş) elektrik üretim teknolojileri ile karşılaştırıldığında üretilen MWh başına 58,53 \$ (kWh başı 5,8 sent) maliyetle en ucuz enerji türü olurken, güneş (PV) MWh başına 410,81 \$ ile en yüksek maliyete sahip olmuştur.

Tablo 24: OECD Ülkelerinin Elektrik Üretim Teknolojileri Verilerinin Medyanı

Medyan Verisi	Nükleer	Doğalgaz (CCGT)	Kömür (SC/USC)	Rüzgar (kara)	Güneş (PV)
Kapasite (kW)	1.400	480	750	45	1
Gecelik Maliyet (\$/kW)*	4.101	1.069	2.133	2.349	6.006
İşletme & Bakım Giderleri (\$/MWh)	14,74	4,48	6,02	21,92	29,95
Yakıt Giderleri (\$/MWh)	9,33	61,12	18,21	0,00	0,00
CO2 Giderleri (\$/MWh)	0,00	10,54	23,96	0,00	0,00
Yük faktörü (%) (load factor)	85	85	85	26	13
Siparişten-teslime süre (yıl) (lead)	7	2	4	1	1
Ortalama İşletim Ömrü (yıl) (ELtime)	60	30	40	25	25
SEM (LCOE) (\$/MWh) (%5 discount)	58,53	85,77	65,18	96,74	410,81

Kaynak: (IEA NEA, 2010)

SEM hesaplamaları gecelik maliyet hesaplamaları gibi çeşitli kaynaklarda metodoloji, varsayım vd. farklılıklar sebebiyle değişkenlik göstermektedir. Bazı kaynaklara göre verilen nükleer enerji SEM aşağıda gösterilmiştir. Tablo 25 ile çeşitli çalışmalara göre nükleer enerjinin SEM gösterilmiştir. Bir taraftan SEM (ICEPT, 2012) çalışmasında olduğu gibi 200 \$/MWh üzerinde olurken, diğer bir çalışmada (EPRI, 2012) ise bu miktar 80 \$/MWh olarak gösterilmiştir. Bu birkaç örnek dahi hesaplamaların yöntem ve varsayımlara göre ne kadar değişebileceğini göstermektedir. (ICEPT, 2012) çalışması ile gösterilen varsayım değişikliği durumunun sonuçlarına göre; inşaatı 6 yıldan 8 yıla çıkan, operasyon ömrü 60 yıldan 40 yıla düşürülen, yük faktörü %90'dan %80,5'e gerileyen, Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti (WACC) %10'dan 11'e yükselen ve yaklaşık %1,5 gecelik maliyet artışı yaşayan bir nükleer santral projesinin SEM'nin %50'den fazla artarak 95 £/MWh'ten 164 £/MWh'ye çıktığı gösterilmiştir.

Tablo 25: Çeşitli Kaynaklara Göre Nükleer Enerjinin Seviyelendirilmiş Enerji Maliyetleri

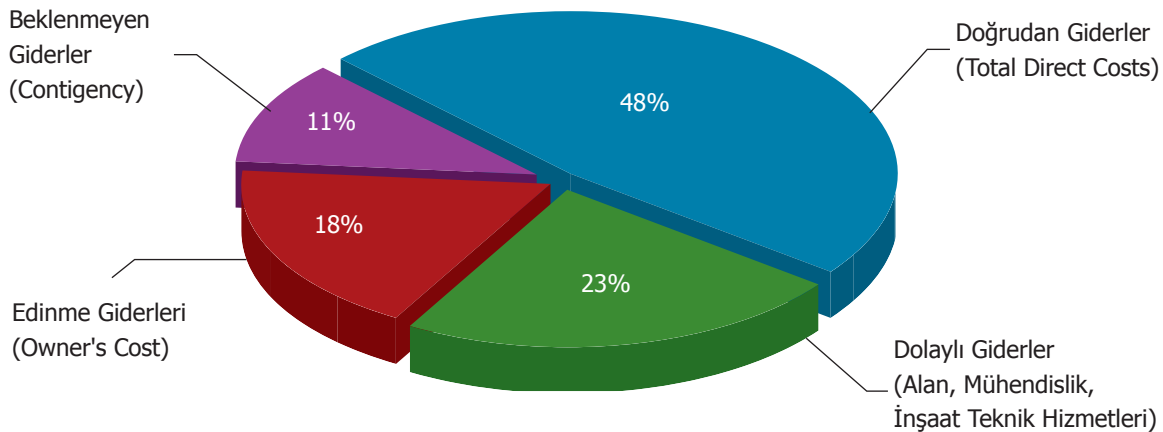
Kaynak	SEM (LCOE)	Açıklamalar
(EIA, 2014)	96,10 (\$/MWh)	2019 yılında hizmete girecek tesis (%10 indirim)
(DECC, 2013)	80,00 (£/MWh)	2019 yılında hizmete girecek tesis (%10 indirim)
(ICEPT, 2012)	164,00 – 175,00 (£/MWh)	8 yıl inşaat, 40 yıl tesis ömrü, %80,5 yük faktörü
(Sokolski, 2010)	99,00 (\$/MWh)	Unistar'ın Calvert Cliff 3 reaktörü için tahmini
(EPRI, 2012)	790,10 – 908,70 (ZAR/MWh)	Sırasıyla birer ünite Areva EPR ve AP1000 için
(WEC, 2013a)	94,00 (\$/MWh)	CAPEX: 4.800/MW Kapasite Faktörü: %88

Kaynak: Muhtelif

Sonuç olarak elektrik üretim teknolojileri hem çevresel etki hem de maliyet hesaplamaları konularında tek ve doğru cevabı olmayan farklı ve karmaşık sonuçlara sahip teknolojilerdendir. Ancak konu ile ilgili metodoloji belirlenmesi, varsayımların açıkça belirtilmesi, geçmiş verilerin sonraki çalışmalarla uyumlu hale getirilmesi (harmonization), güncel bilgilerin üretilmesi ve derlenmesi önem arz etmekte, konu ile ilgili ayrı çalışma yapmayı gerekli kılmaktadır.

5.3. NÜKLEER TESİS MALİYETLERİ

Gelişmiş 3. Nesil (Gen 3+) PWR reaktörlerden olan AP1000³² için (US EIA, 2013) tarafından gecelik maliyeti (overnight cost) 5.339 \$/kWe olarak tahmin edilen nükleer santralin maliyet kırılımları Grafik 8 ile gösterilmiştir. En büyük payı doğrudan giderler (%48)³³ alırken, bu payı sırasıyla dolaylı giderler (%23), edinme giderleri (%18) ve beklenmeyen giderler (%11) takip etmektedir. Black & Veatch (2012) çalışmasına göre fosil temelli teknolojilerde dolaylı giderler %3 ile %8 arasında değişirken (söz konusu çalışmada nükleer için ortalama %15,9 tahmin edilmekte) nükleer tesislerde %23 payında olması teknik kapasite ve hizmetlerin nükleer teknolojiler için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Gecelik maliyetlerin yüksek dalgalanma göstermelerinin sebepleri daha önce açıklanmış ancak ürün-yaşam eğrisi özelinde herhangi bir yorumda bulunulmamıştı. Hezir & Davis (2011) çalışmasında olgunlaşmış bir reaktör teknolojisine göre yeni reaktör dizaynları %25, gelişmiş yeni reaktör dizaynları ise %50 daha fazla gecelik maliyete sahip olabileceği belirtildiğinden³⁴ mali hesaplamalar yapılırken bu hususun göz önünde bulundurulması, revizyon ya da tahminlerin bu bağlamda yapılması önem arz etmektedir.

Grafik 8: AP1000 (2 ünite/2,236 MWe) Reaktörünün EIA Tahmini Gecelik Maliyet Kırılımları

Kaynak: (Hezir & Davis, 2011)

³¹ Bu tipte bir santralin maliyet kırılımının seçilmesinin sebebi Akkuyu (VVER-1200) ve Sinop'a (ATMEA) yapılması planlanan tesislerinde gelişmiş yeni nesil PWR reaktörlerden oluşacak olmasıdır. Detaylı Bilgi için: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Power-Reactors/Advanced-Nuclear-Power-Reactors/> Erişim Tarihi: 25.11.2014

³² Bu giderlerin çıplak maliyetler/bare cost olduğu düşünülmektedir.

³³ Detaylı bilgi için: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/223634/2013_Update_of_Non-Renewable_Technologies_FINAL.pdf Erişim Tarihi: 26.11.2014

Tablo 26 ile gösterildiği üzere bir nükleer santralin inşasında katlanılması gereken yatırım maliyetinin yaklaşık %30'unu işçilik giderleri (labor cost), %70'i ise malzeme-ekipman (metarials) maliyetleri oluşturmaktadır. İşçilik giderleri (toplam giderin %14,4) yoğun olarak yapılar ve geliştirmeler kısmında (balance of plant) ve malzeme-ekipman maliyetlerine ise reaktör tesisleri (%26,9) ve buhar türbini tesislerinde (%19,2) katlanılmaktadır. Tablo 23 ve Tablo 26 ile belirtilen verilerin ortalama bir santralin verisi olduğu varsayıldığında toplam gecelik maliyetin yaklaşık %14'ünü işçilik maliyetlerinin, %34'ünü malzeme-ekipman maliyetlerinin oluşturacağı söylenebilir. Buna göre US EIA (2013) çalışmasında gösterilen 5.339 \$/kWe gecelik maliyete sahip bir nükleer tesisi inşa etmek için kurulu kW başına yaklaşık 740 \$, malzeme-ekipman içinse yaklaşık 1.830 \$ katlanmak gerekmektedir.

Tablo 26: ABWR Tipindeki Ortalama Bir Reaktörün Yatırım Maliyetleri (Capital Cost) Kırımları

Sermaye Maliyeti Kalemi	Maliyet Yeri	Toplam Sermaye Maliyeti (%)
Yapılar & Geliştirmeler (Structures & Improvement)	İşçi Maliyetleri	14,4
	Malzeme-Ekipman Maliyetleri	11,5
Elektrik (Electrical)	İşçi Maliyetleri	2,2
	Malzeme-Ekipman Maliyetleri	5,8
Reaktör Tesis Ekipmanları (Reactor Plant Equipment)	İşçi Maliyetleri	4,4
	Malzeme-Ekipman Maliyetleri	26,9
Buhar Türbini Ekipmanları (Turbine Plant Equipment)	İşçi Maliyetleri	3,3
	Malzeme-Ekipman Maliyetleri	19,2
Ana Isı Atım Sistemi (Main Heat Reject System)	İşçi Maliyetleri	2,2
	Malzeme-Ekipman Maliyetleri	4,8
Çeşitli Tesis Ekipmanları (Miscellaneous Plant Equip.)	İşçi Maliyetleri	2,2
	Malzeme-Ekipman Maliyetleri	2,9
TOPLAM		100

Kaynak: (Hezir & Davis, 2011)

5.4. İŞ YARATMA KAPASİTESİ

Enerji üretim tesisleri sondajdan, tesisin hizmetten çıkarılması işlemine kadar bütün tedarik zinciri boyunca iş gücüne ihtiyaç duymaktadır. Tablo 27 ile gösterilen verilere göre, ürettiği GWh enerji başına en çok doğrudan iş yaratma kapasitesine sahip olan enerji teknolojisi 0,87 ile Güneş (PV) iken, en az katkıya sahip olan enerji teknolojisi türleri 0,11 ile doğalgaz, kömür ve 0,14 ile nükleer olmuştur. Diğer taraftan kurulu kapasiteye göre işgücü yaratma kapasitesi karşılaştırılması yapıldığında 1,06 ile güneş (PV) ve 0,50 ile nükleer başı çekmektedir. Buna göre üretilen enerji miktarı başına nükleer üretim teknolojisinin yarattığı işgücü düşüken, kurulduğu bölge özelinde yarattığı işgücü birim alana yoğun kurulu kapasiteden dolayı yüksek olmaktadır. Kurulduğu bölge açısından istihdam üzerinde etkisi yüksek olmakla birlikte, genel istihdama katkısı daha düşük kalmaktadır³⁵.

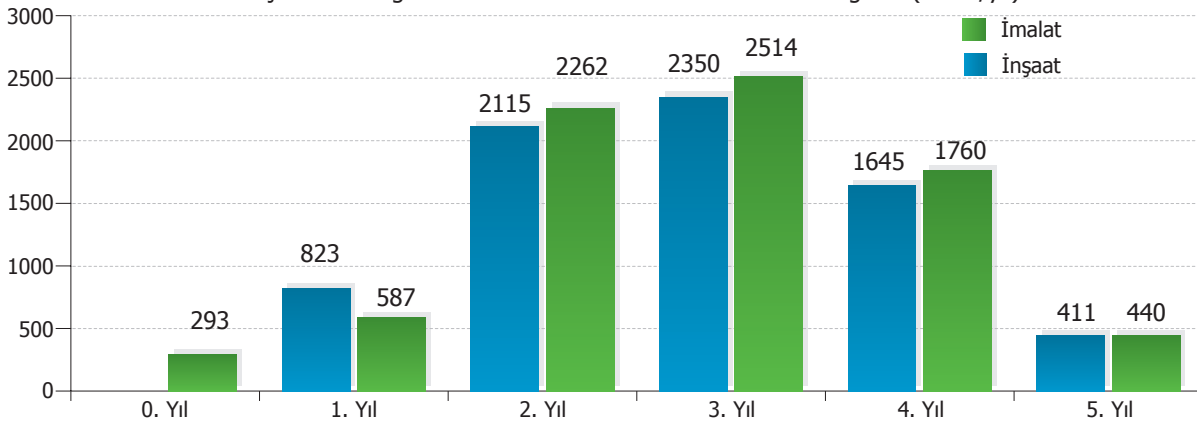
³⁵ Diğer taraftan güneş (PV) teknolojisinde yüksek miktarda işgücü kullanılması, yüksek işçilik maliyetleri ve dolayısıyla etkinlik ile ilgili ayrı bir çalışma yapmayı gerektirmektedir.

Tablo 27: Enerji Teknolojilerine Göre Doğrudan Çalışan Yaratma Kapasitesi Çarpanı

Enerji Teknolojisi	Kurulu Kapasite İşgücü* (bölgeden kişi/MWe)	Doğrudan İşgücü Ortalaması (Yıl/GWh)**
Güneş (PV)	1,06	0,87
Enerji Verimliliği	-	0,38
Jeotermal	-	0,25
Güneş (termal)	0,47	0,23
Biyokütle	-	0,21
Karbon Yakalama Sistemi (CCS)	-	0,18
Rüzgâr	0,05	0,17
Nükleer	0,50	0,14
Doğalgaz	0,05	0,11
Kömür	0,19	0,11

Kaynak: * (NEI, 2014a), ** (Wei, Patadia, & Kammen, 2010)

Nükleer santral inşası aşamasında çalışan personel santral kurulumunun yapıldığı bölge için önemli gelir kaynaklarından olacaktır. Grafik 9 ile 3+ Nesil 1.400 MWe³⁶ kurulu güce sahip bir PWR reaktörün ortalama 5 yıl sürecek inşaatında çalışacak personelin yıllara göre istihdam durumu verilmiştir. 1. Yılın sonunda yaklaşık 823 kişi istihdam edilirken, 3. Yılın sonunda bu miktar tavan yaparak 2.350 kişiye ulaşmıştır. 3 yıl boyunca (inşaatın 2., 3. ve 4. Yılları) istihdam sayısı 1.500 kişinin üzerinde olacağı öngörülmüş, böylece 5 yıl boyunca doğrudan tesis inşası için beklenen istihdam miktarı 7.344 adam/yıl olduğu belirtilmiştir. Söz konusu şekilde 3+ Nesil 1.200 MWe kurulu güce sahip bir PWR reaktörün hizmete alınabilmesi için gerekli olan tüm malzeme – ekipman imalatında (manufacturing) inşaat çalışmaları başlamadan 1 yıl önce (0. Yıl) 293 kişi çalışmaya başlayacak olup; inşaat bitimine kadar sırasıyla 587, 2262, 2514, 1760 ve son yıl (5. Yıl) 440 kişinin çalışması öngörülmüş 6 yıl toplamında imalatla çalışan toplam istihdam miktarı 7.856 adam/yıl³⁷ olarak belirtilmiştir. Buna göre nükleer santral imalatının yıllar bazında kırılımlarına bakıldığında toplam adam/yıl istihdamın %3,73'ü inşaatla başlamadan bir yıl önce, inşaatın bitimine kadar olan 5 yıl boyunca sırasıyla toplam istihdamın %7,47; %28,80; %32,00; %22,40 ve son yıl %5,60 olarak tahmin edilmiştir. Nükleer imalat sanayi ile ilgili tahminler ABD'de 15 eyalette kurulması planlanan 33 reaktör için hesaplanmış olup (Oxford Economics, 2008); ABD'nin nükleer enerji tedarik zincirinde güçlü ülkelerden olduğu göz önünde bulundurulduğunda nükleer teknoloji için henüz gerekli altyapıya sahip olmayan ülkeler için imalat sanayinde söz konusu istihdam kapasitesine ulaşmak şüphesiz ki zaman alacaktır.

Grafik 9: Bir Reaktör İnşaatında Doğrudan İstihdam Edilenlerin Yıllara Göre Dağılımı (adam/yıl)

Kaynak: (Oxford Economics, 2008)

³⁶ (Oxford Economics, 2008) çalışmasında 1.200 MWe ve 1.500 MWe kurulu güce sahip her iki nükleer tesisin inşası için çalışacak insan sayısının aynı olduğu belirtilmiştir.

³⁷ (Oxford Economics, 2008) çalışmasında 1.400 MWe kurulu güç için 9.072, 1.500 MWe için 9.719 adam/gün olarak hesaplanmıştır.

FORATOM (2010) çalışmasında EPR tipi 1600 MWe özelinde Finlandiya'nın Olkiluoto ve Fransa'nın Flamanville 3³⁸ reaktörlerinin inşaat aşamasında tavan istihdam miktarı sırasıyla 4.000 ve 2.500 kişi; (EDF Energy, 2013) çalışmasında İngiltere'de yapılacak olan 2 x 1.630 MWe kurulu güce sahip Hinkley Point C nükleer santralinin inşaatı sırasında istihdam edilen personel sayısının en yüksek 5.600 olacağı (reaktör başı 2.800 kişi) öngörülmüştür.

5.5. NÜKLEER TESİS İNŞAATINDA KULLANILAN MALZEME-EKİPMANLAR

Nükleer tesislerde makine-ekipman maliyetinin önemli kısmını esas parçalardan olan reaktör ekipmanları ve buhar türbini ekipmanları oluşturmakta ve kısıtlı tedarikçi tarafından karşılanmaktadır. NEI (2014a) çalışmasına göre 1.000 MWe kurulu güce sahip bir nükleer reaktörde yaklaşık 300.000 m³ beton, 66.000 ton çelik, 70 km boru, 480 km ve 130.000 elektrik parçası kullanılmaktadır. Tablo 28 ile bir nükleer reaktör ve 1200-1500 MWe kurulu güce sahip bir nükleer santralin bazı parçaları ve miktarları yaklaşık olarak gösterilmiştir. Nükleer santrallerde kullanılacak boruların, kabloların, kablo tepsilerinin uzunluğu yüzlerce kilometreye, kullanılacak çeliğin ağırlığı on binlerce, beton yüzbinlerce tona ulaşabilmektedir. Bir nükleer santralde kullanılan parçaların sayısı ise toplamda 500.000'i geçmektedir³⁹. Diğer tüm enerji sistemlerinde olduğu gibi tesisin kurulmasının yarattığı etki dışında, tesiste kullanılacak parçaların veya malzemelerin üretilmesi de karar alıcıların dikkatini çektiği açıktır⁴⁰. Bu sebeple, tesis siparişi akabinde yapılacak imalat altyapısı çalışmaları genel olarak zaman kısıtlılığı sebebiyle hızlıca planlanmalı ve faaliyete geçilmelidir. Aksi takdirde söz konusu tesislere hem ülkenin hem de bölgenin tedarikçi çıkarma şansı azalacak hatta yok olacaktır.

Tablo 28: 1.200 - 1500 MWe Kapasite Sahip Bir Nükleer Ünitenin Bazı Emtia-Ekipman Gereksinimleri

Emtia-Ekipman	Toplam	Açıklama
Beton (m ³)*	351.700	Saha hazırlama hariç
Kuvvetlendirilmiş Çelik ve gömülü parçaları (ton)	46.000	
Yapısal Çelik, döşeme çeliği ve diğerleri (ton)	25.000	Fabrikasyon modüller hariç (FMH)
Büyük Borular - (metre)	79.250	>65 mm ve (FMH)
Küçük Borular (metre)	131.065	<65 mm
Kablo Tepsileri (metre)	67.050	
Kablo Kanalları (metre)	365.760	
Güç Kablosu (metre)	426.720	
Kontrol Kablosu (metre)	1.646.000	
Proses ve enstrümantasyon tüpleme (metre)	225.550	
Ölçüm Cihazları (adet)	1.852 – 3.340	Sıcaklık, Titreşim, Akış vd. ölçümü
Vanalar (adet)	9.633 – 17.891	12,5 – 2.743 mm arası boyutlarda
Büyük Pompalar	71 – 100	> 10 beygir ve/veya 5.500 kg
Küçük Pompalar	80 – 484	< 10 beygir ve 5.500 kg
Tanklar	49 – 150	270 ve 68.000 kg arası
Fanlar	61 – 123	270 ve 20.500 kg arası
Damperler / Yük Kaldırıcılar	730 – 1.170	Çeşitli boyut ve tipte

Kaynak: (Utku, 2009)

Yeni kurulan bir nükleer santralin yapımında binlerce işçinin çalışmasının yanında ana yüklenici olan firma yüzden fazla alt yükleniciden destek alabilmektedir. Örneğin nükleer endüstrinin önde gelen ana yükle-

³⁸ Detaylı bilgi için: <http://www.avea.com/EN/operations-2397/flamanville-3-france.html> Erişim Tarihi: 03.12.2014

³⁹ Akkuyu Nükleer A.Ş., "Mersin, Türkiye'nin enerjisine enerji katacak" haberi, <http://www.akkunpp.com/mersin-turkiyenin-enerjisine-enerji-katacak> Erişim Tarihi: 04.12.2014

⁴⁰ Milliyet Gazetesi, 18.11.2014 tarihli "Nükleer OSB istiyoruz" haberi, <http://www.milliyet.com.tr/-nukleer-osb-istiyoruz-/ekonomi/detay/1971058/default.htm> Erişim Tarihi: 04.12.2014

nicilerinden olan AREVA, Çin Guangdong Nükleer Güç Holding Şirketi ile ortaklaşa yapımını üstlendiği 2 reaktörlü Taishan nükleer santralinin inşasında 120'den fazla tedarikçiden⁴¹, Fransa'da yapımını üstlendiği Flamanville 3 reaktörünün inşasında 100'e yakın alt yükleniciden⁴² faydalanmıştır.

Nükleer santrallerin yapımında yer alan birkaç hususu belirtmek gerekmektedir. Buyan (2014) çalışmasında belirttiği üzere, nükleer santrale sahip 30 ülke olmasına rağmen nükleer teknolojiye sahip olan ülke sayısı 11 (ABD, Rusya, Fransa, Çin, İngiltere, Güney Kore, Kanada, Almanya, Hindistan, Ukrayna ve İran) olmuştur. Söz konusu ülkeler tedarik zincirinin güvenlik açısından kritik olan reaktör tesisi ve bu durumun bir örneği olarak, AREVA firmasının ana yüklenicilerinden olduğu Taishan nükleer santralinin 1. ünitesinin nükleer buhar tedarik sisteminin (NSSS) parçalarının çoğu Fransız menşeliyken, 2. ünitesinin parçalarının önemli kısmı Çin menşeli olmuştur⁴³. Diğer taraftan AREVA'nın Finlandiya'da üstlendiği Olkiluoto-3 reaktörünün ana parçaları yoğunlukla Fransa ve Japonya menşeli iken, Finlandiya firmaları temel parça tedarikinden ziyade inşaat işleri ile ilgili bazı yükümlülüklerle sahip olduğu görülmektedir⁴³. Finlandiya nükleer santral işletme geçmişine sahip olmasına rağmen, yeni nükleer reaktörü için nükleer buhar tedarik sistemi parçaları ile ilgili imalatla bulunmamıştır. Buna rağmen güvenlikle ilgili (safety-related) işleri yerine getirmesi üzere anlaşmış 36 Finlandiya firması bulunmaktadır. Söz konusu tedarikçilerin faaliyet gösterdikleri alanlar; inşaat hizmetleri (13), teçhizat temini (13), kalite yönetim hizmetleri (5), mühendislik hizmetleri (3) ve proje yönetimi hizmetleri (2) olmuş; bununla birlikte güvenlikle ilgili olmayan (non-safety related) hizmetleri yerine getirmek üzere önemli sayıda tedarikçi ile anlaşmıştır (de GUIO & Muguet, 2011). Özetle, nükleer üretim teknolojisi sadece elektrik üretimi veya üretimin neden olduğu sonuçlardan değil, tedarik zincirinde görev alma, yerleştirme, teknoloji sahibi olma gibi pek çok konuyu da kapsamaktadır.

5.6. NÜKLEER SANTRAL İŞLETİLMESİNİN EKONOMİK FAYDALARI

Nükleer enerjinin sağladığı ekonomik fayda ürettiği elektrik ve istihdam edilen insanların yarattığı bölgesel ekonomik hareketlilikten daha da fazladır. Sağlanan ekonomik fayda doğrudan, dolaylı veya uyarılmış şekilde olup; üretilen her MWh elektriğin etkisi ülke genelinde ve bölge özelinde görülmektedir. Doğrudan sağlanan ekonomik fayda, tesisin nihai ürünü/hizmeti olan elektrik üretiminden elde edilen ekonomik fayda; dolaylı ekonomik fayda, nihai üretimi gerçekleştirmek için tedarik edilen mal ve hizmetlerden tedarikçilerin sağladığı ekonomik fayda; uyarılmış fayda ise tesiste görev alanların yaptıkları harcamaları sebebiyle sağladığı ekonomik fayda olarak belirtilebilir. NEI (2014a) çalışmasında anlatıldığı üzere, ABD'de bulunan 100 reaktörün (2014) yurtiçi satışları yıllık 40 ile 50 milyar \$ arasında olmakta ve bu santraller 50 farklı eyaletteki 22,500'den fazla⁴⁴ tedarikçiden malzeme, yakıt ve servis hizmeti için 14 milyar \$'dan fazla para harcamaktadır (NEI, 2012).

Tablo 29 ile ABD özelinde 1000 MWe kurulu güce sahip nükleer santralin mekânsal ekonomiler üzerindeki çarpan etkisi⁴⁵ gösterilmiştir. Nükleer tesisteki üretim sebebiyle yaratılan 1 birim istihdam, idari bölgede 1,66 birim, eyalet genelinde 2,36 birim ve ülke genelinde 8,26 birim istihdamı sağlamıştır. İşçi gelirlerinin etkisi nispeten daha düşük olup; sebebi nükleer tesiste çalışanların ortalama gelirinin daha yüksek olması olarak açıklanabilmekte birlikte diğer taraftan çıktı (elektrik üretimi) ekonomik değeri işçi geliri etkisinden de daha düşük olmaktadır. 1 birim ekonomik çıktı faydası, idari bölgede %4, eyalette %18 ve ülke genelinde %87 (doğrudan, dolaylı ve uyarılmış) ekonomik fayda (GSYİH üzerindeki ek artış) sağlamaktadır. Böylece nükleer santral işletiminin dolaylı olarak etkilediği veya tetiklediği sektörler daha emek yoğun ve düşük ücretli işçilerin çalıştığı sektörler olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Söz konusu çarpan etkisi ülkeden ülkeye teknolojik düzey farklılıkları, tedarik zincirinin özellikleri, harcama eğilimleri farklılıkları, tesis özelinde gereksinim farklılığı gibi pek çok sebeple değişebilmektedir.

⁴¹ Detaylı bilgi için: <http://www.aveva.com/EN/operations-2397/flamanville-3-france.html> Erişim Tarihi: 03.12.2014

⁴² Detaylı bilgi için: <http://www.aveva.com/EN/operations-2404/china-taishan-12.html#tab=tab5> Erişim Tarihi: 03.12.2014

⁴³ Detaylı bilgi için: <http://www.aveva.com/EN/operations-2389/olkiluoto-3-finland.html#tab=tab5> Erişim Tarihi: 03.12.2014

⁴⁴ Çalışma, 1.000 \$'ın üzerinde olan tedarik bedellerini göz önünde bulundurmıştır.

⁴⁵ Çalışma, ABD'de bulunan 23 santralde (41 reaktör) yapılan ekonomik etki analizi çalışmasının ortalamalarını vermektedir.

Tablo 29: ABD özelinde 1000 MW Nükleer Santralin Mekânsal Ekonomi Üzerindeki Çarpan Etkisi

Bölge	Etkisi	Çıktı	İşçi Geliri	İstihdam
	Doğrudan	1,00	1,00	1,00
İdari Bölge (County)	Doğrudan + Dolaylı + Uyarılmış	1,04	1,22	1,66
Eyalet (State)	Doğrudan + Dolaylı + Uyarılmış	1,18	1,49	2,36
Ülke (ABD)	Doğrudan + Dolaylı + Uyarılmış	1,87	3,75	8,26

Kaynak: (NEI, 2014a)

Tablo 30 ile daha önce bahsedilen çarpan etkilerinin parasal ve istihdam değerleri gösterilmiştir. 1.000 MW nükleer santralin elektrik satışından 453 milyon \$ elde edilmekte; 530 kişilik istihdam yaratılmaktadır. İstihdam edilen işçilerin toplam gelirleri yıllık 65 milyon \$ olup; kişi başı yıllık 120.000 \$, aylık 10.000 \$ civarında bir gelir elde etmektedirler. Diğer taraftan nükleer santralin kurulduğu idari bölgede santral çalışanlarının %60'ı (319 çalışan) yaşamakta olup; santral kurulduğu idari bölgede dolaylı veya uyarılmış işlerin yarattığı istihdam 209 (tesisin toplam çalışanlarının %40'ı oranında) olmuştur. Söz konusu 209 kişinin yıllık gelirleri 8 milyon \$ olup; tesisin idari bölgeye ek katkısı yıllık 18 milyon \$ olmuştur. Buna göre nükleer tesisin idari bölgede dolaylı veya uyarılmış etkisi bulunduğu sektörlerin daha düşük ücretli (işçi başı 44.000 \$) ve emek yoğun (işçi maliyetleri toplam giderlerin %44'ü) olduğu görülmektedir.

Nükleer santralin kurulduğu eyalette ise santral çalışanlarının %95'i (505 çalışan) yaşamakta olup; eyalette dolaylı veya uyarılmış işlerin yarattığı istihdam 687 (tesisin toplam çalışanlarının 1,3 katı) olmuştur. Söz konusu 687 kişinin yıllık gelirleri 30 milyon \$ olup; tesisin eyalete ek katkısı yıllık 80 milyon \$ olmuştur. Buna göre nükleer tesisin eyalette dolaylı veya uyarılmış etkisi bulunduğu sektörlerin idari bölgede ⁴⁶ çalışan işçilerle benzer gelir seviyesine (işçi başı 44.000 \$) sahip olduğu ancak idari bölgedeki işletmelerden daha emek yoğun (işçi maliyetleri toplam çıktının %37,5'i) olduğu görülmektedir.

1.000 MWe kurulu güce sahip bir nükleer santralin ABD üzerindeki ekonomik ve istihdam etkisine bakıldığında işçilerin tamamı ABD'de yaşamakta olup; ABD ekonomisi genelinde bir nükleer santralin dolaylı veya uyarılmış işlerde yarattığı istihdam 3.842 (tesisin toplam çalışanlarının 7,2 katı) olmuştur. Söz konusu 3.842 kişinin yıllık gelirleri 179 milyon \$ olup; tesisin ABD'ye ek katkısı yıllık 80 milyon \$ olmuştur. Buna göre, nükleer tesisin ABD'de dolaylı veya uyarılmış etkisi bulunduğu sektörlerde kişi başına gelirin 46.500 \$ civarında olduğu ve yine emek yoğun (işçi maliyetleri toplam giderlerin %46'ü) olduğu görülmektedir. Özetle doğrudan, dolaylı ve uyarılmış etkileriyle ortalama bir nükleer santral ABD'nin GSYİH'na 846 milyon \$ katkı yapmakta ve 4.372 kişinin istihdamını sağlamaktadır.

Tablo 30: ABD özelinde 1000 MW Nükleer Santralin Mekânsal Ekonomi Üzerine Etkisi

Bölge	Etkisi	Çıktı (2010 \$ milyon)	İşçi Geliri (2010 \$ milyon)	İstihdam (kişi)
İdari Bölge (County)	Doğrudan	453	36	319
	Dolaylı + Uyarılmış	18	8	209
Eyalet (State)	Doğrudan	453	61	505
	Dolaylı + Uyarılmış	80	30	687
Ülke (ABD)	Doğrudan	453	65	530
	Dolaylı + Uyarılmış	393	179	3842

Kaynak: (NEI, 2014a)

Şüphesiz ki ABD gibi nükleer teknolojisi ve tedarik zinciri gelişmiş ülkelerde nükleer santral işletmenin yarattığı etki, nükleer teknolojisi ve tedariki konusunda daha geride kalan ülkelerde -nükleer ile ilgili tedarik zinciri ABD kadar gelişmemiş ülkelerde- yarattığı katlanmış etkiden daha yüksek olabilmektedir. Ancak bu durum geride kalan ülkeler için bir fırsata dönüşebilir; öyle ki, ülkeler, (daha düşük ücretle

⁴⁶ ABD'nin nüfusu 313.873.685 (2012), yüzölçümü 9.855.918 km² olup; bütün nüfusu ve alanı kapsayan 3.143 idari bölgeye (county) sahiptir. Buna göre ortalama bir idari bölge yaklaşık 100.000 nüfus ve 3.135 km² yüzölçümüne sahiptir. (<http://www.census.gov/>)

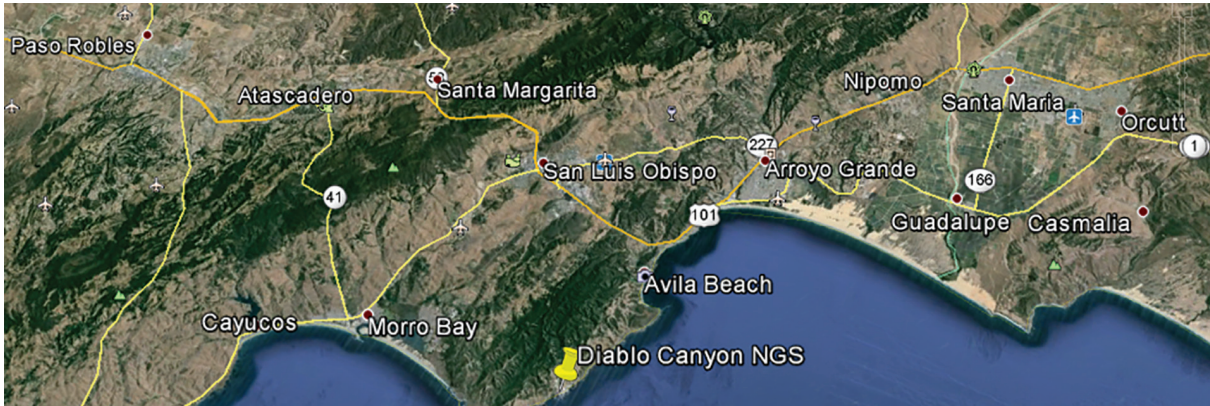
çalışan işçilerin daha az teknik özelliklere gereksinim duyduğu varsayılırsa) istihdam üzerinde yüksek çarpan etkisi yaratan nükleer santrallerin dolaylı olarak etkilemesi veya tetiklemesi ihtimali olan sektörlerde çalışan işçilerin daha az teknik eğitimle tedarik zincirinde yer almasını sağlayabilme olanağına sahiptirler.

çalışan işçilerin daha az teknik eğitimle tedarik zincirinde yer almasını sağlayabilme olanağına sahiptirler.

5.7. DIABLO CANYON NGS'İNİN SAĞLADIĞI EKONOMİK FAYDALAR

Ekonomik etki analizleri; bir sektörün, bir projenin veya herhangi bir aktivitenin topluma sağladığı doğrudan, dolaylı ve uyarılmış ekonomik faydaları nicel yöntemlerle ölçmeyi amaçlamaktadır (Plumstead, 2012). Doğrudan ekonomik faydalar, söz konusu faaliyetin esas çıktıları ve sağladığı istihdam olurken, dolaylı faydalar esas faaliyetin devamını sağlaması için yaratılan değer ve sağlanan istihdamın, uyarılmış faydalar ise hane halklarının harcamalarındaki değişim sonucu elde edilen kümülatif sonuç olarak nitelendirilebilir. Örneğin, 1985 yılında işleme giren Diablo Canyon Nükleer Güç Santrali (DCNGS) ABD'nin California Eyaleti, San Luis Obispo İdari Bölgesinde bulunan, 2011 yılında 676 milyon \$ tutarında toptan elektrik satışına ulaşan, PWR tipi 2 reaktöre sahip ve 1.543 kişinin çalıştığı bir güç santralidir⁴⁷. Mayeda & Riener (2013) çalışmasında DCNGS'nin San Luis Obispo (SLO) ve Santa Barbara (SB) İdari Bölgelerine, California Eyaletine ve ABD'ye sağladığı ekonomik faydalar sayısal yöntemlerle ölçülmüştür. ABD Nüfus İdaresi verilerine göre^{48, 49}, San Luis Obispo idari bölgesi 271.345 (2011) nüfusa ve 8.559 km² yüzölçümüne, Santa Barbara İdari Bölgesi ise 426.101 (2011) nüfusa ve 7.093 km² yüzölçümüne sahiptir. ABD'nin 2013 yılı en refah (well-being) şehirleri sıralamasında bahsi geçen idari bölgelerin şehirlerinden olan San Luis Obispo – Paso Robles 8. sırada, Santa Barbara-Santa Maria ise 41. sırada (Gallup - Healthways, 2014) yer almıştır.

Harita 1: Diablo Canyon Nükleer Güç Santrali



Kaynak: Google Earth, 2014

San Luis Obispo İdari Bölgesi, yılın 315 günü güneş alan, mikro-klimanın etkisi sayesinde üzüm, çilek, zeytin dâhil ve pek çok ürünü yetiştirme imkânı olan, meşhur üzüm bağlarına sahip ve yüzlerce aktivite yapma imkânı bulunan canlı bir bölgedir⁵⁰. 2009-2013 yılları hane halkı geliri ortalaması 58.697 \$ olan Bölge; yaklaşık 118.000 konuta ve 29.900 firmaya ev sahipliği yapmaktadır. Bölgenin 25 yaş üzeri nüfusunun %31,5'i lisans ve üzeri eğitim derecesine⁵¹ sahiptir ve 4 yüksek eğitim kurumunda eğitim gören 30.935 öğrencisi⁵² bulunmaktadır. Santa Barbara İdari Bölgesi, Amerikan Rivierası olarak nitelendirilen, güzel manzaraya, yaşamak ve çalışmak için uygun iklime sahip olan bir idari bölgedir. Duyarlı halkı, verimli birincil tarım alanları, ödüllü üzüm bağları, kültürel ve turistik cazibesi olan mekânlara sahip

⁴⁷ Detaylı bilgi için PG&G Current: http://www.pgecurrents.com/2013/06/28/san-luis-obispo-county-how-diablo-canyon-powers-the-economy/300x300_dcgp_benefits_3a/ Erişim Tarihi: 12.12.2014

⁴⁸ ABD Nüfus İdaresi, <http://www.census.gov/popest/data/datasets.html> Erişim Tarihi: 06.12.2014

⁴⁹ ABD Nüfus İdaresi, http://www.census.gov/population/censusdata/90den_stco.txt Erişim Tarihi: 07.12.2014

⁵⁰ San Luis Obispo İdari Bölgesi Turizm Sitesi, <http://www.visitsanluisobispocounty.com/our-area#content> Erişim Tarihi: 07.12.2014

⁵¹ ABD Nüfus İdaresi, <http://quickfacts.census.gov/qfd/states/06/06079.html> Erişim Tarihi: 11.12.2014

⁵² California Colleges, <http://www.californiacolleges.com/county/san-luis-obispo.html> Erişim Tarihi: 13.12.2014

olan Bölge aynı zamanda yetenekli ve yüksek beceriye sahip işgücünü barındıran ve yükselen sektörleri içerisinde, ileri teknoloji, tasarım ve sağlık hizmetleri olan bir yerleşim birimidir⁵³. 2009-2013 yılları hane halkı geliri ortalaması 62.779 \$ olan Bölge; yaklaşık 153.000 konuta ve 39.800 firmaya ev sahipliği yapmaktadır. Bölgenin 25 yaş üzeri nüfusunun %31,3'ünün lisans ve üzeri eğitim derecesine⁵⁴ sahiptir ve 10 yüksek eğitim kurumunda eğitim gören 60.661 öğrencisi⁵⁵ bulunmaktadır. Böylece, söz konusu 2 idari bölge hem eğitim hem de turizm şehri özelliklerini taşımaktadır.

Tablo 31 ile Diablo Canyon Nükleer Güç Santali'nde çalışan personelin ikamet ettiği yerler, ortalama ücretleri, ikamet edilen muhitlerin santralin ana giriş kapısına olan uzaklığı (DCNGS, DCNGS'nin ana giriş kapısından yaklaşık 10 km ileridedir) ve muhitlerin toplam nüfusları verilmiştir. Buna göre çalışanların %43'ü (663 çalışan) en fazla 20 km, %34'ü (535 çalışan) 20 – 50 km, %18'i (275 çalışan) 50 km üzeri ve %5'i (86 çalışan) ise çeşitli uzaklıklarda ikamet etmektedir. Tüm çalışanların ortalama yıllık geliri 127.621 \$ olup; 7.655 – 99.553 nüfusa sahip şehirlerde yaşamakta ve tesis çalışanlarının %95'i (1.483 çalışan) San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgelerinde, %4'ü eyalet sınırları içerisinde ve %1'i ise ABD genelinde ikamet etmektedir. Bölgede ikamet eden çalışanların (1.483 kişi) 2011 yılında toplam gelirleri 203 milyon \$'a ulaşmıştır.

Tablo 31: DCNGS Çalışanlarının İkamet Ettikleri Yerler

Semt/İdari Bölge	DCNGS'nde Çalışan Sayısı	Ortalama Ücret (\$/Yıl)	DCNGS'ne olan Uzaklık (Km)	Semt nüfusu ⁵⁶ (2010)*
Arroyo Grande/SLO	243	133.788	20	17.252
San Luis Obispo/SLO	238	141.912	19	45.119
Atascadero/SLO	216	138.340	45	28.310
Paso Robles-San Miguel/SLO	128	137.006	68 - 77	29.793 - ?
Santa Maria/SB	126	123.234	46	99.553
Nipomo/SLO	117	136.311	33	16.714
Grover Beach/SLO	109	130.734	18	13.156
Los Osos-Morro Bay/SLO	76	131.055	42-38	14.276 – 10.234
Pismo Beach-Shell Beach/SLO	73	145.101	13-10	7.655 - ?
Creston-Lompoc-Orcutt/SB	71	136.710	63 - 91 - 57	? - 1.295 - 7.674
Diğer yerel	86	143.582	-	?
Yerel olmayan (California içi)	60	116.819	-	37.253.956
Yerel olmayan (California dışı)	16	140.753	-	271.491.582

* San Miguel, Shell Beach ve Diğer yerel olmayan semtlerin toplam nüfusları 2010 yılı özelinde eklenmemiştir.

Kaynak: (Mayeda & Riener, 2013)

Mayeda & Riener (2013) çalışmasında Diablo Canyon Nükleer Güç Santralinin yerel, eyalet ve ABD ekonomileri ve istihdamları üzerindeki doğrudan, dolaylı ve uyarılmış etkileri incelenmiştir. Tablo 32 ile tesisin tüm ekonomiye sağladığı katkılar gösterilmiştir. Buna göre, doğrudan katkısı üretilen elektrik satışlarından sağlanan 676 milyon \$'lık kazanç olmaktadır. San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgeleri, California Eyaleti ve ABD'ye sağlanan dolaylı ekonomik fayda toplamda sırasıyla 21 milyon \$, 90 milyon \$ ve 496 milyon \$ ve uyarılmış ekonomik fayda ise yine sırasıyla 222 milyon \$, 334 milyon \$ ve 674 milyon \$ olmuştur. Anlaşılabileceği üzere, 676 milyon \$'lık doğrudan tesis çıktısı, ülke genelinde 1,17 milyar \$'lık ek ekonomik fayda yaratmış ve tesisin ABD ekonomisine etkisi 1,85 milyar \$'a ulaşmıştır. Tesis, ABD genelinde kişi başı GSYİH'ya 6 \$ katkı, yerel özelinde 1.320 \$'lık katkı sağlamıştır.

⁵³ Santa Barbara İdari Bölgesi Resmi İnternet Sitesi, <http://www.countyofsb.org/businesswhy.sbc> Erişim Tarihi: 11.12.2014

⁵⁴ ABD Nüfus İdaresi, <http://quickfacts.census.gov/qfd/states/06/06083.html> Erişim Tarihi: 11.12.2014

⁵⁵ California Colleges, <http://www.californiacolleges.com/county/santa-barbara.html> Erişim Tarihi: 13.12.2014

⁵⁶ ABD Nüfus İdaresi, <http://factfinder2.census.gov/> Erişim Tarihi: 07.12.2014

Tablo 32: DCNGS'nin Yerel, Eyalet ve ABD'ye Sağladığı Ekonomik Faydalar (\$), 2011

Ölçek (Yer)	Doğrudan	Dolaylı	Uyarılmış	Toplam
Yerel (SLO, SB)	675.572.354	21.996.794	222.253,91	919.823.060
Eyalet (California)	675.572.354	90.162.430	334.332.031	1.100.066.815
Ülke (ABD)	675.572.354	495.895.790	673.582.189	1.845.050.334

Kaynak: (Mayeda & Riener, 2013)

Diablo Canyon Nükleer Güç Santralinin yerelde sağladığı ekonomik fayda; santralin yaptığı mal ve hizmet alımları ve bu sebeple istihdam edilenler, santralde istihdam edilenlerin yerelde yaptığı harcamalar ve bu sebeple istihdam edilenler, santralle bir şekilde bağlantısı olup; emekli olan ve bölgede yaşantısını devam ettirenlerin yaptığı harcamalardan, tesisin ve çalışanların sosyal sorumluluk projelerine katkısı ve kar amacı gütmeyen kuruluşlara yardımlarından, tesisin bölgesel vergi yükümlülükleri ile etkide bulunan şahısların (özel – tüzel) ödedikleri vd. oluşmaktadır (Mayeda & Riener, 2013). Tablo 33 ile santralin San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgeleri özelinde yerel ekonomik etkileri gösterilmiştir. Toplam (Dolaylı ve Uyarılmış etki) en fazla 32 milyon \$ ile oturduğu evin sahibi olmasına rağmen kiraya verilmesi durumunda kazanılabilecek bedelin fırsat maliyeti, 14 milyon \$ ile özel sağlık muayenahaneleri, 12 milyon ile gayrimenkul şirketleri ve 12 milyon ile yemek hizmetlerinde (restoran vd.) olmakta ve tüm söz konusu etki yoğun olarak uyarılmış sektörlerde olmakla birlikte 2.007 kişiye istihdam sağlamaktadır. İstihdamın en çok sağlandığı sektörler 200 çalışanla yemek hizmetleri, 120 kişiyle özel sağlık muayenahaneleri ve 69 çalışanla özel hastaneler olmuştur. Tesis, yerelde emlak, sağlık ve perakende satış sektörleri başta olmak üzere yoğun miktarda hizmet sektörünü etkilemekte ve söz konusu etki temelde tesis çalışanlarının yerelde ikamet etmeleri ve harcama yapmalarıyla oluşmaktadır. İstihdamı listede görünmeyen ancak önemli miktarlara ulaşan diğer sektörler ise, 54 çalışanla özel hane halkı hizmetleri/işlemleri (hizmetçiler, aşçılar, bahçıvanlar vd.⁵⁷), 41 çalışanla bireysel ve aile hizmetleri, 33 çalışanla iş ve işçi bulma hizmetleri, 32 çalışanla muhtelif perakende mağazaları (çiçekçi, evcil hayvan dükkânı, vd.), 27 çalışan bina ve konut hizmetleri, 25 çalışan evde sağlık bakımı hizmetleri, 24 çalışan sağlık ve kişisel bakım mağazacılığı ve 21 çalışan özel ilköğretim ve ortaokullarında istihdam edilmektedir.

⁵⁷ ABD İş İstatistikleri Bürosu, <http://www.bls.gov/iag/tgs/iag814.htm> Erişim Tarihi: 15.12.2013

Tablo 33: DCNGS'nin Yerel Ekonomik Etkileri (San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgeleri)

Tanım	Dolaylı Kazanç (\$)	Dolaylı İstihdam (kişi)	Uyarılmış Kazanç (\$)	Uyarılmış İstihdam (kişi)
Elektrik Üretimi, Aktarımı ve Dağıtımı	113.870	~0	3.988.787	~5
Ev Sahibinin Oturdukları Evin Kira Bd.	0,00	-	31.864.664	-
Özel Sağlık Muayenehaneleri	362	0	14.312.112	~120
Gayrimenkul Şirketleri	213.473	~1	12.318.973	~67
Yemek Hizmetleri (Restoranlar vd.)	139.381	~2	12.245.125	~200
Özel Hastaneler	351	0	10.282.620	~69
Toptan Ticaret Şirketleri	299.395	~2	8.020.818	~51
Banka Ve Mevduat Hizmetleri	159.237	-	7.486.983	-
Petrol Rafinerileri	194.874	-	6.809.443	-
Kıymetli Evrak, Yatırımlar vd.	73.168	~1	6.289.903	~54
Sigorta, Finans vd. Hizmetler	112.482	~1	4.717.455	~35
Tıp ve Tıbbi Teşhis Laboratuvarları	16.396	~0	4.453.737	~27
Perakende Yiyecek-İçecek Hizmetleri	4.920	~0	4.184.188	~65
Yerel Otoritelerin Şirketleri	37.264	-	3.422.775	-
Motorlu Araçlar ve Parçaları Mağaz.	6.253	~0	3.167.321	~32
Hemşirelik ve Evde Bakım Hizmetleri	0,00	~0	3.141.147	~51
İletişim Hizmetleri	118.315	-	2.825.343	-
Genel Satış Mağazaları	3.423	~0	2.930.800	~50
Firma Destek Hizmetleri	2.667.004	-	60.379	-
Hukuk Hizmetleri	101.803	-	2.509.997	-
Teknik Danışmanlık Hizmetleri	1.442.994	~13	1.085.823	~10
Mağaza Dışı Satışlar (Doğru./elektronik)	2.197	~0	2.328.031	~40
Sivil, Sosyal vb. Organizasyonlar	20.235			
Giyim ve Aksesuar Mağazaları	2.379	~0	2.207.133	~35
Meskûn Olmayan Bina Bakım-Tamiri	658.288	-	1.337.986	-
Diğer	15.608.731	0	68.043.653	0
Toplam	21.996.794	~132	222.253.912	~1.875

Kaynak: (Mayeda & Riener, 2013)

Bunun yanında Diablo Canyon Nükleer Santralince yapılan doğrudan harcamalar yerel, eyalet ve ülke seviyelerinde ekonomiye katkı sağlamaktadır. Mayeda & Riener (2013) çalışmasına göre, tesisin yaptığı harcamaların ABD genelinde dolaylı ekonomik etkisinin en fazla bulunduğu kalemler 64 milyon \$'lık etkisiyle nükleer yakıtın da dahil olduğu "tüm diğer inorganik kimyasal imalatı" sektörü, 42 milyon \$'lık etkisiyle yönetim, bilimsel ve teknik danışmanlık hizmetleri ve 36 milyon \$'lık etkisiyle iş ve işçi bulma hizmetleri olmuştur. Önemli diğer imalat kalemleri ise 20 milyon \$ ile genel amaçlı diğer makine imalatı, 12 milyon \$ ile hazır duruma getirilmiş eczacılık ürünleri (müstahzar) imalatı ve 11 milyon \$ ile endüstriyel süreç değişkeni ekipmanı imalatı (industrial process variable instruments manufacturing) olmuştur. Diğer önemli bir etki ise Diablo Canyon Nükleer Güç Santrali'nin sahibi ve işleticisi olan Pasific Gas and Energy Şirketi'nden emekli olan San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgelerinde yaşamlarını sürdüren 716 kişinin 2011 yılı itibarıyla senelik tutarı 19 milyon \$ olan aylıklarıdır (Mayeda & Riener, 2013).

Tablo 34: DCNGS'nin San Luis Obispo ve Santa Barbara İdari Bölgelerinde Yaptığı Harcamalar (\$), 2011

Yerelden Tedarik Edilen Ürün ve Hizmetler	Toplam Tutar
Toptan Mal ve Parça Satın Alımları	10.323.555
Bina Bakım ve Temizlik Hizmetleri	5.988.172
İnşaat Bakım ve Onarımları	3.353.208
Güç Üretici Ekipman ve Parçalar	2.453.893
Çeşitli Profesyonel ve Teknik Hizmetler	2.237.163
Özelleşmiş Tasarım Hizmetleri	1.925.277
Çevresel ve Diğer Teknik Danışmanlık Hizmetleri	1.656.594
Makine-Ekipman Kiralaması ve Hizmetleri (Leasing)	1.386.588
Meskûn Olmayan Konut Bakımı ve Onarımı	1.241.921
Güvenlik Hizmetleri	853.239
İnşaat Malzemeleri	623.372
Atık Yönetimi Hizmetleri	528.508
Yemek Hizmetleri	413.035
Mühendislik Hizmetleri	348.002
Muhtelif Perakendecilik (Çiçekçi, Evcil Hayvan Dük. vd.) ⁵⁸	336.404
Diğer Destek Hizmetleri	316.539
Endüstriyel Bina İnşaatı	273.453
Otomotiv Tamir ve Bakım (Automotive Repair And Maintenance)	270.317
Reklamcılık Ve İlgili Hizmetler	252.327
Anahtarlama Sistemleri Ekipmaları (Switchgear and Board) İmalatı	227.522
Diğer Yeni İnşaat	224.547
Eğitimle İlgili Olmayan Eğitim (State and Local Non-Education)	223.210
Elektronik Mağazaları	215.660
İletişim (Telecommunications)	172.369
Yönetim ve Danışmanlık Hizmetleri	159.097
Diğer Sektörler	422.154
Toplam	36.003.972

Kaynak: (Mayeda & Riener, 2013)

Özetle, Diablo Canyon Nükleer Güç Santrali'nin hem yerelde hem de ülke genelinde istihdam ve ekonomi üzerinde olumlu yönde etkisi olmuştur. Yerelde hizmet ve sağlık odaklı sektörler en fazla etkilenirken, ABD genelinde hizmet, sağlık ve imalat sektörleri etkilenmektedir. ABD özelinde yapılan söz konusu çalışmanın ülke dinamikleri, harcama eğilimleri, demografik özellikler gibi pek çok değişkene göre şekilleneceği varsayılmalıdır.

⁵⁸ ABD İş İstatistikleri Bürosu, <http://www.bls.gov/iag/tgs/iag453.htm> Erişim Tarihi: 15.12.2013

A large white number 6 is centered on a blue background. The background is split diagonally from the top-left to the bottom-right. The upper-left portion is a lighter blue, and the lower-right portion is a darker blue. The number 6 is white and has a slight shadow on the darker blue background.

Sinop ve Nükleer

6. SİNOP VE NÜKLEER

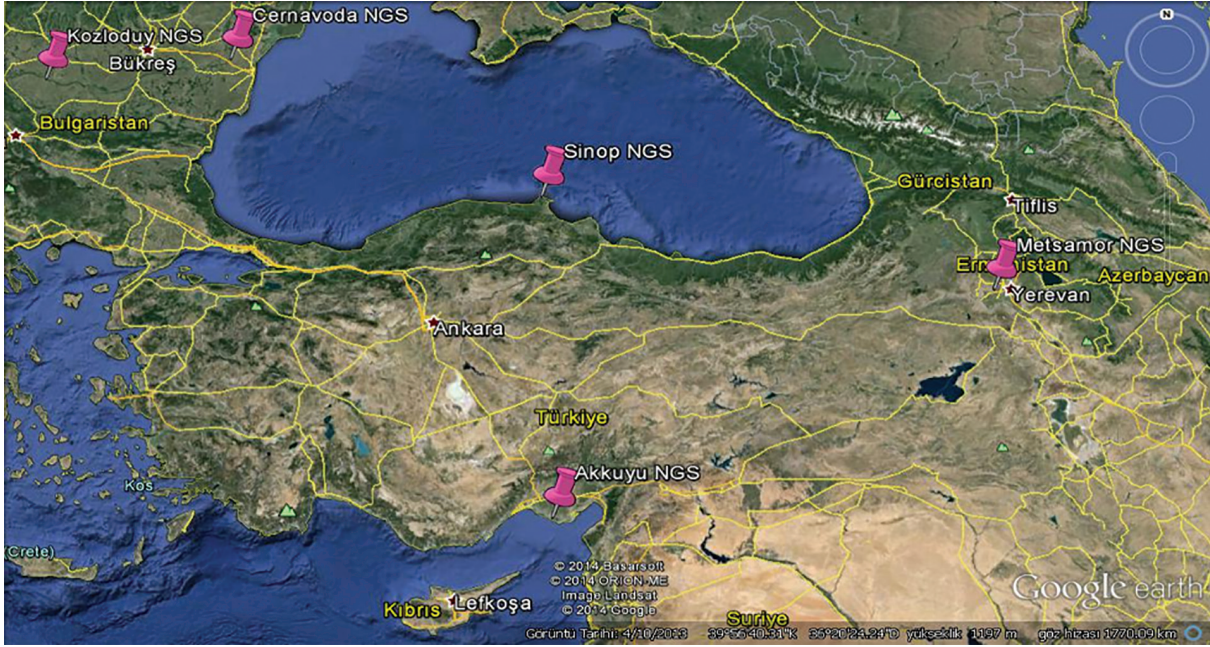
Sinop nükleer santralinin inşaat ve işletme dönemlerinde Sinop'un çevresel, sosyal, demografik ve ekonomik yapısına olumlu ve olumsuz etkileri mutlaka olacaktır. Tesisin Türkiye'ye, Karadeniz'e ve Sinop'a getirisi ve maliyetleri üzerinde çalışılması gereken konulardır. Bu kapsamda düşünüldüğünde bu çalışma ile Sinop'ta yapılması planlanan Nükleer Güç Santrali'nin olası etkilerine ilişkin Dünya örneklerine dayanarak bilimsel bilginin derlenmesi ve Sinop için fayda sağlayacak politikalara temel oluşturabilecek sonuçların çıkarılması hedeflenmektedir.

Sinop'ta yapılması planlanan NGS çalışmaları kapsamında nükleer teknolojinin uygulanması safhasında görev alan/alacak, sorumlulukları bulunan tüm kamu, sivil toplum, özel kurum ve kuruluşların temel amacı katılımcılık ilkesi çerçevesinde tüm kesimlerin hassasiyetlerini gözetmek, sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde ise her tür maliyeti en aza indirmek ve faydayı en çoğa çıkarmak olmalıdır. Bu sebeple, yapılacak bütün çalışmaların bir plan ve disiplin çerçevesinde geliştirilmesi gerekmektedir. Teorik arka planı güçlü ve uygulamaya yönelik katılımcı projelerin hayata geçirilmesi oldukça önemli görülmektedir.

6.1. SİNOP GENEL TANITIM

T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanan 2014 – 2023 Bölge Planı'na göre; Sinop zengin ve köklü tarihiyle birlikte, Türkiye'nin en kuzeyinde, hızla büyüyen üniversitesi ve buna bağlı olarak artan genç nüfusu ile öne çıkmaktadır.

Harita 2: Türkiye'de Kurulacak Olan ve Yakın Çevrede Bulunan Nükleer Santraller



Kaynak: (Google Earth, 2014)

2013 yılı itibarıyla toplam 204.568 nüfusa sahip olan Sinop İli Merkez İlçe dahil 9 ilçeden oluşmaktadır. Belde ve köyler dâhil olmak üzere en kalabalık ilçeleri, 58.005 nüfusla Merkez İlçe, 43.838 nüfusla Bo-yabat ve 22.611 nüfusla Ayancık olmuştur (TÜİK, 2014). Yine aynı çalışmada belirtildiği üzere ortalama hanehalkı büyüklüğü il genelinde 3,0 olup; 3,6 olan Türkiye ortalamasının altındadır.

Tablo 35: Sinop İli Genel Bilgileri, 2013

Genel Bilgiler	
Nüfus	204.568
Nüfus Yoğunluğu (kişi/km ²)	34,90
Toplam Yüzölçümü (km ²)	5.862
Kıyı Uzunluğu (km)	175
İlçe Sayısı	9

Kaynak: TÜİK, 2014

Sinop sosyal yaşam ve hoşgörü bakımından önde gelen illerden biridir. Sahil kenti olmanın verdiği tüm özellikleri taşımakla birlikte, özellikle bahar ve yaz aylarında çekim noktasına dönüşmektedir. İl özellikle sanatsal faaliyetler açısından ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Düzenli olarak konserler, tiyatro vb. faaliyetler düzenlenmektedir. Sinop Üniversitesi de her geçen yıl artan öğrenci sayısı ve etkinlikleri ile şehrin sosyal ve kültürel hayatına oldukça önemli katkılarda bulunmaktadır. Tüm bu özellikler istatistiklere de yansımıştır. 2013 yılında yapılan yaşam memnuniyeti anketine göre Sinop halkının %77,7'si yaşantısından memnun olduğunu belirtmiş ve "Türkiye'nin en mutlu ili" unvanına alarak, aynı zamanda asayiş ve eğitim hizmetinden memnuniyet sıralamalarında da ilk 3'e girmiştir⁵⁹.

⁵⁹ TÜİK, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18507> Erişim Tarihi: 18.12.2014

Hizmet ve sanayi Sinop'un öncelikli sektörleri olarak ön plana çıkmaktadır. Sinop Merkez ve Boyabat İlçesi'nde birer OSB, il genelinde ise 5 Sanayi Sitesi bulunmakta ve yatırımcıların ara madde ve yan sanayi ihtiyaçları yerleşik firmalarca karşılanmaktadır.

Sinop, Türkiye ortalamasının üzerinde olan ortalama eğitim süresi ve sahip olduğu eğitim seviyesi yüksek nüfusu ile yatırımcılara nitelikli işgücü temini konusunda gereken arzı sağlayabilecek durumdadır. TOBB'un açıkladığı 2013 yılı kapasite raporlarında Sinop ilindeki teknisyen ve mühendis istihdamında %20 oranındaki artış nitelikli işgücünün ilde arttığını göstermektedir. Sinop işgücü piyasası üzerine yapılan anketlere göre, işverenlerin yaklaşık %75'i personelinin yeterli olduğunu düşünmektedir.

İllerin ve Bölgelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sırası Araştırması (SEGE-2011)'e göre Sinop 81 il arasında 51. sırada yer almıştır. İllerarası Rekabetçilik Endeksi'ne göre Sinop TR82 Düzey 2 Bölgesi İlleri arasında en rekabetçi il olmasına rağmen ülke sıralamasında 43. sıradadır. Şüphesiz ki sosyal ve ekonomik alanlarda yapılacak planlı kamu sektörü ve özel sektör yatırımları Sinop'un daha üst sıralarda yer almasını sağlayacaktır (T.C. KUZKA, 2014).

6.2. SİNOP NÜKLEER SANTRALİ

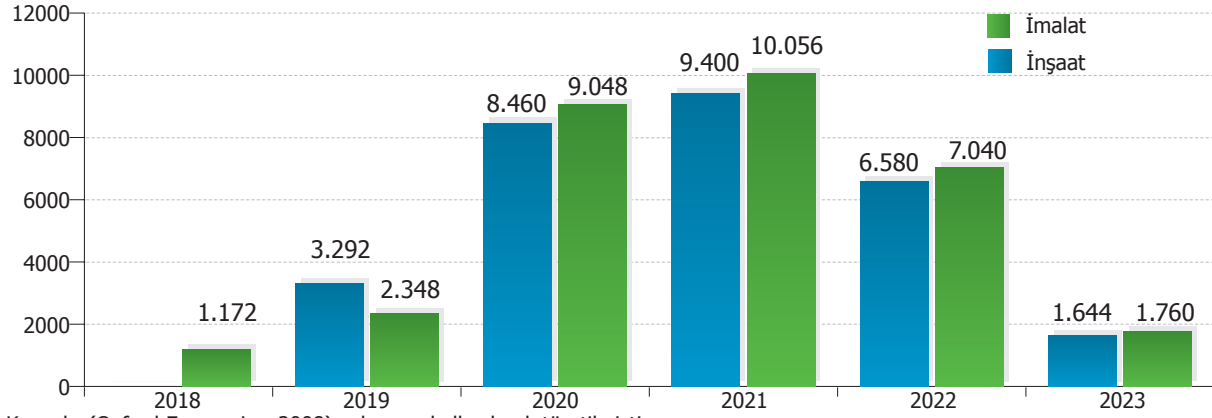
Türkiye'ye yapılacak ilk nükleer santral, kuvvetle muhtemel PWR tipi 4 adet reaktöre (AES 2006) ve 4.800 MWe kurulu güce sahip (Mersin) Akkuyu Nükleer Güç Santrali olacak ve "yap-sahip ol-işlet" (BOO) modeli ile işletilecektir. (WorleyParsons & Dokay, 2011). İkinci nükleer santral ise Fransız (AREVA) ve Japon (Mitsubishi Heavy Industries) ortaklığı ile 4x1.100 MWe kurulu güce sahip ATMEA1 tipi reaktöre sahip olması düşünülen Sinop Nükleer Güç santrali olacaktır. Detayları tam olarak belli olmayan projenin bilindiği kadarıyla 2016 yılı sonuna kadar Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporunun hazırlanması, santral inşaatının 2019 yılının sonuna (T.C. ETKB, 2014b); ilk iki santralin elektrik üretimine 2023-2024 yıllarına kadar başlaması ve toplam maliyetin 22 milyar \$⁶⁰ (5.000\$/kWe) olması öngörülmektedir⁶¹. Söz konusu nicelikler daha önceki bölümlerde irdelenmiş olan gecelik maliyetler ve inşaat süreleri ile benzeşmektedir. Bu sebeple ileri kısımlarda yapılacak bazı temel hesaplamalarda gecelik maliyet 5.000 \$/kWe, inşaat süresi ise 5 yıl olarak kabul edilmiştir⁶².

Grafik 9 ile 1.200 MWe kurulu kapasiteye sahip 3+ Nesil bir reaktör inşaatı ve imalatı için verilen çalışma süreleri ve çalışan sayısı verilmişti, 4 reaktörlü Sinop Nükleer Güç Santrali'nin de benzer özelliklere sahip olduğu varsayılmış ve doğru orantı kullanılarak Grafik 10 ile gösterilmiştir. Sinop Nükleer Güç Santrali'nin 2019 yılında inşaatına başladığı varsayıldığında inşaatın ilk senesinde çoğu Sinop'ta olmak üzere 3.000'in üzerinde çalışan olacağı beklenmektedir. Ancak, inşaatı başlamadan 1 yıl önce inşaatı kullanılacak malzeme-ekipmanın imalatında çalışacak kişi sayısı 1.200'e yakın olacaktır. İnşaatın 2. (2020) ve 3. (2021) yıllarında inşaatı çalışan sayısı 9.000 civarında, imalat işlerinde çalışan sayısı 10.000 civarında olacaktır. İnşaatın son 2 yılında (2022-2023) ise inşaatı sırasıyla 6.580 ve 1.644, imalatı ise sırasıyla 7.040 ve 1.760 kişi çalışacaktır. Böylece, 6 yıllık bir süre zarfında tesisin inşaatı için 29.378 adam/yıl ve imalatı için 31.424 adam/yıl istihdam sağlanacaktır. Ancak, inşaatı çalışanların önemli kısmı yurtiçi kaynaklarla tedarik edilebilirken, imalat işlerinde kullanılacak pek çok malzeme – ekipmanın ithal edilecek olması dolayısıyla ithalat ülkesi istihdamı olumlu yönde etkilenecektir. Bu sebeple, en az inşaat kadar istihdam yaratan imalat sanayinde de yüksek pay almaya ve yerleştirilmeye ihtiyaç vardır.

⁶⁰ WNA, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/Turkey/> Erişim Tarihi: 17.12.2014

⁶¹ Milliyet, <http://www.milliyet.com.tr/sinop-nukleer-santrali-2024-te-elektrik-sinop-yerelhaber-449413/> Erişim Tarihi: 17.12.2014

⁶² Gerçek sonuçlarla, hesaplanan sonuçlar birbirinden şüphesiz ki farklı olacaktır. Okuyucunun affına sığınarak çalışmanın olası sonuçlara ilişkin fikir verme amacı taşıdığını belirtmek yerinde olacaktır.

Grafik 10: Sinop Nükleer Santrali İnşaatında Görev Alacak Çalışan Sayıları (tahmini)

Kaynak: (Oxford Economics, 2008) çalışması kullanılarak türetilmiştir.

Grafik 8 ile verilmiş gecelik maliyet kırılımlarının Sinop NGS için benzeşeceği ve doğrudan giderlerin tamamının tesis mekânında olacağı varsayımı altında inşaat aşamasında toplam gecelik maliyetlerin %48'i (yaklaşık 10,56 milyar \$) tutarında maddi yatırım (makine, malzeme, işçilik vd.) Sinop'a kazandırılacaktır. Tablo 26 ile gösterilen kırılımlar Sinop NGS için uyarlanmış ve Tablo 36 ile gösterilmiştir. Böylece en yüksek maliyet kalemleri %46,10 oran ve 4,87 milyar \$ ile reaktör ve buhar türbini makine-ekipman ve malzeme %28,70 oran ve 3,03 milyar \$ ile toplam işçilik maliyetleri takip etmiş; diğer makine-ekipman ve malzeme harcamalarının ise %25,00 oran ve 2,64 milyar \$ tutarında olması tahmin edilmiştir. Söz konusu tesis yatırıma konu olacak malzeme, makine-ekipman ve parçanın ne kadarlık kısmının Sinop İli sınırları içerisinde imal edileceği ve tesis yapımında çalışan işçilerin gelirlerinin ne kadarlık kısmını Sinop İli sınırları içerisinde harcamaya veya yatırıma dönüştüreceği aslında konunun temelini teşkil etmektedir. Sinop Enerji Endüstrisi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi bölümünde bahsedilen sorunun cevabı verilmeye çalışılmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse, reaktör & buhar türbini tesisine ekipman ve parça üretmek kısa ve orta vadede zor görünürken, diğer kısımlar için bu daha mümkün görünmektedir. Böylece Sinop NGS için tüm Türkiye'den 2,64 milyar \$ tutarında bir malzeme, makine – ekipman ve parça imalatı potansiyeli vardır. Ancak, tesisin 3,31 milyar \$ tutarındaki işçilik giderleri Sinop için kısa vadede daha büyük ekonomik hareketlilik sağlama potansiyeline sahiptir. İşçilik giderlerinin Sinop'a temel etkisi, işçilerin Sinop İli dâhilinde yaptıkları harcamaların İl ekonomisine sağladığı canlılık olacaktır.

Tablo 36: Sinop NGS'nde Yapılacak Toplam Yatırımın Makine-Malzeme ve İşçilik Kırılımları (tahmini)

Sermaye Maliyet Kalemi	Maliyetin Toplama Oranı (%)	Tahmini Tutar (milyon \$)
Reaktör & Buhar Türbini Tesisleri	%46,10	4.868,16
Yapılar & Geliştirmeler	%11,50	1.214,40
Elektrik	%5,80	612,48
Ana Isı Atım Sistemi	%4,80	506,88
Çeşitli Tesis Ekipmanları	%2,90	306,24
Bütün İşçilik Giderleri	%28,70	3.030,72

Kaynak: (Hezir & Davis, 2011) çalışması kullanılarak türetilmiştir.

Toplam tesis işçilik ve fiziksel yatırımının %28,70'ine tekabül eden işçilik giderlerinin brüt ücret olduğu düşünüldüğünde Sinop özelinde yapılabilecek kavramsal olarak maksimum harcama miktarının daha düşük olacağı açıktır. İşçi başına geliri kabaca hesaplamak gerekirse Grafik 10 ile tesisin inşaatında 29.378 adam/yıl emek kullanılacağı belirtilmişti. Buna göre tesis açısından işçi başı yıllık brüt giderin 103.163 \$ (gider/emek); aylık giderin ise 8.597 \$ civarında olması beklenmektedir. Tesis inşaatında çalışacak işçilerin temel yüklenicinin Areva – MHI olduğu düşünüldüğünde başta Türk olmak üzere Japon ve Fransız olması beklenmektedir. Her 3 ülke de OECD ülkesi olup; brüt ücret üzerinden OECD ortalaması olan %35,6 (2012) etrafında dalgalanan gelir vergisi ve sosyal güvenlik kesintileri toplam yükümlülüklerine sahip olmaları nedeniyle (Aydın, 2013) %35,6 ortalama oran net ücret hakkında fikir edinmek için kulla-

nılmış; işçi başı net ücret⁶³ (harcanabilir gelir) aylık 5.536 \$, 5 yıllık inşaat süresi boyunca Sinop'ta işçiler tarafından harcanabilecek teorik tutar⁶⁴ toplam 1,95 milyar \$ olarak tahmin edilmiştir. Böylece, Sinop İli, Sinop NGS yatırımından 5,26 milyar \$ tahmini tutarında doğrudan ekonomik fayda sağlama teorik kapasitesine, uygulayacağı pro-aktif politikaların başarısıyla yaklaşacaktır.

Bir nükleer güç santralinde işletme aşamasında 400 – 700 arasında kalıcı işçi çalışmaktadır (NEI, 2014b). Sinop NGS ile ilgili henüz çok az bilgi sahibi olunması nedeniyle çalışacak işçi sayısı ile ilgili 1.000 MWe net kurulu güç başına 530 kişinin (NEI, 2014a) doğrudan istihdam edileceği varsayımında bulunulmuş, böylece 4.400 MWe net kurulu kapasiteye sahip olması planlanan Sinop NGS'nin işletme aşamasında tesiste 2.332 kişinin istihdam edileceği tahmin edilmiştir. Ortalama ücretlerin Akkuyu NGS benzeri çalışan başı aylık 3.000 \$ olacağı⁶⁵ varsayıldığında tesislerde çalışanların aylık yaklaşık 7 milyon \$, yıllık ise 84 milyon \$ tutarında bir gelire sahip olacağı tahmin edilmektedir. Söz konusu miktarın Sinop'a sağlayacağı katkı çalışanların marjinal tüketim eğilimlerine, Sinop'ta harcamayı planladıkları miktarın büyüklüğüne göre değişecektir. Sinop'ta işçilerin harcamalarından en fazla etkilenecek sektörler emlak, perakende, özel sağlık hizmetleri ve restoran faaliyetleri; tesis ihtiyaçlarının giderilmesi için yapılacak harcamaların önemli kısmı ise tesis için sağlanacak mal ve parçalar, bina bakım – temizlik hizmetleri ve inşaat bakım – onarım hizmetleri olması öngörülmektedir.

Diğer taraftan hükümet Mersin ve Sinop NGS'lerinin ardından kurulması planlanan 3. nükleer santralin %100 milli olması konusunda niyet beyan etmiş siyasi irade gerekli çalışmaların yapılacağını belirtmiştir⁶⁶. Bu sebeple yerli santral için nükleer teknoloji, insan kaynağı ve endüstri konusunda zaten planlama, Ar-Ge ve fiziksel yatırım çalışmaları yapmak gerekecektir. Konu ile ilgili hedefler T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı ve TÜBİTAK tarafından hazırlanan Ulusal Enerji Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi gibi temel belgelerde belirtilmiştir. Özet olarak belgelerde nükleer santrallerin sadece elektrik üretimi amacıyla kurulan tesisler olarak görülmemesi, teknoloji transferi, nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesi, nükleer endüstriye imalatın mümkün kılınması gibi hedefler taşıdığı ve yapılması gereken hukuki ve teknik çalışmalar olduğu belirtilmiştir. Sinop'un vizyonu ve potansiyeli göz önünde bulundurularak nükleer ile ilgili temel hedef önerisi "Bilgi Şehri Sinop'un Enerji Endüstrisi Kümelenmesi" olarak belirlenmiştir.

6.3. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ KÜMELENMESİ

(Ünal, 2014) çalışmasına göre, bölgelerin sosyal, demografik, kültürel, tarihsel, coğrafi ve ekonomik potansiyelinin azami derecede kullanılması ve buna uygun planlama ve çalışmaların yapılması bölgesel gelişimin sağlanması ve bölgeler arası gelişmişlik farklarının azaltılmasının ön şartıdır. 2000'li yıllardan itibaren Türkiye'de yoğun olarak tartışılan kümelenme kavramı ortak özellikleri olan, belirli bir bölgede yoğunlaşan, coğrafi olarak birbirine yakın, gelişmiş ilişki ağlarına ve uzmanlıklara sahip ve işbirliği kültürü içinde ortak hareket edebilme becerileri gösterme yetisi olarak tanımlanabildiği ve amacının ise yenilikçiliğin ve verimliliğin artırılması yoluyla rekabetçiliği sağlamak olduğu belirtilmiştir. Söz konusu çalışmaya göre, bu amaca ulaşmak için, ölçek ekonomisinden faydalanmak, verimlilik ve esneklik artışı, öğrenme ve yenilikçilik, şirketleşme ve kurumsallaşma, ortak dış ticaret ve pazarlama ilkelerinin belirlenmesi gibi stratejiler izlenebilmektedir. Bu stratejilerden bir tanesi de kümelenme potansiyeli gösteren alanlarda ihtisas organize sanayi bölgeleri kurmak ve sanayi bölgelerinde faaliyet gösteren firmaların gelişimlerini sağlamaktır.

Dünyada enerji endüstrisi kümelerine bakıldığında her enerji teknolojisinin bir kümesi vardır. ABD, Kanada, İtalya, İspanya'da nükleer enerji kümeleri bulunmaktadır. Kanada'nın Ontario eyaletine bağlı Peterborough şehrinde "Peterborough Nükleer Kümelenmesi" (Peterborough's Nuclear Cluster) oluşturulmuştur. Küme 25 firmadan oluşmakta olup; 6 tanesi GE-Hitachi, Siemens, Rolls-Royce firmalarının da

⁶³ İşçilik giderleri içerisinde muhtemelen konaklama, yemek vd. zorunlu giderler eklenmiştir. Ancak söz konusu giderler çoğunlukla Sinop İli sınırları içerisinde karşılanabileceği için harcanabilir gelir gibi düşünülmüştür.

⁶⁴ Şüphesiz ki fiili harcama işçilerin marjinal tüketim eğilimleri dolayısıyla marjinal tasarruf eğilimleri ile Sinop'ta harcamayı kabul ettikleri miktar ile ilgilidir.

⁶⁵ Akkuyu NGS, <http://www.akkunpp.com/ilk-nukleercilere-3-bin-dolar-maas> Erişim Tarihi: 24.12.2014

⁶⁶ Vatan Gazetesi, www.gazetevatan.com/davutoglu-dan-milli-nukleer-santral-talimati-689433-gundem/ Erişim Tarihi: 24.12.2014

bulunduğu büyük ölçekli firmalardan oluşmaktadır⁶⁷. 13 firma ise Peterborough Nükleer Kümelenmesi ile ilgilendiklerini belirtmişlerdir. Peterborough (county) 139,567 kişinin yaşadığı, ortalama eğitim süresinin oldukça yüksek olduğu, Ottawa'ya 270 km uzaklıkta bir şehirdir.

Diğer bir nükleer kümelenme örneği ise ABD'de bulunan Carolina Nükleer Kümesidir (Carolinas' Nuclear Cluster). Küme iş kollarına ayrılmış ve hedeflerini; "Nükleer endüstrinin gelişmesi için işletmeleri desteklemek, enerji sektöründe çalışan işgücünü teknik anlamda desteklemek ve geliştirmek, Carolina eyaleti için nükleer endüstrisi ile ilgili kamu politikasını yönlendirmek, teknoloji gelişimini desteklemek, Carolina eyaleti nükleer enerji uzmanlığı etkinliğinin iletişiminin ve pazarlanmasının arttırmak" olarak belirlemiştir. 54 tane üyesi bulunan nükleer kümenin üyeleri: nükleer enerji tesisleri, üniversiteler, tedarikçiler, araştırma laboratuvarları ve teknoloji firmalarıdır. Kümenin toplam doğrudan 13,3 milyar \$, dolaylı ve uyartılmış etkisi ise 10,9 milyar \$ civarındadır (Mason, Ferrell, Skinner, Watson, & Bobo, 2013).

Kümelenme kavramı endüstri ile ilgili olmasının yanında sosyal, kültürel, eğitim hatta şehircilik ile ilgili üzerinde düşünülmesi gereken konuları ve fırsatları içermektedir. Bu sebeple "Sinop Enerji Endüstrisi Kümelenmesi" kapsamında yapılması önerilen çalışmalar temel olarak 5 bölüme ayrılmıştır:

- Sinop Enerji Kümelenme Yol Haritasının Çıkarılması
- Sinop Enerji Endüstrisi İhtisas Organize Sanayi Bölgesinin Kurulması
- Enerji Endüstrisi Eğitim Akademisinin Kurulması
- Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi
- Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi

6.3.1. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ KÜMELENME YOL HARİTASI

Sinop İli özelinde enerji endüstrisi kümelenme yol haritasına ihtiyaç vardır. Hazırlanacak yol haritası yerli ve yabancı profesyonel ve uzmanların gözetiminde katılımcı (kamu, özel, üniversite, STK, yerel temsilciler dâhil) Bölge gerçeklerine uygun, sürdürülebilir, ayrıntılı, iyi hazırlanmış ve şeffaflık ilkesi niteliklerine sahip olmalı ve hem yerel hem de ulusal yöneticiler tarafından sahiplenilmeli ve takibi yapılmalıdır. Sinop NGS'nin hem inşaat aşamasında hem de işletme aşamasında çalışacak personelinin şehir ile bütünleşmesi, kent imkânlarının sürdürülebilirlik çerçevesinde geliştirilmesi, enerji endüstrisinin gelişmesi ile beraber şehir nüfusunun artması sebebiyle yaşanabilecek sorunların analizi ve bertarafı, enerji endüstrisi tedarik zincirinin sağlanması ve geliştirilmesi, kamu-üniversite-sanayi işbirliğinin işlerliğini sağlama, yerel işletmelerin büyük pazarlara açılmasının sağlanması, uluslararası ortaklıkların sağlanması vb. kısa, orta ve uzun vadede yapılması gereken çalışmaların net bir şekilde yer aldığı bir yol haritası olması gerekmektedir. Belediyelerin, kamu kurum ve kuruluşlarının, sivil toplum kuruluşlarının, üniversitelerin ve enstitülerin görevleri ve hedefleri bir proje mantığında düşünülerek SMART⁶⁸ yönteminde hazırlanmalı, uygulanmalı ve takip edilmelidir. Ulusal ve bölgesel strateji, plan ve programlarla eş güdümlü olacak şekilde hazırlanan yol haritası uygulayıcıların görevlerini etkin şekilde yerine getirebilmesi amacıyla uygun insan kaynağı politikasının, mevzuat değişikliklerinin yapılması finansal kaynakların ve fiziksel şartların sağlanması önem arz etmekte ve aksi takdirde hedeflere ulaşamayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

6.3.2. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ İHTİSAS ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ

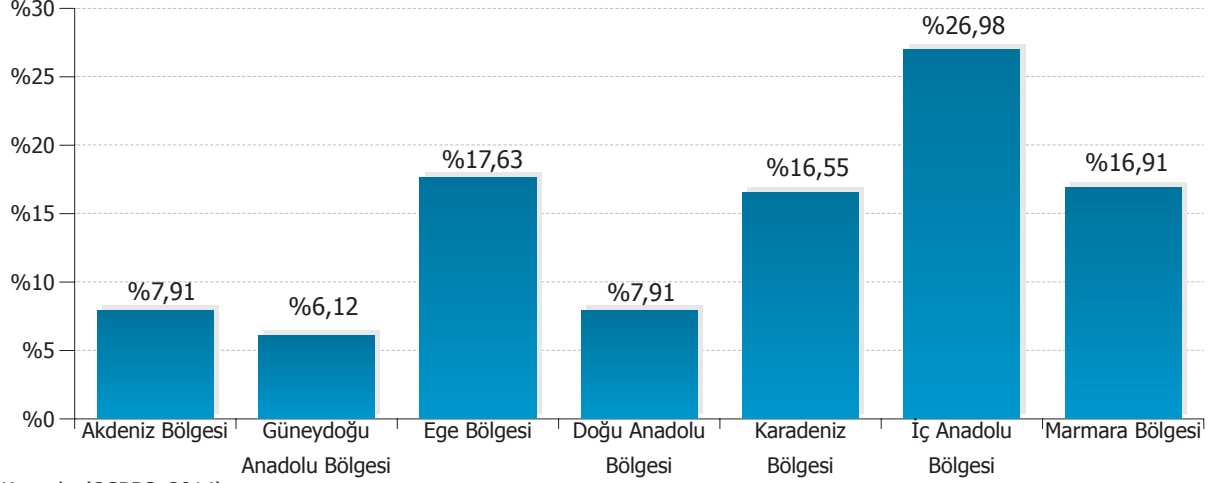
Mal ve hizmet üretim bölgeleri olarak tasarlanan Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) 19. yüzyılın sonlarına doğru ilk defa İngiltere ve Amerika'da; ülkemizde ise 1962 yılında Bursa'da kurulmuştur (OSBDER, 2014). Ülkemizdeki gelişmelere paralel olarak hâlihazırda 278 OSB bulunmaktadır. Grafik 11 ile belirtildiği

⁶⁷ <http://peterboroughcanada.com/lets-do-business/our-economy/fire/nuclear-energy-supply-chain/> Erişim Tarihi: 30.09.2014

⁶⁸ Proje döngüsü yönetiminde (PCM) bir projenin hedeflerinin taşınması gereken özelliklerin kısaltması olan SMART (Specific, Measurable, Achievable, Results-focused and Time-bound) proje hedeflerinin belirli, ölçülebilir, kabul edilen, gerçekçi ve zamana bağlı olması gerektiğini ifade etmektedir (University of Virginia, 2009).

üzere en fazla OSB sırasıyla İç Anadolu (75), Ege (49), Marmara (47), Karadeniz (46), Doğu Anadolu (22), Akdeniz (22) ve Güneydoğu Anadolu (17) bölgelerinde bulunmaktadır. (OSBBS, 2014)

Grafik 11: OSB'lerin Bölgelere Göre Dağılımı (%), 2014



Kaynak: (OSBBS, 2014)

Tüm Türkiye'deki OSB'lerin toplam alanı 813,19 km² olup; kişi başına 10,61 m² alan düşmektedir. Kişi başına en fazla alan düşen il 13 OSB'de 62,13 m² ile Tekirdağ olmuştur. Sinop, 2 OSB'ye sahip olmakla birlikte kişi başına 8,41 m² ile Türkiye ortalamasının altında ve 46. sıradadır (OSBÜK, 2014). Sinop Merkez ilçe ve Boyabat ilçesinde bulunan OSB'ler sırasıyla brüt 100 hektar ve 72 hektar alana sahiptir. Sinop OSB hâlihazırda aktif olarak kullanılırken, Boyabat OSB'de altyapı çalışmaları önemli ölçüde tamamlanmış; arazi tahsisleri yapılmaya başlanmıştır.

4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu'nun 3. maddesinde İhtisas OSB, aynı sektör grubunda ve bu sektör grubuna dâhil alt sektörlerde faaliyet gösteren tesislerin yer aldığı OSB ile lojistik amacıyla kurulan OSB olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'de son yıllarda sayısı oldukça artmış olan ihtisas OSB'lere örnek olarak; TAYSED Otomotiv Yan Sanayi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi (Gebze), Bursa İhtisas Deri Organize Sanayi Bölgesi, Gebze Kimya İhtisas Organize Sanayi Bölgesi verilebilir.

Nükleer santrallerde ve diğer enerji tesislerinde sayıları toplamda yüzbinleri bulan malzeme, makine – ekipman, parça vb. ürünler kullanılmaktadır. Özellikle ısı tabanlı teknolojiler kullanan güç tesislerinde benzer malzeme, makine – ekipman vd. parçalar kullanılması sebebiyle bir enerji teknolojisi özelinde ihtisas organize sanayi kurulumundan ziyade tüm enerji tesisleri için ortak üretimlerin ve hizmetlerin sunulabileceği Sinop Enerji Endüstrisi İhtisas Organize Sanayi Bölgesi (İOSB) kurulması önerilmekle birlikte konunun gündeme gelmesinde Sinop NGS'nin tetikleyici rolü bulunmaktadır.

Nükleer endüstride yer alan ürünlerin bir kısmı ileri teknoloji ve yatırım gerektiren ürünler içerirken bir kısmı ise düşük ve orta teknolojili ürünleri içermektedir. Yerileştirme kavramı her ne kadar ülke açısından teknolojiye sahip olma durumunu anlatsa da aynı ülke içindeki bölgeler açısından kullanılması da teknik olarak sakınca olmadığı varsayılabilir. Tablo 37 ile yeni yapılan bir nükleer santralde kullanılacak ürün ve hizmetlerin gerektirdiği yatırım miktarı açısından gruplandırılması verilmiştir. NGS inşaatı, Türkiye'de hâlihazırda bazı yapılar için kullanılan altyapı ile benzerlik gösterdiği için yüksek miktarda yatırıma ihtiyaç duymamaktadır. Orta seviyede yatırım gerektiren ürünler ise çoğunlukla makine – ekipman sınıfından olan vana, şalter, filtre gibi yardımcı elemanlardan, yüksek seviyede yatırım gerektiren ürünler ise temel olarak nükleer buhar tedarik sistemini oluşturan (NSSS) ürünlerden reaktör, buhar sistemi, türbin sistemi, nükleer yakıt döngüsü bileşenleri vb. oluşturmaktadır. Her ne kadar yüksek seviyede yatırım ileri teknoloji anlamına gelmesinde de teknik açıdan gerçekten büyük yatırımlar gerektirmektedir. Özellikle ağır döküm – dövme işlemleri yüzlerce tonluk alaşımlardan oluşan reaktör kabı, basınç kazanları, türbin şaftı gibi parçaları üretmek için kullanılmaktadır. Örneğin, yeni nesil bir AP1000 reaktörünün parçalarını üretmek için 15.000 ton basınç yaratan pres ve 350 ton külçe metal/alaşım alma kapasitesine sahip

bir makine – ekipman parkuruna ihtiyaç duyulmakta olup; dünyada söz konusu kapasitelerde üretim yapabilme imkanına sahip 5 ülke ve 7 tesis bulunmaktadır⁶⁹. Smith-Kevern (2010) çalışmasında ABD'nin ultra-büyük dövme tesislerine sahip olmadığı, özel sektörün böyle bir tesis kurmak için gerçek bir planı olmadığı çünkü böyle bir tesis için yaklaşık 2 milyar \$ tutarında bir yatırım gerektiği, yapımının 7 yıl süreceği ve bu süre içerisinde ABD piyasası dahil tüm dünya piyasasını diğer tesislerin paylaşacağı; bu sebeple bu tesisleri desteklemenin uygun olmayacağını belirtmiş; bunun yerine mevcut firmaları koroz-yona dayanıklı, yüksek güce sahip ya da yüksek sıcaklık alaşımlarının işlenmesi niş pazarına odaklamayı cesaretlendirecek desteğin verilmesi gerektiğini belirtmiştir. Türkiye döküm sektöründe kapasite olarak Avrupa'da 4. sırada olup (Türkdöküm, 2014); dövme sektöründe ise otomotiv endüstrisine üretim yapan çok sayıda orta ölçekli şirketler bulunmakla birlikte ultra – büyük parçaları üretecek makine – ekipman altyapısı bulunmamaktadır. Ancak, Marmara Bölgesi'nde yer alan bir firma tarafından 160 milyon € tutarında bir yatırımla kurulan 12.500 tonluk bir vidalı prese sahip tesis temelde otomotiv sanayi için de olsa belirli kapasitelerdeki enerji tesisleri için üretim yapabilme şansına sahip olabilecektir⁷⁰. Yüksek ölçekli diğer yatırımlardan olan nükleer yakıt üretimi (Melox) ve yeniden yakıt işleme tesisleri (La Hague) Fransa özelinde yaklaşık 19,5 milyar €'ya mal olmuş (OECD/NEA, 2013) ve tesislerin toplam çalışan sayısı 7.000'i geçmiştir⁷¹ (Schneider & Marignac, 2008).

Tablo 37: Yeni Yapılan Nükleer Güç Santrallerinde Potansiyel Yerleşime İmkanları

Düşük Seviyede Yatırım	Orta Seviyede Yatırım	Yüksek Seviyede Yatırım
Hafriyat & temel işleri, Beton ve inşaat demiri tedariki, giriş & tahliye yapıları inşaatı, yardımcı bina yapımı, trafo merkezi, iletim hatları, vinçler, yangın söndürme ekipmanları, kablo tablaları, boru döşeme (QC3) vd.	Pompalar (birincil olmayan), vanalar, filtreler, HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) ekipmanları, boru üretimi, motorlar, transformatörler, düşük ve orta voltaj şalterler (MV & LV), ısı değiştirici (heat exchanger) vd.	Nükleer yakıt imalatı, kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi, yüksek radyoaktiviteye sahip atıkların depolanması, ağır döküm ürünleri, reaktör basınç kazanı, buhar üretici, polar vinç (polar crane), güvenlik & operasyonel ölçme – kontrol, temel yardımcı pompalar, ana kontrol odası, dizel jeneratörler vd.

Kaynak: (de GUIO & Muguet, 2011)

Hafriyat & temel işleri, Beton ve inşaat demiri tedariki, giriş & tahliye yapıları inşaatı, yardımcı bina yapımı, trafo merkezi, iletim hatları, vinçler, yangın söndürme ekipmanları, kablo tablaları, boru döşeme (QC3) vd. Pompalar (birincil olmayan), vanalar, filtreler, HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) ekipmanları, boru üretimi, motorlar, transformatörler, düşük ve orta voltaj şalterler (MV & LV), ısı değiştirici (heat exchanger) vd. Nükleer yakıt imalatı, kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesi, yüksek radyoaktiviteye sahip atıkların depolanması, ağır döküm ürünleri, reaktör basınç kazanı, buhar üretici, polar vinç (polar crane), güvenlik & operasyonel ölçme – kontrol, temel yardımcı pompalar, ana kontrol odası, dizel jeneratörler vd.

Anlaşıldığı üzere, yüksek seviyede yatırım gerektiren ürünler ve hizmetler genel olarak Türkiye'de üretilmemekte, üretilmesi içinse milyarlarca liralık yatırımlar gerekmektedir. Nükleer güç santrallerine giriş aşamasında olan ülkeler açısından öncelikli olarak düşük seviyede veya orta seviyede yatırım ve daha az teknik bilgi gerektiren veya tecrübeli olunan ürün ve hizmetlerin tedarikini sağlamak daha mümkün görünmektedir. Özellikle nükleer reaktörün (nuclear island) ve buhar türbininin (turbine island) bulunan kısımlardan ziyade yer düzenlemesi & inşaat işleri ile destek santral parçaları ve hizmetleri üzerine yoğunlaşmak mevcut şartlarda en azından kısa ve orta vadede Türk şirketlerine avantaj sağlayabilecektir (Tuğrul, 2013).

⁶⁹ Bahsi geçen ülkeler Japonya (1), Güney Kore (1), Çin (3), Hindistan (1) ve Rusya'dır (1). WNA, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Power-Reactors/Heavy-Manufacturing-of-Power-Plants/> Erişim Tarihi: 26.12.2014

⁷⁰ Söz konusu firma Parsan Makine Parçaları Sanayi A.Ş.'dir. Parsan A.Ş. 18.14.2014 Haberi, <http://www.parsan.com.tr/haberler/> Erişim Tarihi: 26.12.2014

⁷¹ Areva'nın sahip olduğu her iki tesis alanlarında dünyanın en büyükleridir. <http://www.areva.com/EN/operations-1095/melox-operations-production-of-mox-fuel-assemblies.html> , <http://www.areva.com/EN/operations-1092/areva-la-hague-recycling-used-fuel.html> Erişim Tarihi: 12.12.2014

Diğer önemli husus ise nükleer santrallerde kullanılacak malzeme ve parçalar ile ilgili talep edilen sertifikalardır. Bazı parçaların üretiminde nitelikli sertifikaya ihtiyaç duyulurken bazı parçaların üretiminde standart sertifikalar yeterli olabilmektedir. En çok kullanılan kalite belgeleri ASME⁷² (Division III- VIII vd.), AFCEN⁷³ (RCC-MR vd.), CAN/CSA⁷⁴ (N285.095 vd.), 10 CFR 50⁷⁵, ANSI⁷⁶ (N45.22 vd.), ISO⁷⁷ (9001:2008 vd.) şeklinde sıralanabilir. Tablo 38 ile nükleer ekipman ve hizmet kalite güvence sistemleri konusunda popüler kurumlardan olan ASME tarafından nükleer tesisler için verilen 6 adet N-tipi sertifika gösterilmiştir. Söz konusu sertifikalardan en az birine sahip sadece bir firma vardır⁷⁸. Her bir ASME N-tipi sertifika alabilmek için 40.000 \$ - 90.000 \$ arasında bir harcama yapmak gerekmektedir (ASME, 2014).

Tablo 38: ASME Tarafından Nükleer Tesisler için Verilen Sertifikalar

ASME tipi	Faaliyet Türü
N	Kaplar, pompalar, vanalar, boru sistemleri, depolama tankları, temel destek yapıları, koruyucu betonlar ve nakliye paketlemesi
NA	Bütün parçaların saha tesisleri ve montaj atölyeleri (field installation and shop assembly)
NPT	Parçalar, müstemilat, dikişli boru ürünleri ve boru birleştirme (piping subassembly)
NS	Destekler (supports)
NV	Basınç boşaltma vanaları (pressure relief valves)
N3	Ulaşım koruması (transportation containments), depo koruması (storage containments)

Kaynak: ASME, <https://www.asme.org/shop/certification-accrreditation/nuclear-component-certification> Erişim Tarihi: 19.12.2014

Söz konusu miktar KOBİ niteliğindeki şirketlerin önemli kısmı için denkleştirme açısından sorun olabilecektir, bu sebeple yüksek maliyetli sertifikalar için ortak üretim ve işbirliği şart olmaktadır. Ancak sertifika istemeyen, hâlihazırda gerekli sertifikaya sahip olan veya kısa sürede alınabilen, karşılanabilir maliyete sahip sertifikalarla yapılabilecek üretimler öncelikli olmalıdır. Diğer taraftan kablo, vana, kablo tablası, kaynak araç – gereçleri, filtreler, yangın söndürme ekipmanları, diğer ısı tabanlı tesisler tarafından kullanılması nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahip düşük ve orta seviye de yatırıma ihtiyaç duyan araç – gereçlerin imalatı sürdürülebilir görünmektedir. Fakat yerelde faaliyet gösteren ve endüstri ile ilgili katma değeri daha yüksek malzeme, makine – ekipman ve parçalar üretilmek isteniyorsa uluslararası işbirliği önem arz etmektedir.

(UK Government, 2013) çalışmasına göre 2025 yılına kadar dünyada 221 yeni nükleer reaktör inşa edilecek ve toplam 240,20 milyar £ tutarında bir piyasa oluşacaktır. Birleşik Krallık'ın bu pazardan almayı öngördüğü miktar 7,91 milyar £ olup; toplam pazarın %3,3'ünü oluşturmaktadır. Bu derece büyük bir pazarın varlığı nükleer endüstriye üretim yapma konusunda girişimciyi şüphesiz yatırım yapmaya yönlendirecektir. Ancak nükleer teknoloji ve endüstri konusunda mevcutta gelişmiş altyapısı olan Birleşik Krallık dahi toplam pazardan %3,3 oranında nispeten düşük bir pay almayı beklediği gerçeği göz önünde bulundurulduğunda dünya nükleer teknoloji piyasasında yer almayı uman Türk şirketlerinin kıyasıya uluslararası bir rekabetle karşılaşacağı aşikârdır.

6.3.3. SİNOP ENERJİ ENDÜSTRİSİ EĞİTİM AKADEMİSİ

Nükleer santraller yaşam döngüleri boyunca (planlama, tasarım, imalat, inşaat, işletim, bakım-onarım ve hizmetten çıkarma evreleri) sürekli nitelikli insan kaynağına ihtiyaç duymaktadır. (IAEA, 2009) çalışmasına göre, nükleer enerji ile ilgili yaşanan olumsuz hadiselerin %80'inin insan kaynaklı, % 20'sinin ise ekipman kaynaklı olması sebebiyle insan kaynağının iyi yönlendirilmesi, eğitilmesi ve sertifikalandırılması

⁷² ASME, <https://www.asme.org/shop/certification-accrreditation/nuclear-component-certification> Erişim Tarihi: 18.12.2014

⁷³ AFCEN, http://www.afcen.com/index.php?menu=commander_ouvrages_en Erişim Tarihi: 18.12.2014

⁷⁴ CAN/CSA, <http://www.scc.ca/en/standardsdb/standards/5012> Erişim Tarihi: 18.12.2014

⁷⁵ NRC, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part050/> Erişim Tarihi: 18.12.2014

⁷⁶ ANSI, http://www.standardsportal.org/usa_en/usg/nrc.aspx Erişim Tarihi: 18.12.2014

⁷⁷ ISO, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-4:v2:en> Erişim Tarihi: 18.12.2014

⁷⁸ Enka A.Ş.'ye bağlı Çimtaş Borulama Fabrikaları ASME NA, NPT ve NS sertifikalarına sahiptir. <http://caconnect.asme.org/CertificateHolderSearch/> Index Erişim Tarihi: 18.12.2014

yerli ve uluslararası piyasa için yetiştirilmiş kaliteli insan kaynağı sadece Türkiye için değil dünya refahı ve nükleer güvenliği için de büyük önem arz etmektedir. Tablo 39 ile ortalama bir nükleer santralin inşaat faaliyetlerinin en yoğun olduğu evrede görev yapan 1.600 kişinin temel 5 meslek grubunun tahmini verileri gösterilmiştir. Buna göre nükleer santral inşaatında en fazla ihtiyaç duyulan meslek grubu elektrikçiler (%18) ve demirciler (%18) olmuş, söz konusu meslek gruplarını boru döşemecileri (%17), doğramacılar (%10) ve beden işçileri (%10) takip etmiştir. Diğer yüksek çalışana sahip meslek grupları işletme mühendisleri (%8) ve kazancılar (%4) olmuş, görev alan diğer bazı meslek grupları ise duvarcılar, yalıtımcılar, boyacılar, yassı metal işçileri, kamyon şoförleri vd. oluşmaktadır. Nükleer santral inşaatı ile ilgili söz konusu meslek gruplarının inşaat başlamadan önce ulusal ve uluslararası standartlara uygun şekilde eğitilmesi inşaat süresince kaliteli yerli ara eleman darboğazının oluşmasını engelleyecek, uluslararası nükleer santral inşaatı pazarında yer alma şansına sahip olacaktır.

Tablo 39: İnşaat Faaliyetlerinin Tavan Yaptığı Durumda Mesleki Çalışanlar (Craft Labour) (tahmini)

Meslek Tanımı (Craft Description)	Oran (%)	Sayı
Elektrikçiler/Ekipman Montajcıları (Electricians/Inst. Fitters)	18	290
Demir İşçileri (Iron Workers)	18	290
Boru Döşemecileri (Pipefitters)	17	270
Doğramacılar (Carpenters)	10	160
Beden İşçileri (Labourers)	10	160
Diğer (Other) – kazancılar, yalıtımcılar, boyacılar vd	27	430
Toplam (Total Construction Labour)	100	1.600

Kaynak: (IAEA, 2011)

Tablo 40 ile tek reaktöre sahip bir nükleer santralin ortalama çalışan sayıları ve en fazla personele ihtiyaç duyulan faaliyetlere yer verilmiştir. En fazla personel bakım – onarım/yapım işleri (BO/Y) (%16) ile güvenlik işleri (%16) için talep edilmektedir. BO/Y işleri tesisin parçalarının düzenli, düzeltici ve önleyici bakımlarını, küçük – büyük bazı parçaların değiştirilmesi ve ölçüm bilgisinin sağlanmasından sorumlu makine, elektrik ve ölçü – kontrol görevlileri ve amirlerini içerir. Güvenlik faaliyeti, tesisin fiziksel olarak korunmasından ve güvenlik planı ve işlemleri geliştirmekten ve uygulamaktan sorumlu güvenlik görevlilerini içermektedir. En fazla personel istihdam edilen diğer faaliyetler ise operasyonlar (%10), tesis mühendisliği (%5) ve eğitim faaliyetleri (%5) olmuş, diğer 38 tesis faaliyetinden ise toplam personelin %48'i sorumludur. Operasyonlar, birincil, ikincil ve sıvı radyoaktif atıklardan sorumlu vardiya personelinin; tesis mühendisliği sistemi değerlendiren, gözlemleyen, teknik rapor hazırlayan mühendisler ile saha mühendislerini; eğitim faaliyetleri ise nükleer personel eğitimlerini koordine eden, resmi eğitimleri almasını sağlayan, eğitim programlarını hazırlayan – uygulayan ve tesis simülörlerinden sorumlu teknik personeli kapsamaktadır.

Tablo 40: İşletim Aşamasında Tek Reaktörlü Bir Santralin Faaliyetleri ve Personel Sayıları

Faaliyetler	Çalışan Oranı (%)	Çalışan Sayısı
Bakım – Onarım/Yapım (Maintenance/construction)	16	119
Güvenlik (Security)	16	119
Operasyonlar (Operations)	10	74
Tesis Mühendisliği (Plant Engineering)	5	33
Eğitim Faaliyetleri (Training)	5	32
Diğer (Others) – büro işleri, sağlık fiziki, kimya vd.	48	355
Toplam (Total)	100	732

Kaynak: (IAEA, 2011)

Güney Kore KHNP Şirketi'nin Uluslararası İşbirliği Takımı yöneticisi Kyo Hwang nükleer enerji ile yeni tanışacak ülkelere yeterli sayıda kalifiye personeli temin edebilecekleri bir havuz oluşturmaları, uluslararası

işbirliklerine katılma ve teknik destek faaliyetlerinden yararlanma ile eğitim altyapısını oluşturmaları için mutlaka bir eğitim merkezi kurmalarını önermiş, devletin nükleer projenin başlangıç evresinde kilit rol oynadığı ve bu sebeple liderlik yapması gerektiğini belirtmiştir (Hwang, 2012). Sinop NGS ile Akkuyu NGS inşa edilirken ve işletilirken kalifiye personele ihtiyaç duyacağı, söz konusu personelin hâlihazırda yeterli sayıda olması, yerine getirilecek hizmetlerin aksamaması açısından zorunlu görülmektedir. Şöyle ki yaklaşık 80 milyar kWh/yıl üretime sahip olacak her iki nükleer santralin inşaat veya işletme faaliyetlerinin bir gün dahi aksaması işletenin milyonlarca TL zarara uğramasına sebep olabilmektedir.

Sinop'u eğitim şehri yapabilmek için atılabilecek önemli adımlardan biri olmaya aday ve yakın zamanda ihtiyaç duyulacak ve özellikle tekniker yetiştirme konusunda uzmanlığa sahip bir eğitim merkezidir. Bu bağlamda Sinop Enerji Endüstrisi Eğitim Akademisi kurulması önerilmektedir. Akademi, tüm enerji endüstrisinin ihtiyaç duyduğu nitelikli teknikerleri yetiştirme konusunda önde gelen, kavramsal bilgiye olduğu kadar uygulamaya da önem veren müfredata sahip, ulusal ve uluslararası geçerliliği olan sertifikalar vermeye yetisine haiz bir eğitim kurumu olmalıdır. Akademinin temel işbirliği ortakları başta TAEK ve T.C. Mesleki Yeterlilik Kurumu olmakla birlikte diğer kamu kurumları, uluslararası işçi ve işveren örgütleri, sivil toplum kuruluşları ve özel şirketlerin olması önem taşımaktadır. Tekniker eğitimi konusunda uzmanlaşması gereken tesis; elektrik tesisatçılığı, makine – ekipman montajı, demir işleri ve kaynakçılık, boru döşemeciliği, kaynakçılık vd. eğitimleri ile tesisin işletilmesi aşamasında ihtiyaç duyulan makine, kimya, elektrik, ölçü – kontrol, radyasyondan korunma, kimya vd. teknikerleri için eğitim programları düzenlemelidir. Akademi aynı zamanda özellikle beyaz yaka personelin nükleer tesislerde çalışmaya başlamadan önce temel eğitimi aldığı yer olarak tasarlanmalı ve uzaktan eğitime uygun (e-öğrenme) altyapıya sahip olmalıdır⁷⁹.

6.3.4. ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA YÜKSEK ENSTİTÜSÜ

NGS yüksek nitelikte bilgi, teknik, teknoloji ve yatırım gerektiren tesislerdir. NGS'nin tasarım ve projelendirme aşamalarının dışında tesislerde kullanılacak madde – malzeme, ekipman ile araçların imalatı ve inşaat yapım tekniği de yüksek nitelikte bilgi, teknik, teknoloji ve yatırım gerektirmektedir. Örneğin, ABD merkezli Westinghouse Şirketi'nin⁸⁰ geliştirdiği 20 yıllık araştırma ve geliştirme geçmişi olan PWR tipi yeni nesil AP1000 reaktörünün tasarımı ve testi için 1.300 adam/yıl emek ve yaklaşık 500 milyon \$ kaynak harcanmış; 12.000'den fazla tasarım dokümanı hazırlanmıştır (Matzie, 2003). Tablo 41 ile 2009 yılı özelinde enerji teknolojileri Ar-Ge'si harcaması en fazla olan 9 OECD ülkesi ve Türkiye'ye ait istatistikler gösterilmiştir. En fazla toplam enerji teknolojileri Ar-Ge bütçesine sahip ülke 10,46 milyar \$ ile ABD iken ABD'yi sırasıyla 3,61 milyar \$ ile Japonya, 1,44 milyar \$ ile Fransa, 1,07 milyar \$ ile Kanada ve 5. sırada 840 milyon \$ ile Almanya takip etmektedir. Nükleer teknoloji Ar-Ge bütçesinde ise 2,50 milyar \$ ile Japonya lider olurken, 2. sırada 899 milyon \$ ile ABD, 3. sırada 638 milyon \$ ile Fransa, 4. sırada 341 milyon \$ ile Kanada ve 5. sırada 300 milyon \$ ile Almanya yer almıştır. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji teknolojileri Ar-Ge harcamalarında ise ABD toplam 4,61 milyar \$ ile lider olup; verimlilik Ar-Ge harcamalarında Japonya 361 milyon \$ ile 2. sırada, yenilenebilir enerji Ar-Ge harcamalarında ise 259 milyon \$ ile Almanya 2. sırada yer almıştır. Nükleer enerji tesislerinin yapımı ve geliştirilmesi konusunda son yıllarda söz sahibi olmaya başlayan ve nükleer santral filosunu daha da geliştirecek OECD üyesi Güney Kore'nin enerji teknolojileri Ar-Ge toplam bütçesi yarım milyar \$'ı geçmekte ve bu miktarın %15'i nükleer teknoloji Ar-Ge harcamalarında kullanılmaktadır. Türkiye'de enerji teknolojileri Ar-Ge toplam bütçesi 8 milyon \$'ı biraz geçmekte ve hem miktar hem de toplam Ar-Ge harcamasına oranı açılarından OECD istatistiklerinde oldukça geri sıralarda bulunmaktadır⁸¹.

⁷⁹ Örneğin, Güney Koreli KNHP Şirketi'nin nükleer tesislerde yeni çalışmaya başlayacak personel için uyguladığı 32 haftalık çerçeve program; 1 haftalık hazırlık dersleri (e-öğrenme), 7 haftalık nükleer temelleri (KNHP Eğitim Enstitüsü'nde), 8 haftalık tesis sistemleri (her santralin eğitim merkezinde) ve 16 haftalık işte eğitim (santralde) bölümlerinden oluşmaktadır (Hwang, 2012).

⁸⁰ PWR tipi reaktörü icat eden ve 1957'de ilk PWR reaktörü kuran Westinghouse Elektrik Şirketi'dir (Westinghouse, 2014).

⁸¹ Enerji teknolojileri Ar-Ge bütçeleri verilen 26 ülke arasında Türkiye 25. sırada yer almıştır (OECD iLibrary, 2014).

Tablo 41: OECD Ülkeleri Enerji Ar-Ge Bütçeleri, 2009, (Milyon \$), (2013 fiyatları ve döviz kuru)

Ülke	Enerji Verimliliği	Yenilenebilir Ener.	Nükleer	Toplam Bütçe
ABD	2.264	2.352	899	10.459
Japonya	361	125	2.502	3.612
Fransa	213	212	638	1.435
Kanada	144	154	341	1.068
Almanya	143	259	300	840
Güney Kore	98	132	79	544
Avustralya	42	94	3	489
İtalya	195	86	119	488
Birleşik Krallık	145	154	60	461
Türkiye	0,36	2,37	0	8,54

Kaynak: (OECD iLibrary, 2014)

Bahsi geçen OECD ülkelerinin Ar-Ge bütçeleri uzun yıllardır hem büyüklük hem de oransal açıdan yüksek seyretmiş ve çoğu ilk yatırımı hâlihazırda yapmışlardır. Bu sebeple hem Ar-Ge bütçelerinin hem de enerji teknolojileri bütçelerinin muazzam şekilde artırılması ve en etkin şekilde kullanılması kesinlikle zorunludur. Nükleer enerjide ulusal hedef sadece nükleer reaktör veya santralin milli imkânlarla kurulması değil milli santralin dünya pazarında kendine yer edinebilmesi, talep görmesi ve nükleer teknoloji ihracatı yapabilecek seviyeye gelinmesi olmalıdır. Türkiye'nin milli hedeflerine ulaşabilmesi için ciddi derecede katma değeri yüksek ürünler üretilmeli ve ihraç edilmelidir. 2012 yılı toplam ihracat ve ileri teknoloji ihracatı miktarı en fazla olan 5 ülke ile Türkiye'nin istatistikleri Tablo 42 ile gösterilmiştir. Çin 1,87 trilyon \$ tutarında toplam ihracat ve 505,65 milyar \$ tutarında ileri teknoloji ihracat miktarlarıyla lider durumdadır. Her iki sıralamada da yer alan ülkeler ABD, Almanya ve Japonya olmuştur. Tabloda en çok dikkat çeken ülke ise ileri teknoloji ihracatında 4. Sırada yer alan Singapur'dur. 697 km² yüzölçümü 5,57 milyon nüfusu Malezya ve Endonezya'nın arasında yer alan bu küçük Güneydoğu Asya ülkesinin çoğu tekrar ihrac (re-export) nedeniyle de olsa ileri teknoloji ihracatı öne çıkmaktadır⁸². Toplam ihracatta 419,31 milyar \$ ihracatla 11. sırada yer alan Singapur toplam ihracatının %30,58'ini ileri teknoloji ihracatından sağlamıştır. Aynı oran Çin'de %27,02; Japonya'da %16,57; Almanya'da %12,44; İngiltere'de %9,48 ve ABD'de %8,01 olmuştur. Türkiye ise toplam ihracat miktarında dünyada 152,87 milyar \$ ile 29. sırada bulunurken ileri teknoloji ihracatında %1,30 oran ve 1,98 milyar \$ ile 10 basamak geriye düşerek 39. sırada yer almaktadır. World Bank (2014) çalışmasında nükleer santrallerle ilgili önemli parçaların üretimi ileri teknolojili üretim ihracatı hesaplamasına dahil edilmiştir. Şöyle ki söz konusu çalışma⁸³ (Hatzichronoglou, 1997) çalışmasını referans almış ve ileri teknolojili ürünlere STIC Rev. 3'te yer alan 71891 (nükleer reaktörler), 71877 (yakıt elemanları "kartuşlar"), 71878 (nükleer reaktör parçaları) ve 525 (radyoaktif ve türevleri materyaller) numaralı ürünleri dâhil etmiştir.

⁸² CIA World Factbook, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/sn.html> Erişim Tarihi: 31.12.2014⁸³ World Bank Metadata, <http://databank.worldbank.org/data/views/reports/metadataview.aspx> Erişim Tarihi: 24.12.2014İHA, <http://www.ih.com.tr/haber-yildiz-nukleer-ile-alakali-guney-kore-modeli-cok-onemli-bir-model-328173/> Erişim T: 26

Tablo 42: Ülkelerin Toplam İhracatları ve İleri Teknoloji İhracatları, 2012 (2005 sabit milyon \$)

Toplam İhracat			İleri Teknoloji İhracatı		
Sıra	Ülke	Miktar	Sıra	Ülke	Miktar
1	Çin	1.871,12	1	Çin	505,65
2	ABD	1.856,60	2	Almanya	183,35
3	Almanya	1.473,31	3	ABD	148,77
4	Japonya	744,94	4	Singapur	128,24
5	Birleşik Krallık	714,90	5	Japonya	123,41
29	Türkiye	152,87	39	Türkiye	1,98

Kaynak: (World Bank, 2014)

Türkiye'nin ileri teknoloji kullanımı, geliştirmesi ve ihracatı konusunda kararlı olduğu ve yol kat etmesi gerektiği ulusal ölçekte hazırlanan rapor ve politika dokümanlarında yer almıştır. Türkiye Sanayi Stratejisi uzun dönemli vizyonu "Orta ve yüksek teknolojili ürünlerde Avrasya'nın üretim üssü olmak" tır.2023 Türkiye İhracat Stratejisi ve Eylem Planı "Teknoloji" eylem alanının stratejik hedefi "İhracatta Yenilikçilik ve Ar-Ge'ye Yönelik Yatırım ve Uygulamalar ile İleri Teknolojili Ürün İhracatının Artırılması" olup, bu stratejinin altında 7 adet eylem belirlenmiştir. Söz konusu stratejik hedeflerin 12 performans göstergelerinden olan Ar-Ge harcamalarının toplam GSYH'ye oranının %1'den %3'e, Ar-Ge merkezi sayısının 90'dan 120'ye ve yüksek teknolojili ürün ihracatının toplam imalat sanayi ihracatı içindeki payının %3'ten %8'e çıkarılması hedeflenmiştir (T.C. Ekonomi Bakanlığı, 2012). Ulusal Ar-Ge ve Yenilenebilir Enerji Stratejisi kapsamında nükleer enerji odak grubu oluşturulmuş, sürdürülebilir kalkınma doğrultusunda enerji teknolojilerinde yetkinlik kazanma başlığı altında öncelikli teknoloji faaliyet konusu olarak nükleer enerji üretiminde yetkinleşmek başlığında "nükleer enerji alanında yetenek kazanması ve yeni teknolojilerinin geliştirilmesi çalışmalarında yer almanın" doğru bir yaklaşım olacağı belirtilmiştir (TÜBİTAK, 2011a). Söz konusu hedeflere ulaşabilmek için kamu kurumlarına, özel sektöre ve sivil toplum kuruluşlarına büyük sorumluluk düşmektedir.

Nükleer teknolojinin transferi, yerleştirilmesi ve geliştirilmesi konusunda Güney Kore tecrübesi sık sık gündeme gelen bir örnek olmuştur^{84,85}. Bunun en önemli sebebi muhtemelen Türkiye ile benzer ekonomik ve demografik geçmişe sahip Güney Kore'nin hızlı bir ekonomik gelişme sağlayarak dünya ekonomisinde söz sahibi olması ve nükleer enerjinin yerleştirilmesini ve kendi teknolojisini geliştirerek başarılı bir şekilde teknolojisini ihraç edecek seviyeye gelmiş olmasıdır.

Çeşitli ülkelerde yer alan bazı araştırma laboratuvarları ve enstitüleri ile ilgili bilgiler Tablo 43 ile verilmiştir. Söz konusu tesislerin bütçeleri yüzlerce hatta milyarlarca dolar olup; çalışan sayıları on binleri bulmaktadır. Örneğin uzmanlık alanı nükleer bilimler ve mühendislik olan ve 1949'da kurulan Idaho Ulusal Laboratuvarı'nın (INL) çalışan sayısı yaklaşık 3.500 kişi ve bütçesi 1,7 milyar \$ (2012) olmuştur. Japonya'da bulunan ve parçacık fiziği ile ilgili araştırmalara ev sahipliği yapan Yüksek Enerjili Hızlandırıcı Araştırma Örgütü (KEK) ise 717 çalışana ve yaklaşık 500 milyon \$ bütçeye sahiptir. Söz konusu tabloya bakıldığında ortalama olarak tesislerin geçmişi yarım asır geriye gitmekte ve çalışan başı bütçelerinin yaklaşık olarak 100.000 \$ – 700.000 \$ arası olduğu görülmektedir. Tesisler, tam zamanlı çalışan bilim insanları, mühendisler, teknik elemanlar, profesyonellerin yanı sıra yarı zamanlı veya misafir ciddi sayılarda araştırmacı çekmektedir. Diğer taraftan, araştırma tesisleri nükleer güç santrallerinde olduğu gibi kurulduğu bölgeye ekonomik katkı sağlamaktadır. INL özelinde yapılan Black, Holley, & Church (2010) çalışmasına göre 2009 yılında INL dolaylı veya uyarılmış etki sebebiyle Idaho Eyaleti'nde yaklaşık 12.000 adam/yıl istihdam ve 400 milyon \$ civarında ekonomik katkı sağlamıştır.

Araştırma tesisleri yüksek teknik bilginin üretildiği, geliştirildiği hatta yerleştirildiği olmazsa olmaz birimlerdedir. INL'de çoğu türünün ilk örneği olan (first-of-their-kind) 52 reaktör⁸⁶ tasarlanmış ve inşa edilmiş,

⁸⁴ İHA, <http://www.ih.com.tr/haber-yildiz-nukleer-ile-alakali-guney-kore-modeli-cok-onemli-bir-model-328173/> Erişim T: 26.12.2014

⁸⁵ Milliyet, <http://www.milliyet.com.tr/ergun-nukleerde-460-firmamiz-dunyada-ankara-yerelhaber-192052/> Erişim Tarihi: 26.12.2014

⁸⁶ INL, <http://www.inl.gov/research/overview/> Erişim Tarihi: 31.12.2014

Almanya menşeli Fraunhofer Topluluğu ve Fransa menşeli CNRS, 2013 yılında Thomson Reuters'in hazırladığı "Küresel 100 Yenilikçi" (TOP100 Global Innovators) sıralamasında Apple, BASF, Toyota, Roche, Samsung gibi özel sektör devlerinin yanında yer alarak kamu yararı amacı taşıyan tesislerden olmuşlardır (Thomson Reuters, 2014). Araştırma tesisleri ile ilgili belirtilmesi gereken diğer konu ise bazı tesisler tek alanda uzmanlaşırken, bazı tesisler birbirinden farklı (çoğunlukla ilgili) pek çok uzmanlık alanlarına sahiptir. Söz konusu tesislerin kapladıkları alanlar çok çeşitli olmakla birlikte çoğunlukla birkaç km² civarında olmaktadır. Örneğin, NREL 2,56 km² ve BNL 21,45 km² büyüklüğünde kampüse sahip olup; INL⁸⁷ ise 2.310 km² alanla ABD'nin en yüzölçümü açısından ulusal laboratuvar sahiptir⁸⁸.

Tablo 43: Kamu Kaynaklı Bazı Araştırma Tesisleri ve Özellikleri

Araştırma Tesisinin Adı	Tesisin Yeri	Kuruluş Yılı	Çalışan ⁸⁹ - Bütçe	Uzmanlık Konuları ⁹⁰
Idaho Ulusal Laboratuvarı (INL)	Idaho – ABD	1949	3.500 – 1,7 milyar \$ (2012) (U.S. DoE, 2013)	Nükleer Bilimler ve Mühendisliği; Ulusal Güvenlik Araştırmaları ve Testleri; Enerjide ve Çevrede Sürdürülebilirlik
Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL)	Colorado – ABD	1977	2.500 – 371 milyon \$ (2013) ⁹¹	Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği ve Geliştirmesi; (Enerji Sistemleri Bütünleştirilmesi, Güneş, Rüzgâr, Yenilenebilir Yakıtlar ve Araç Sistemleri, Binalar, Jeotermal, Enerji Bilimleri, Enerji Analizi
Brookhaven Ulusal Laboratuvarı (BNL)	New York – ABD	1947	3.000 – 696 milyon \$ (2012) ⁹²	Nükleer ve Parçacık Fiziği; Foton Bilimleri ve Nano-Malzemeler ve Dünya Ekosistemleri, İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Enerji Türdeş Alanlı Araştırmalar
Ulusal Enerji Teknolojileri Laboratuvarı (NETL)	West Virginia, Oregon, Pnnsylvania – ABD	1910	1.500 – 835 milyon \$ (2014) (NETL, 2014)	Yüksek Verimlilikli Kazanlar, Türbinler, Yakıt Pilleri ve Diğer Güç Sistemleri; Kömür Tabanlı Güç Santralleri için Salınım Kontrolleri; Karbon Yakalama ve Depolama; Yurtiçi Petrol ve Doğalgaz Arama Çalışmalarında, Üretiminde ve İşlemesinde Etkinlik ve Çevre Kalitesi, Uç (extreme) Çevreler için Malzeme.
Ames Ulusal Laboratuvarı (ANL)	Iowa – ABD	1947	450 – 50 milyon \$ (2014) ⁹³ (U.S. DoE, 2013)	Malzeme Bilimleri ve Mühendisliği; Kimya ve Biyoloji Bilimleri; Uygulamalı Matematik ve Sayısal Bilimler; Çevre ve Koruma Bilimleri; Simülasyon, Modelleme ve Karar Alma Yönt.
Fraunhofer Topluluğu	Münih – Almanya	1949	23.236 – 1,88 milyar € (2013) (Fraunhofer, 2014)	60'dan fazla enstitü ve yurtdışı ofislerden oluşan topluluk enerji, sağlık, telekomünikasyon, güvenlik ve hareketlilik (mobility) üzerine çalışmalar yapmaktadır.

⁸⁷ Nükleer patlama deneme alanlarının ve çevresel araştırma parklarının INL sınırları içerisinde olması sebebiyle alan büyüktür.

⁸⁸ 91 ve 92 numaralı notlara bakınız.

⁸⁹ ABD'de bulunanlar için; U.S. Department of Energy, <http://www.energy.gov/about-national-labs> Erişim Tarihi: 28.12.2014

⁹⁰ ABD'de bulunanlar için; a.g.e. İnteraktif harita

⁹¹ NREL, <http://www.nrel.gov/about/funding-history.html> Erişim Tarihi: 29.12.2014

⁹² Brookhaven National Lab <http://www.bnl.gov/about/economic.php> Erişim Tarihi: 29.12.2014

⁹³ Ames Lab, <https://www.ameslab.gov/about/ames-lab-at-a-glance> Erişim Tarihi: 31.12.2014

Kore Kimya Teknolojisi Araştırma Lab. (KRICT)	Daejeon – Güney Kore	1976	372 kalıcı çalışan, 862 misafir araştırmacı – 167 milyon \$ (2014) ⁹⁴	Yeşil Kimya ve Mühendislik, Gelişmiş Malzemeler, İlaç Keşifleri, Konverjans Kimya (Convergence Chemistry), Kimya Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları
Ulusal Nükleer Laboratuvarı (NNL)	Warrington – İngiltere	2008	785 – 85 milyon £ (2014) (NNL, 2014)	6 yerde tesisi bulunan laboratuvar; ölçüm-analiz işlemleri, güvenlik yönetimi, nükleer atıkların işlenmesi, nükleer atık yönetim ve teknolojileri üzerinde uzmanlaşmıştır.
Yüksek Enerjili Hızlandırıcı Araşt. Örg. (KEK)	Tokai, Tsukuba – Japonya	1997	17 – 62 milyar ¥* (2014) (KEK, 2014)	Elektron-pozitron çarpıştırıcısı, J-PARC, Gelişmiş Hızlandırıcılar, Teori Merkezi, Foton Üreticisi (Photon Factory)
Bilimsel Araştırmalar Ulusal Merkezi (CNRS)	Paris – Fransa	1939	24.955 kalıcı çalışan, 7.000 misafir araştırmacı – 3,40 milyar € (2013) ⁹⁵	10 yurtdışı ofisine sahip olan merkez; biyoloji, nükleer, parçacık fiziği, fizik, matematik, toplum bilimleri, ekoloji, çevre, mühendislik, bilgi sistemleri disiplinlerinde araştırmalara ev sahipliği yapmaktadır.

*Yaklaşık 500 milyon \$'a tekabül etmektedir.

Kaynak: Muhtelif

6.3.5. NÜKLEER TEKNOLOJİ YERLİLEŞTİRMESİ

Türkiye ve Güney Kore, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'na aynı yıl (1959) üye olmalarına rağmen Güney Kore ilk nükleer santralini 1977'de kurmuş, Türkiye ise Akkuyu için ilk ihaleyi düzenlemiş ancak tamamlayamamıştır. 2010 yılına kadar Güney Kore'de 20 santral işletmede iken Türkiye Akkuyu NGS için Rusya ile hükümetler arası anlaşma imzalayarak ilk nükleer santral için önemli bir dönemeci geride bırakmıştır. 2013 yılına gelindiğinde ise 2. Nükleer santral olan Sinop NGS için Japonya hükümeti ile anlaşma imzalanmış, buna karşın Güney Kore kendi tasarımı PWR tipi APR1400 modelindeki nükleer reaktörlerden ikisini kurmak için Birleşik Arap Emirlikleri ile anlaşma imzalamıştır (INPPS, 2014). Söz konusu başarıda Güney Kore'nin uyguladığı ekonomi ve teknoloji politikalarının rolü mutlaka büyüktür ancak nükleer teknolojinin yerleştirilmesi ve ihraç edilmesi ile izlediği yol bu kısmın odağını oluşturmaktadır.

Choi, et al. (2009) çalışmasına göre Güney Kore'nin nükleer teknoloji macerasının hazırlık (1956 – 1961), ulusal plan (1961 – 1969), sözleşme (1969 – 1978) ve işletme-yerleştirme (1978 – günümüz) aşamaları olmak üzere 4 fazdan oluştuğu belirtilmiştir. Söz konusu çalışmada Güney Kore hükümetinin 1958 yılında Atom Enerjisi Yasası'nı (AEA) kabul ederek ve Eğitim Bakanlığı bünyesinde Atom Enerjisi Birimi'ni (AED) kurarak resmen nükleer enerji programını yürürlüğe koyduğu ve ABD'nin desteği ile ilk araştırma reaktörü olan TRIGA Mark-II yapımına uygun altyapıyı kurmaya başladığı belirtilmiş, aynı yıl Kore Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü'nün (KAERI) ve ilk nükleer enerji lisans bölümünün açıldığı vurgulanmıştır. Güney Kore 1962-1966 yıllarını kapsayan Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nı yürürlüğe koymuş, 1968 yılında ise 20 yılı kapsayan bir nükleer enerji geliştirme planı hazırlamış, 1971 yılında ilk nükleer santralin inşaatına başlamış ve 1978'de Kori-1 reaktörü ilk nükleer elektriği üretmeye başlamıştır. 1980'li yılların ikinci yarısında Güney Kore 6 reaktörün daha inşaatına başlamış, 1986'da Combustion Engineering Şirketi'nden (şimdi Westinghouse) teknik açıdan kendine yetebilmek için nükleer teknoloji transfer etmiştir (Leem, 2011). 1984 yılında Güney Kore'nin uygulamaya koyduğu nükleer enerji yerleştirme planı sayesinde 10. reaktörden itibaren hâlihazırda kullanılan standartlaştırdığı ve yerleştirdiği PWR tipi OPR1000 adını verdiği ve ilkinin yapımını 1995'de tamamladığı 7 reaktörü, ilkinin 2013'de tamamladığı ve sekizi (8) hâlihazırda inşa edilen 3+ Nesil PWR tipi APR1400 modeli kendi çabalarıyla tasarlamış, parçalarını üretmiş ve inşa etmiştir (Jaafar, 2014). APR1400 modeli, kurulu güç başına maliyeti en düşük olan (1.556

⁹⁴ KRICT, <http://english.kRICT.re.kr/eng/budget> Erişim Tarihi: 30.12.2014

⁹⁵ CNRS, <http://www.cnrs.fr/en/aboutCNRS/key-figures.htm> Erişim Tarihi: 30.12.2014

\$/kWe) nükleer reaktör olması nedeniyle rekabetçi fiyat yapısıyla öne çıkmış ve yarım asırdan fazladır nükleer santral inşa eden Amerikan, Rus, Japon, Kanadalı ve Fransız rakiplerini uluslararası piyasada zorlayacaktır (IEA NEA, 2010). Güney Kore’de işletmede olan 20,7 GWe kurulu güce sahip 23 reaktör ile toplam elektrik ihtiyacının %29’unu⁹⁶ nükleer santrallerden karşılamakla birlikte 2. Enerji Master Planı’nda Güney Kore’nin 2030 itibarıyla kurulu gücünün %41’ini nükleer santrallerin oluşturacağı, toplam elektrik üretimin %59’unu bu nükleer santrallerden karşılamayı planladığı belirtilmiştir (MOTIE, 2014).

Güney Kore’nin nükleer enerji ulusal altyapısı Tablo 44 ile gösterilmiştir. KEPCO (Kore Elektrik Şirketi) Grubu bünyesinde KHNP (Kore Hidro ve Nükleer Güç Şirketi), KEPCO E&C (KEPCO Mühendislik & İnşaat Şirketi), KNF (KEPCO Nükleer Yakıt Şirketi) ve KPS’yi (KEPCO Tesis Hizmetleri & Mühendislik) bulunduran 19.278 çalışana ve yaklaşık 40 milyar \$ üzeri ciroya sahip Güney Kore hükümetinin en büyük kamu-yatırımının olduğu (%51 paya sahip) (KEPCO, 2013) enerji tekeli şirkettir^{97,98}. KAERI (Kore Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü) nükleer reaktör, nükleer yakıt, nükleer yakıt döngüsü, uygulamalı endüstriyel teknoloji, nükleer güvenlik, gelecek teknolojileri, nükleer politika, insan kaynağı ve nükleer teknolojide işbirliği konularıyla temel olarak ilgilenen aynı zamanda teknoloji transferinden sorumlu olan ve merkezi Daejeon Şehri’nde bulunan bir enstitüdür⁹⁹. Enstitü, temel araştırma tesisleri (HANARO araştırma reaktörü, Lazer optik araştırma tesisi, ileri malzeme geliştirme tesisi), reaktör araştırma tesisleri (PWR reaktör güvenlik araştırmaları tesisi, sodyum test döngüsü güvenlik simülasyonu ve değerlendirmesi), yakıt döngüsü araştırma tesisleri (ACPF, IMEF, PIEF), radyasyondan yararlanma tesisinden (radyoizotop araştırma tesisi) oluşmakta ve 1,4 km² alanda 57 binada hizmet vermektedir (KAERI, 2011). Güney Kore’nin 4 innopolisinden¹⁰⁰ (Yenilikçilik Şehri) biri olan Daedeok Bölgesi’nin sınırları Daejeon’un içinde olması sebebiyle önemli bir şehirdir. Daedeok Innopolisi; Araştırma Kompleksi (27,8 km²), Silikon Vadi (4,3 km²), Sanayi Kompleksi (3,2 km²), Kuzey Yeşil Kuşak Alanı (28,6 km²) ve Savunma Araştırmaları Ajansı Alanı (3,9 km²) olmak üzere 5 alandan oluşmaktadır. Daedeok İnopolisi’nde, Güney Kore’nin Ar-Ge harcamalarının %14’ü yapılmakta ve ülkedeki doktora sahibi araştırmacıların %12’si burada istihdam edilmektedir¹⁰¹. Diğer innopolisler ise Gwangju, Daegu ve Busan Şehirlerinde olup; bütün büyük şirketlerin genel merkezleri Seul’da olmasına rağmen Seul’da innopolis bulunmamaktadır¹⁰².

Güney Kore’nin nükleer tesis inşaatında altyapısını oluşturan şirketler dünya devlerinden olan Hyundai, Daewoo, Daelim, Samsung, GS, Doosan, SK ve Dong-Ah şirketlerinin mühendislik ve inşaat işleri alt şirketleri veya birimleridir. Chaebol olarak da bilinen şirketler grubu bu 8 şirketin kuruluş tarihleri 1938 – 1977 yılları arasında değişmekle birlikte genel merkezleri istisnasız başkent Seul olmuştur. Güney Kore ekonomik sisteminin ekonominin ve ihracatın temeline chaebol’leri koyması (Lee, 2000) “devlete bağımlı” (Whitley, 1999) ve “doğrudan sahibi tarafından kontrol edilen işletmeler” (Taş, Hızıroğlu, & Çakan, 2011) ulusal iş sistemi özellikleri göstermesi karar alıcılara yakın olma ihtiyacı genel merkezlerin Seul olması sonucunu doğurduğu söylenebilmekle birlikte üretim veya Ar-Ge tesislerinde bu ihtiyaç veya zorunluluk hissedilmemiştir.

Güney Kore’nin nükleer tesis ile ilgili ekipman-parça üretiminden ve tedarikinden Doosan Şirketi (Doosan Company) sorumludur. 116 yıllık geçmişiyle Güney Kore’nin en eski ve en büyük şirketlerinden olan Doosan, 38 ülkede 43.000 çalışan istihdam eden, 24 milyar \$ (2011) ciroya sahip, gelirinin %4,3’ünü Ar-Ge harcamalarına ayıran ve sadece 2011 yılında 800’den fazla patent başvurusunda bulunan ileri teknoloji ürün imalatı yapabilme yetisine sahip bir şirkettir (Doosan, 2013). Grup enerji tesisi ekipmanları, iş makineleri, inşaat makineleri, dizel motorlar, endüstriyel makineler, kimyasal işlem ekipmanları, savunma sistemleri, hidrolik ekipmanlar üretimi, metal döküm – dövme ile inşaat ve mühendislik sektörlerinde faaliyet göstermektedir.

⁹⁶ WNN, <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Nuclear-to-remain-Korean-mainstay-1012137.html> Erişim Tarihi: 26.12.2014

⁹⁷ KEPCO, http://cyber.kepco.co.kr/kepco_new/nuclear_es/sub3_2_1.html Erişim Tarihi: 27.12.2014

⁹⁸ The Korea Times, http://www.koreatimes.co.kr/www/news/biz/2013/01/123_128815.html Erişim Tarihi: 27.12.2014

⁹⁹ KAERI, http://www.kaeri.re.kr:8080/english/sub/sub04_01.jsp Erişim Tarihi: 27.12.2014

¹⁰⁰ Innopolis Foundation, <https://www.innopolis.or.kr/eng/> Erişim Tarihi: 27.12.2014

¹⁰¹ Korea STP, http://www.stp.or.kr/html/en/about/about_010202.html Erişim Tarihi: 27.12.2014

¹⁰² Yazarın notu: “Söz konusu örnekler Türkiye için örnek oluşturabilecek nitelikte olup; Türkiye için etkin görev yapan bir innopolis hedefinin özellikle Sinop için gündeme gelmesi ihtimali temel motivasyonum ve temennimdir.”

Tablo 44: Güney Kore Nükleer Enerji Ulusal Altyapısı

Kuruluşun Adı	Kuruluş Yılı – Merkezi	Sorumluluğu
KAERI	1959 – Daejeon	Ar-Ge Çalışmaları
KEPCO E&C	1975 – Yonjin	A/E (Mim/Müh), NSSS (Buhar Sistem Tas)
Doosan	1896 – Seul	Ekipman Tedariği
KNF	1982 – Daejeon	Nükleer Yakıt Tedariği
KPS	1974 – Jeollanam-do	Tesis Bakım Onarım
KHNP	2001 – Seul	Proje Yönetimi ve İşletme
Hyundai, Daewoo, Daelim vd.	1980’lerden önce – Seul	Tesis İnşaatı

Kaynak: (Hwang, 2012)

Doosan Şirketi’nin tedarik etme yeteneğine sahip olduğu parçalar; nükleer buhar tedarik sistemi parçaları (NSSS) (reaktör kabı, buhar üretici, reaktör soğutma pompası, birincil borulama, basınçlandırıcı tank vd.), yakıt depolama ekipmanları (yeni ve kullanılmış yakıt çerçeveleri, kullanılmış yakıt taşıma varilleri), buhar türbini (700 ~ 1400 Mwe), yardımcı santral ekipmanları (BoP) (basınç kablari ve tankları, yakıt çerçeveleri, borik asit yoğunlaştırıcı vd.) ve diğer (değiştirme ekipmanları ve alan hizmetleri) olarak sıralanabilmekte ve bir nükleer santralin ihtiyaç duyduğu parçaların tamamına yakınına yakınını oluşturmaktadır (Doosan, 2012). Şirketin bu başarısında şüphesiz 1984 yılında yürürlüğe konulan Nükleer Enerji Yerleştirme Planı’nın (Localization Plan) etkisi büyüktür. Keza 1987’de ABD’li Westinghouse Şirketi nükleer buhar tedarik sistemi (NSSS) tasarımı için KAERI ile NSSS ekipmanlarının tasarımı için Doosan ile, nükleer yakıt için KNF ile, ABD’li Sargent & Lundy Şirketi tesis tasarımı ve mühendisliği için ile KEPCO E&C tesis tasarımı ve mühendisliği için ve ABD’li General Elektrik türbin üretici parçalarının (turbine generator components) tasarımı ve üretimi için Doosan ile anlaşma imzalamışlardır¹⁰³. Güney Kore’nin teknoloji transferi çabaları boşa çıkmamış, 1995 yılında yardım alarak da olsa ilk nükleer santralini hizmete sokmuştur. DHCI’nin 2005’ten sonra yaptığı uluslararası şirket alımları gücüne güç katmıştır. Nükleer tesisler için ekipman üretimi ile temel olarak grubun Doosan Heavy Industries and Construction (DHIC) şirketi ilgilenmektedir. Keza 2005 yılında Doosan Hidro Teknolojileri Birimi’ni kurmak için ABD’li American Engineering Service Şirketi’ni (AES), 2006 yılında kazan teknolojisi ve patentlerine sahip İngiliz Doosan – Bobcock (önceden Mitsui Babcock Energy) Şirketi’ni, aynı yıl Romanya’da tesisleri bulunan büyük ölçekli metal dövme ve dökme işlemleri yapan Doosan IMGB Şirketi’ni¹⁰⁴ (önceden Kvaerner IMGB), 2009 yılında buhar türbini, ısı değiştirici vd. ekipmanların patentli teknolojilerine sahip olan ve üretim yapan 150 yıllık Çek Škoda Power Şirketi’ni ve 2011 yılında termal santraller ve atık tesisleri için buhar kazanı, ekipman üreten ve yeşil çevre teknolojileri ile tesis mühendisliği hizmeti veren 1928 yılında kurulmuş Alman AE&E Lentjes Şirketi’ni satın almış ve bünyesine katmıştır (Doosan, 2014). Bu sayede ürün gamını geliştirmiş ve şirket alımları yoluyla teknolojiyi transfer etmiştir. Esas imalat yeri Changwon Şehri olan DHIC sadece teknoloji transfer etmekle kalmamış; nükleer tesisler ile ilgili Ar-Ge faaliyetlerini Güç Üretim Sistemi Geliştirme Merkezi (PGDSC), Malzeme Geliştirme Merkezi (MDC) ve Yong-in Suji Ar-Ge Merkezi’nde sürdürmektedir (Doosan, 2013).

Özetle, iyi planlanmış ve uygulanmasında karalılık gösterilen politikalar, teknik kapasitesi yüksek kamu kuruluşları ile yüksek kamu desteği gören chaebollar Güney Kore ekonomisinin itici gücü olmuştur. Güney Kore’nin nükleer teknoloji yerleştirilmesi serüvenine önce “yaparak öğrenerek”, ardından ABD’den teknoloji transfer ederek, daha sonra konularında uzman yabancı şirketleri satın alarak (çoğunlukla bir chaebol olan Doosan tarafından) ve Ar-Ge’ye önem vererek ihraç ettiği teknolojilerle devam etmektedir. Güney Kore söz konusu serüveni gerçekleştirirken nükleer faaliyetleri tek bir şehir ya da bölge özelinde yürütmemiş, pek çok şehre farklı görevler vererek bir çeşit görev dağılımı yapmıştır.

¹⁰³ KEPCO, http://cyber.kepco.co.kr/kepco_new/nuclear_es/sub4_2.html Erişim Tarihi: 27.12.2014

¹⁰⁴ 13.000 tonluk pres makinasına sahip olan Doosan IMGB yıllık 140.000 tonluk imalat kapasitesiyle Avrupa’nın en büyük metal döküm-dövme şirkettir (Doosan, 2014).

6.3.6. SİNOP ENERJİ TEKNOLOJİLERİ ARAŞTIRMA MERKEZİ VE MUHTEMEL BİRİMLER

Türkiye'nin nükleer teknoloji ve kurumlar geçmişi 1950'li yıllara dayansa da geçen süre içerisinde özellikle nükleer santral ile ilgili çalışmaların gecikmesi dolayısıyla nükleer endüstri ve teknolojisi nispeten geri kalmıştır. Konu ile ilgili çalışmalar Akkuyu NGS ve Sinop NGS kurulumu için somut adımların atılması ile yeni bir sürece girmiş ve konu ile ilgili yerli ve yabancı yetkililerin katılımıyla düzenlenen toplantı, çalıştay ve kongre sayısı ciddi şekilde artmıştır. ETKB ve TAEK'in stratejik planlarından, TÜBİTAK tarafından geniş kitlelerin katılımıyla hazırlanan Ulusal Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi ve Nükleer Santral Yerileştirme Çalıştay Sonuç Raporu ile TASAM ve TRNTP tarafından hazırlanan Türkiye 2023 Uluslararası Nükleer Teknoloji Transferi Kongresi Sonuç Raporu ve Bildirgesi çalışmalarından sentezlenen bilgilere göre mevcut nükleer teknoloji altyapısında fon azlığı, temel araştırma alanlarında proje eksikliği, uzun vadeli planların yokluğu, araştırma altyapısının ve kuruluşlarının eksikliği, özel yetkilerle donatılmış özerk bir kurumun eksikliği gibi sorunlar sıralanmış, bunun yanında gerekli çabalar gösterildiğinde orta vadede "yerli NGS tasarımı gerçekleştirilmek", uzun vadede ise "Nükleer enerji teknolojilerinde söz sahibi olmak ve NGS ihracı yapmak" hedeflerine Türkiye'nin ulaşabilme potansiyeline sahip olduğu ancak bunun iyi planlama, gerekli çalışma ve kararlı adımlarla mümkün olabileceği belirtilmiştir (TÜBİTAK, 2011a) (TÜBİTAK, 2011b) (TRNTP, TASAM, 2012). Söz konusu çalışmalardan ve diğer nükleer ile ilgili belgelerden yapılan çıkarımlara göre Tablo 45 ile Sinop'ta bir Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi kurulması durumunda sahip olması muhtemel olan enstitüler verilmiştir. Enstitülerin birbirini tamamlayıcı nitelikte olması enerji kümelenmesi, ortak kullanım alanlarının varlığı ve enerji teknolojileri için kullanılacak kaynakların etkinliği için önem arz etmektedir. Tahminen birkaç km² alana yayılabilecek olan bu merkez ve enstitüler belki de Güney Kore'de olduğu gibi Sinop'u innopolis yapabilmenin ilk adımları olabilecektir.

Tablo 45: Sinop Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi'nde Kurulması Muhtemel Olan Enstitüler

Enstitü Adı	Çalışma Alanı (özet)
Nükleer Mühendislik Enstitüsü	Reaktör tasarımı, nükleer teknoloji transferi
Gelişmiş Malzemeler Enstitüsü	İleri mühendislik gerektiren malzeme teknolojilerini
Temiz Enerji Enstitüsü	Yenilenebilir enerji, verimlik, düşük karbon salınımı
Enerji Tesisleri İnşaatı Enstitüsü	Nükleer tesis inşaatı teknolojisi transferi ve geliştirilmesi
Enerji Endüstrisi Parçaları İmalatı Enstitüsü	Teknik kapasite ve bilgi gerektiren imalat teknolojisi
İklim ve Meteoroloji Araştırmaları Enstitüsü	İklim değişiklikleri çalışmaları
Yüksek İstatistik Enstitüsü	Enerji tesisleri tüm istatistikleri, etki analizi
Yüksek Başarımlı Hesaplama Enstitüsü	Süper bilgisayar işletimi
Enerji Politikaları Enstitüsü	Enerji bölgeleri planlaması, sosyolojisi, ekonomisi vd. araştır

Nükleer Mühendislik Enstitüsü; nükleer enerji teknolojileri ile ilgili araştırma tesislerine sahip, reaktör tasarımının, yakıt döngüsünün tüm aşamaları ile ilgili teknoloji transferi ve Ar-Ge faaliyetlerinden sorumlu olan yüksek lisans ve doktora düzeyinde misafir araştırmacı kabul edebilme imkânlarına sahip olan enstitüdür. TAEK, Hacettepe Üniversitesi, Ankara Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Ege Üniversitesi nükleer araştırmalar konusunda önemli insan kaynağı ve tesislere sahiptir. Bu sebeple Enstitü'yü bahsi geçen kurumların teknik bilgi ve becerilerinin bir tamamlayıcısı olarak görmek yerinde olacaktır.

Gelişmiş Malzemeler Enstitüsü, nükleer santralde kullanılan kritik parçaların (alaşım, malzemeler) hammaddelerinin elde edilmesi ile ilgili teknolojilerin transferi ve mevcut malzemelerin üretilmesi amacını taşıyan bir enstitüdür. Titanyum metalürjisi, kritik alaşımlarda kullanılan nadir metaller, yüksek kaliteli çelik ve süper alaşım teknolojisi gibi yüksek bilgi ve teknik isteyen teknolojilerin mevcut şartlarda Türkiye'de seri üretimi yapılamamaktadır (TÜBİTAK, 2011b). Buna rağmen ithal edilen buhar türbin kanatlarının üretimi, ilk olarak TÜBİTAK tarafından 2014 yılında başarılmış¹⁰⁵, nükleer santral yerileştiril-

¹⁰⁵ TÜBİTAK, <http://mam.tubitak.gov.tr/tr/haber/turkiyede-ilk-kez-uretilen-buhar-turbin-kanatlari-yenikoy-termik-santraline-teslim-edildi> Erişim Tarihi: 30.12.2014

mesinde önemli bir mesafe kat edilmesinin önünü açmıştır.

Temiz Enerji Enstitüsü, diğer enstitülerin olumlu dışsallıklarından faydalanılması amacıyla kurulması önerilen, yenilenebilir enerji malzeme-ekipman dahil olmak üzere teknolojilerinin geliştirilmesi, düşük karbon salınlı enerji tesisleri tasarımı (karbon yakalama teknolojileri dahil), enerji tesislerinin verimliliklerini arttırmayı amaçlayan bir enstitüdür. Türkiye’de yenilenebilir enerji ile ilgili 22 adet araştırma merkezi (TÜBİTAK, 2011a) olmasına rağmen bu enstitü Sinop’ta olabilecek bir enerji endüstrisi kümelenmesinin sağladığı sinerjiden daha rahat faydalanma imkânına sahiptir ve bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir.

Enerji Tesisleri İnşaatı Enstitüsü, özellikle nükleer santral inşaatları için teknoloji transferi, projelendirme ve Ar-Ge faaliyetlerini yürütecek olan birimdir. Nükleer santraller dışındaki güç santrallerinin tamamına yakını için ayrıntılı mühendislik ve yapım işleri dâhil anahtar teslim hizmetler Türk şirketleri tarafından sunulabilmektedir^{106,107}. (Locatelli & Mancini, 2012) çalışmasına göre doğrudan uluslararası nükleer projelere katılan inşaat firmalarına pek rastlanılmamış¹⁰⁸ ancak nükleer projelerin belirli kısımlarında yer alındıktan sonra bu mümkün olabilmektedir.

Enerji Endüstrisi Parçaları İmalatı Enstitüsü, nükleer santrallerde kullanılacak ancak Türkiye sınırları içerisinde tedariki zor olan, dökme – dövme, hassas şekillendirme gibi işlem tekniğini edinerek en azından parçaların prototiplerinin (first – kind) imalatını hedefleyen, gerekli teknolojiyi transfer eden, Türk şirketleri ve Enerji Teknolojileri Araştırma Yüksek Enstitüsü ile işbirliği içinde gerekli imalat tesislerin inşa edilmesi için teknik bilgi (know – how) sağlayan birimdir. Özellikle nükleer buhar tedarik sistemi (NSSS) parçaları yüksek kalite standartları gerektirmekte, binlerce tonluk metal dövme-dökme işlemleri gerektirebilmekte ve bazı parçalar oldukça karmaşık imalat tekniği ile imal edilebilmektedir. Enstitü, ısı tabanlı tesislerin parçalarının yanında yenilenebilir enerji tesisleri parçaları imalatı teknolojileri için de kullanılabilecek nitelikte olmalıdır.

İklim ve Meteoroloji Araştırmaları, mevcut iklim durumunun analizi, hava durumu tahminleri, gelecek öngörüler, muhtemel doğa felaketleri, iklim değişikliklerinin etkileri ile ilgili durum analizi, iklim simülasyonu ve sürdürülebilir enerji, gıda güvenliği vd. için alınması gereken önlemler ve iklim ile ilgili ulusal metodoloji oluşturma üzerinde çalışan yüksek lisans ve doktora programlarıyla iklim bilime katkı sağlamayı amaçlayan ve iklim konusunda kurulmuş Türkiye’deki ilk enstitü olması beklenmektedir.

Yüksek İstatistik Enstitüsü, enerji tesislerinin yaşam döngüsü çerçevesinde madde-malzeme tüketimleri, karbon izleri, kurulum maliyetleri, üretim maliyetleri, toplumsal maliyetler, tesislerin bölgeye ekonomik etkilerinin analizleri ve fayda-maliyet analizleri vd. enerji özelinde gerekli olan istatistiksel verileri temin etmek, metodoloji geliştirmek, konu ile ilgili yerli ve yabancı kaynakları birbiriyle uyumlulaştırmak (harmonization), yol göstermek ve uluslararası literatüre katkıda bulunmak amacını taşımaktadır. Toplam kalite yönetimi temel prensiplerinden olan “ölçemediğinizi yönetemezsiniz, yönetemediğinizi geliştiremezsiniz” anlayışı veri elde etmenin ve yorumlamanın ve ölçüm yöntemlerinin önemini vurgulamaktadır. Günümüzün artan küresel rekabet, şirketler açısından stratejik maliyet yönetimini, piyasadan ürün talep edenler açısından ulaşılabilirlik, kalite ve fiyat arasında optimum dengeyi sağlamayı gerekli kılmış; birim maliyetler ve yaşam döngüsü boyunca maliyetlemenin doğruluğu uzun vadeli projeler için hayati öneme sahip olmuştur¹⁰⁹ (Çetinkaya, 2008). Diğer taraftan ekonomik etki analizi ve fayda-maliyet analizi tekniklerinin öncelikle enerji tesisleri için daha sonra farklı alanlardaki yatırım veya projeler için teknik altyapının oluşturulması, TÜİK ile işbirliği halinde yürütülmesi önem arz etmektedir. Şöyle ki toplanacak verilerin içeriği, niteliği ve dönemleri gibi değişkenlerin erken belirlenmesi durumunda veri güvenliği

¹⁰⁶ Zorlu Endüstriyel, <http://www.zorluendustriyel.com/hizmetler.asp> Erişim Tarihi: 30.12.2014

¹⁰⁷ Enka Power, <http://www.enkapower.com/sayfa/1/kurulus> Erişim Tarihi: 30.12.2014

¹⁰⁸ Bunun istisnası The Shaw Grup olmuş, şirket boru işleri yaparken büyük ölçekli mühendislik firması Stone & Webster Şirketi’ni satın almış ve doğrudan uluslararası projelerde görev almıştır (Locatelli & Mancini, 2012).

¹⁰⁹ Akkuyu NGS’nin 1. ve 2. reaktörlerinde üretilen elektrik %70’ine, 3. ve 4. reaktörlerden üretilen elektrik ise %30’una 15 yıl boyunca 12,35 cent/kWh alım garantisi verilmiştir. Elektrik seviyelendirilmiş enerji maliyetlerinin (LCOE) yanlış hesaplanması durumunda tesisi işleten şirketin zararı devasa olabilecektir.

yüksek seviyeye çıkacak ve analizler daha doğru şekilde yapılabilecektir. Ekonomik etki analizleri özellikle ABD’de üniversiteler, enerji tesisleri, büyük yatırımlar vb. proje ve kuruluşlar için sık sık yapılmakta genel- de bulunduğu idari bölgede, eyalette ve ABD’de sebep olduğu doğrudan, dolaylı ve uyarılmış istihdam, mali ve ekonomik etkileri ölçmeyi amaçlamaktadır (Weisbrod & Weisbrod, 1997). Ekonomik etki analizi modelleri piyasasında, girdi-çıkı modellerini kullanan Minnesota IMPLAN Group (MIG) tarafından geliştirilen IMPLAN Modeli (Impact Analysis for Planning Model), ABD Ekonomik Analiz Bürosu (U.S. BEA) tarafından geliştirilen RIMS-II Modeli (Regional Input/Output Multiplier System II) ile ekonometri ve “genel denge kuramı” yardımıyla ekonomik simülasyon modeli kullanan Regional Economic Models, Inc. adlı şirkete ait olan REMI Modeli olmak üzere 3 model baskın şekilde kullanılmaktadır (NEI, 2013). Fayda-maliyet analizleri ise yatırımın veya projenin maliyet etkinliğini, net şimdiki değerini ve yapılabilirliğini ölçmeyi amaçlayan bir uygulama öncesi karar verme yöntemidir (Weisbrod & Weisbrod, 1997). Bahsi geçen şirketler ile işbirliği kurularak bir Sinop Ekonomik Etki Çözümlemesi Modeli (SEEÇM) geliştirilmesi Türkiye’de pek çok yatırım ve proje için kullanılan temel model olması imkânsız görünmemektedir.

Yüksek Başarılı Hesaplama Enstitüsü, Avrupa’nın önde gelen dünyanın sayılı süper bilgisayar tesislerinden biridir. Yüksek Başarılı Hesaplama (High Performance Computing) (bundan sonra süper bilgisayar olarak anılacak) yüzlerce bazen yüzbinlerce işlemci – grafik işlemcisi veya büyük miktarda bilgi depolama yapabilen büyük bir süper bilgisayar veya pek çok bilgisayarı içeren normal bilgisayarlarda çok uzun zaman alan hesaplama ve simülasyon gibi işlemleri kısa zamanda yapan sistemlerdir. Süper bilgisayarlar; enerji, otomotiv, uzay – havacılık, enerji, finans, lojistik, perakende, fizik, kimya, biyoloji, genetik, ilaç – sağlık vd. sektörlerde hesaplama ve simülasyon konularında yaygın kullanım alanına sahip olup; zaman kaybını azaltır (Sawyer & Parsons, 2011). Tüm dünyadaki en hızlı 500 bilgisayar listesi (TOP500) her yıl haziran – kasım aylarında yenilenmekte ve www.top500.org sitesinde açıklanmaktadır. Bu durum ülkeler arası kıyasıya rekabete sebep olmakt ve prestij göstergesi niteliği taşımaktadır. Hâlihazırda (Kasım 2014) ABD 231, Çin 61, Japonya 32, Birleşik Krallık 30, Fransa 30, Almanya 26 ve diğerleri listede bilgisayarı bulunan 23 ülke 90 süper bilgisayar ile TOP500 listesini oluşturmaktadır ve Türkiye listede yer almamaktadır. Listedeki en üst sırada yer alan süper bilgisayar Çin’de bulunan 3,12 milyon çekirdeğe, Rmax 33.863 Teraflop/s – Rpeak 54.509 Teraflop/s işlem gücüne ve 17.808 kW güce sahip Tiahne-2 olmuştur¹¹⁰. Listenin son 5 sırasında bulunan süper bilgisayarların ortalama çekirdek sayısı 14.250, Rmax 154 Teraflop/s – Rpeak 334 Teraflop/s işlem gücüne sahiptir¹¹¹. TOP500 listesindeki bilgisayarların %86’sı 2012 – 2014 yıllarında, %13,5’i 2009 – 2011 yılları arasında ve 2008 yılında (en eski) sadece 1 bilgisayar işleme girmiş ve endüstride 255, araştırmada 117, akademik çalışmalarda 88, devlet işlerinde 23 ve muhtelif işlerde kullanılan 17 süper bilgisayar bulunmaktadır. TOP500 listesinde ilk 10 içerisinde ABD’nin 6 süper bilgisayarı bulunmakta ve 4’ü ABD Enerji Birimi’ne (DoE) bağlı laboratuvarlarda kullanılmaktadır. Görüldüğü üzere TOP500 listesinde yer alabilmek için büyük yatırımlar, en azından mevcut sırayı koruyabilmek için mevcut sistemlerin sürekli geliştirilmesi gerekmektedir.

Türkiye, kendi nükleer tesis tasarım testlerini ve simülasyonunu mutlaka kendi süper bilgisayarlarında yapmalıdır. Pek çok alanda kullanılan hem zamandan hem de paradan tasarruf sağlayan bu makinelerin kullanımları Türkiye’de teşvik edilmeli ve altyapıları oluşturulmalıdır. Sinop Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi’nde kurulması muhtemel olan enstitülerin tamamı süper bilgisayarlardan faydalanma potansiyeline sahiptir. Örneğin 97 milyon £ tutarındaki süper bilgisayar yatırımı iklim ve meteoroloji bilimlerinde Birleşik Krallığı dünya lideri yapmakla birlikte yapılacak karmaşık ve etkili tahminler sayesinde 2 milyar £ tutarında sosyoekonomik faydasının olacağı tahmin edilmektedir¹¹².

Enerji Politikaları Enstitüsü; enerji temelinde bölge planlama, çevre sosyolojisi, enerji politikaları, enerji ekonomisi, enerji finansmanı vd. konularda araştırma, eğitim ve danışmanlık hizmeti veren bir düşünce kuruluşu (think tank) özelliği göstermektedir. Enerji tesislerinin bulunduğu çevreye etkisi, tesisin yapılacağı bölgeye etkilerinin kurulundan önce tahmin edilmesi ve enerji projelerinin olumsuz etkilerini

¹¹⁰ TOP500, <http://www.top500.org/lists/2014/11/> Erişim Tarihi: 18.11.2014

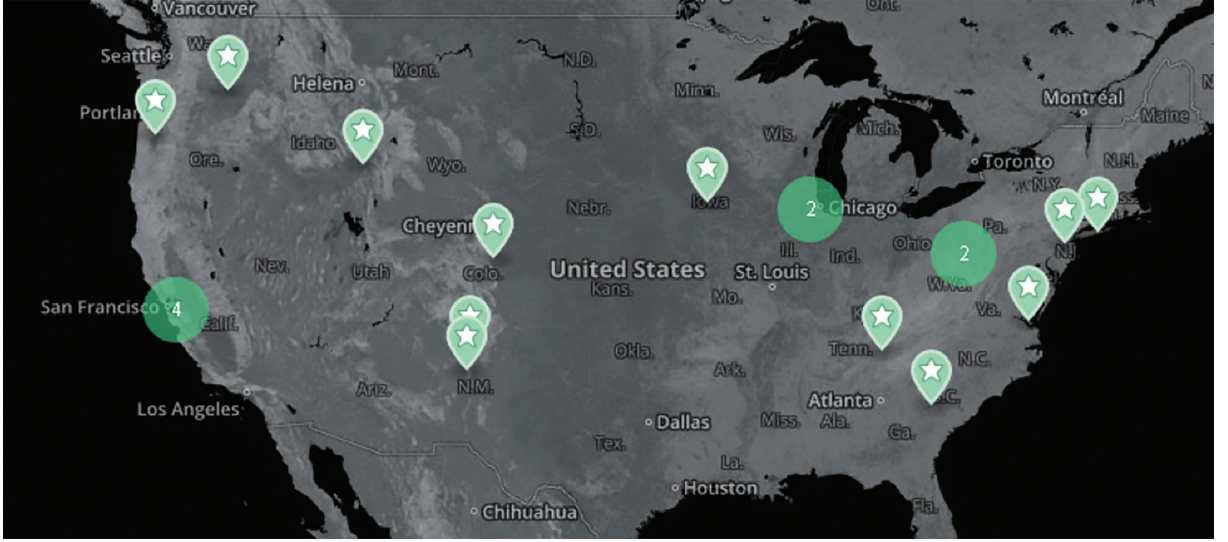
¹¹¹ TOP500 (.xml), http://www.top500.org/lists/2014/11/download/TOP500_201411.xls Erişim Tarihi: 18.11.2014

¹¹² Met Office, <http://www.metoffice.gov.uk/news/releases/archive/2014/new-hpc> Erişim Tarihi: 19.11.2014

asgariye indirerek verimlilik ve sürdürülebilirlik kıstaslarının göz önünde bulundurulduğu durumda uygulamaların toplumsal faydası artacaktır.

Harita 3 ile gösterildiği üzere en fazla ulusal laboratuvar California Eyaleti'nde (4) bulunsa da ABD'de bulunan ulusal laboratuvarlar sadece birkaç eyalete toplanmamış, tüm ülke geneline yayılmıştır. Söz konusu 20 ulusal laboratuvar ABD'nin Enerji Birimi (DoE) tarafından kurulmuştur ve bir kısmı halen DoE tarafından işletilirken diğer kısmı yüklenici tarafından işletilmektedir.

Harita 3: ABD Enerji Birimi'ne (DoE) Bağlı Bulunan Ulusal Laboratuvarlar, 2014



Kaynak: U.S. Department of Energy, <http://www.energy.gov/about-national-labs> Erişim Tarihi: 28.12.2014



Sonuç

7. SONUÇ

Rapor hazırlanırken olabildiğince çeşitli kaynaktan ve nükleeri destekleyen ya da desteklemeyen çalışmalardan olabildiğince faydalanılmaya çalışılmıştır. Nükleer enerji teknolojisi ileri derecede teknik kapasite ve yüksek yatırım gerektirmektedir. Ancak, nükleer santrallerin uzun vadede bölge ve ülke endüstrisine, enerji üretimine, nitelikli insan kaynağı yetiştirme ve ileri teknoloji altyapısını yerileştirme konusunda doğrudan ve dolaylı olumlu etkileri mutlaka olacaktır. Diğer enerji teknolojilerinin de karşılaştırıldığı çalışmada nükleer güç santralleri alan kullanımı, yer kullanımı, malzeme kullanımı ve çevreye etki açısından temiz enerji kaynaklarındandır. Diğer taraftan, nükleer güç santrali için yakıt üretimi sürecinin çevreye etkisi yüksek olup; işletiminde de uzun vadede ortaya çıkabilecek en önemli sorun kullanılmış yakıtın geri dönüşümü ve nihai depolanması ile ilgili ortaya çıkacak sorunlardır. Nükleer elektrik gerçekten pek çok çalışmada gösterildiği üzere birim maliyetleri düşük olan enerji kaynaklarındandır. Yeni nesil nükleer reaktörler (3+ Nesil) yaşanan acı tecrübeler nedeniyle daha güvenli ve daha verimli hale getirilmiştir ancak çekirdek erimesi ve nükleer sızıntıyı %100 oranında engelleyebilecek teknoloji henüz mevcut değildir ve bu sebeple risk düşük de olsa kesinlikle mevcuttur.

Sinop'a yapılacak Sinop NGS yeni nesil nükleer santrallerden olup; hem inşaat hem de işletme süresince doğrudan, dolaylı ve uyarılmış sektörlerde binlerce kişiye istihdam sağlayacaktır. Ancak nükleer santral-den en yüksek verimi sağlayabilmek için yerli halkın istekleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda iyi çalışan katılımcı bir bilgilendirme platformu kurmak yerel halkın desteğini almak adına elzemdir. Bu çalışmada Sinop için sadece nükleer santrale ev sahipliği yapan değil, aynı zamanda Sinop'un eğitim şehri olma hedefine uygun enerji endüstrisi özelinde yapılması gereken ek çalışmalar önerilmiştir. Buna göre, Sinop Enerji Kümelenme Yol Haritasının Çıkarılması, Sinop Enerji Endüstrisi İhtisas Organize Sanayi Bölgesinin Kurulması, Enerji Endüstrisi Eğitim Akademisinin Kurulması, Enerji Teknolojileri Araştırma Merkezi, Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi gibi somut önerilerde bulunulmuş; Sinop için Sinop Enerji Endüstrisi Kümelenmesi hedefi belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Allegre, C. J., Manhes, G., & Göpel, C. (1995). The age of the Earth. Eylül 8, 2014 tarihinde The University of Texas at El Paso Resmi İnternet Sitesi: http://www.geo.utep.edu/pub/hurtado/planetary/lectures/old/week1_2012/reading/1-s2.0-0016703795000544-main.pdf adresinden alındı
- Altın, V. (2007). 4. Nesil Nükleer Santraller. Ankara: TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi.
- AnalysisGroup. (2011, Şubat). Escalating Estimates of the Cost of Nuclear Power Plants. Kasım 26, 2014 tarihinde The Iowa Conference Center of The United Methodist Church Resmi İnternet Sitesi: http://www.iaumc.org/console/files/oFiles_Library_XZXLCZ/2011NuclearPower-EstimatingCosts_QFZL5NXD.pdf adresinden alındı
- ASME. (2014, Haziran 27). Information and Procedures for Obtaining N, NA, NPT, NV, N3 & NS Nuclear Certificates and Certification Mark Class 1, 2, 3, MC, CS, CC & TC. Aralık 19, 2014 tarihinde The American Society Mechanical Engineers Resmi İnternet Sitesi: https://www.asme.org/wwwasmeorg/media/ResourceFiles/Shop/Certification%20%26%20Accreditation/NC-Certification/NC-Certification_Forms_Application-and-Price-Information.pdf adresinden alındı
- Aydın, S. (2013, Temmuz-Eylül). OECD Ülkelerinde Çalışanların Sosyal Güvenlik Kesintileri ve Vergisel Yükümlülükleri. Aralık 18, 2014 tarihinde T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi: http://app.csgb.gov.tr/cdd/pdf/sayi_01/04.pdf adresinden alındı
- Bezdek, R. H., & Wendling, R. M. (2006). The impacts of nuclear facilities on property values and other factors in the surrounding communities. Aralık 1, 2014 tarihinde Management Information Services, Inc. Resmi İnternet Sitesi: <http://www.misi-net.com/publications/IJNGEE-V1N1-06.pdf> adresinden alındı
- Black & Veatch. (2012, Şubat). Cost and Performance Data for Power Generation Technologies. Kasım 26, 2014 tarihinde Black & Veatch Holding Company Resmi İnternet Sitesi: <http://bv.com/docs/reports-studies/nrel-cost-report.pdf> adresinden alındı
- Black, G., Holley, D., & Church, J. (2010). INL Impacts. Aralık 31, 2014 tarihinde Boise State University Resmi İnternet Sitesi: http://cobe.boisestate.edu/files/2010/12/Impacts_Brochure-Web1.pdf adresinden alındı
- BP. (2014, Ocak). BP Energy Outlook 2035 - Excel Tables. Aralık 10, 2014 tarihinde British Petrol Resmi İnternet Sitesi: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/energy-outlook/outlook-to-2035.html> adresinden alındı
- Brinckerhoff, P. (2012, Ağustos). Electricity Generation Cost Model - 2012 Update of non-Renewable. Kasım 24, 2014 tarihinde United Kingdom Department of Energy and Climate Change Resmi İnternet Sitesi: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65712/6884-electricity-gen-cost-model-2012-update.pdf adresinden alındı
- Bulut, F. (2011, Kasım). Enerji ve Su Savaşları. (8. T. Sempozyumu, Dü.) Elektrik Mühendisleri Odası Resmi İnternet Sitesi: http://www.emo.org.tr/ekler/13c7817bfb61abb_ek.pdf adresinden alınmıştır

- Buyan, A. (2014, Nisan 22). Kocaeli Sanayi Odası Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu Sunumu. Aralık 4, 2014 tarihinde Kocaeli Sanayi Odası Resmi İnternet Sitesi:
http://kosano.org.tr/wp-content/uploads/2014/04/1_Oturum_NUKTE_ADIL_BUYAN_22_04_2014.ppt adresinden alındı
- CHA. (2014, Haziran 5). Kazakhstan plans to start nuclear power plant construction in 2018. Ekim 26, 2014 tarihinde Cihan Haber Ajansı Resmi İnternet Sitesi:
http://en.cihan.com.tr/news/Kazakhstan-plans-to-start-nuclear-power-plant-construction-in-2018_2165-CHMTQ1MjE2NS80 adresinden alındı
- Choi, S., Jun, E., Hwang, I., Starz, A., Mazour, T., Chang, S., et al. (2009). Fourteen lessons learned from the successful nuclear power program of the Republic of Korea. Energy Policy, 5494-5508.
- Colby, W. D., Dobie, R., Leventhall, G., Lipscomb, D. M., McCunney, R. J., Seilo, M. T., et al. (2009, Aralık). Wind Turbine Sound and Health Effects (An Expert Panel Review). Kasım 19, 2014 tarihinde The Canadian Wind Energy Association:
http://canwea.ca/pdf/talkwind/Wind_Turbine_Sound_and_Health_Effects.pdf adresinden alındı
- Cook, E. (1971, Ekim 3). The Flow of Energy in an Industrial Society. Scientific American (Vol. 225), s. 135-136.
- Courtney, A. (2006, Nisan 12). Historical Perspectives of Energy Consumption. Eylül 10, 2014 tarihinde Western Oregon University Resmi İnternet Sitesi:
<https://www.wou.edu/las/physci/GS361/g361syl.htm> adresinden alındı
- Çetinkaya, Z. (2008, Ocak). Stratejik Maliyet Yönetimi (Yüksek Lisans Projesi). Kasım 12, 2014 tarihinde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Resmi İnternet Sitesi:
http://kutuphane.ksu.edu.tr/e-tez/sbe/T00857/Zeynep_cetinkaya_tez.pdf adresinden alındı
- Dąbrowski, M. P. (2012). Can Nuclear Power Plants Coexist with Tourist Infrastructure. Aralık 11, 2014 tarihinde Szczecin University Cosmology Group Resmi İnternet Sitesi:
http://cosmo.fiz.univ.szczecin.pl/pliki/mariusz/paper_dabrowski_4.pdf adresinden alındı
- Davis, L. W. (2010, Mayıs). The Effect of Power Plants on Local Housing Values and Rents. Kasım 15, 2014 tarihinde University of California at Berkeley - Haas School of Business Resmi İnternet Sitesi: <http://faculty.haas.berkeley.edu/ldavis/pp.pdf> adresinden alındı
- de GUIO, J. M., & Muguet, F. (2011, Aralık 12-16). Supply Chain Organization. Aralık 6, 2014 tarihinde IAEA Resmi İnternet Sitesi:
<http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Technology/meetings/2011-Dec-12-16-WS-Paris/3.04-J.DeGUIO-F.MUGUET-EDF-Areva.pdf> adresinden alındı
- DECC. (2013, Aralık 19). Electricity Generation Costs (December 2013). Aralık 2, 2014 tarihinde U.K. Department of Energy & Climate Change:
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/269888/131217_Electricity_Generation_costs_report_December_2013_Final.pdf adresinden alındı
- DEKTMK. (2003, Şubat 5). 1970 Yılı Genel Enerji Dengesi. Aralık 8, 2014 tarihinde Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Resmi İnternet Sitesi:
http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/istatistik6/bolum1.pdf adresinden alındı
- Denstedt, S., & Kirby, D. (2009, Aralık). Challenges and Opportunities in Carbon Capture and Storage. Aralık 16, 2014 tarihinde Osler Hukuk Şirketi Resmi İnternet Sitesi:

- <http://www.osler.com/NewsResources/Default.aspx?id=1324> adresinden alındı
- DOE. (2014). The History of Nuclear Energy. Ekim 8, 2014 tarihinde U.S. Department of Energy Resmi İnternet Sitesi:
http://www.energy.gov/sites/prod/files/The%20History%20of%20Nuclear%20Energy_0.pdf adresinden alındı
- Doosan. (2012, May). Korean experience on developing nuclear major equipment manufacturing technology. Aralık 28, 2014 tarihinde T.C. Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Bölümü Resmi İnternet Sitesi: http://www.nuke.hacettepe.edu.tr/tr/webfiles/Activities/KEPCONF_DOOSAN/Workshop/Presentations/1_1500_1530_7%20Korean%20Experience%20on%20developing%20nuclear%20major%20equipment%20manufacturing%20technology-Doosan.pdf adresinden alındı
- Doosan. (2013, Ağustos 13). Doosan Factbook 2012. Aralık 26, 2014 tarihinde Doosan Company Resmi İnternet Sitesi: <http://www.doosan.com/en/media/publication.do> adresinden alındı
- Doosan. (2014, Temmuz 7). Annual Report 2013. Aralık 24, 2014 tarihinde Doosan Corporation Resmi İnternet Sitesi: <http://www.doosan.com/en/media/publication.do> adresinden alındı
- DSİ İnternet. (2014). Toprak Su Kaynakları. Kasım 14, 2014 tarihinde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sitesi: <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> adresinden alındı
- Duke Energy. (2014). How Do Nuclear Plants Work? Ekim 9, 2014 tarihinde Duke Energy Resmi İnternet Sitesi:
<http://www.duke-energy.com/about-energy/generating-electricity/nuclear-how.asp> adresinden alındı
- EDF Energy. (2013, Şubat). Hinkley Point C An Opportunity to Power the Future. Aralık 3, 2014 tarihinde EDF Energy Resmi İnternet Sitesi:
<http://www.edfenergy.com/sites/default/files/edf-energy-hinkley-point-c.pdf> adresinden alındı
- EIA. (2014, Nisan). Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2014. Aralık 2, 2014 tarihinde U.S. Energy Information Administration Resmi İnternet Sitesi: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity_generation.pdf adresinden alındı
- Entergy Arkansas. (2009). A Comparison: Land Use by Energy Source - Nuclear, Wind and Solar. Kasım 12, 2014 tarihinde Entergy Arkansas Inc. Resmi İnternet Sitesi:
http://www.energy-arkansas.com/content/news/docs/AR_Nuclear_One_Land_Use.pdf adresinden alındı
- EPRI. (2012, Nisan). Power Generation Technology Data for Integrated Resource Plan of South Africa. Aralık 2, 2014 tarihinde Republic of South Africa The Department of Energy:
http://www.doe-irp.co.za/content/EpriEskom_2012July24_Rev5.pdf adresinden alındı
- EREC. (2010, Nisan). RE-thinking 2050. Aralık 10, 2014 tarihinde European Renewable Energy Council Resmi İnternet Sitesi: http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/ReThinking2050_full%20version_final.pdf adresinden alındı
- EuroStat. (2014, Eylül 24). Energy Dependence. Eylül 26, 2014 tarihinde EuroStat Resmi İnternet Sitesi: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do;jsessionid=9ea7d07e30dfab6e9372cab046f48c67d7d1f809dc33.e34MbxSahmMa40LbNiMbxNa3iMe0?tab=table&plugin=1&pcode=tsdcc310&language=en> adresinden alındı
- Ewelönn, K. (2011, Eylül 30). The Effects of a Nuclear Power Plant on Property Values - The Swedish

Case of Forsmark. Aralık 8, 2014 tarihinde Stockholm Üniversitesi Ekonomi Bölümü Resmi İnternet Sitesi: http://www.ne.su.se/polopoly_fs/1.25801.1318417095!/menu/standard/file/Ewelonn_Karin.pdf adresinden alındı

ExxonMobil. (2014). The Outlook for Energy: A View to 2040 - Data tables. Aralık 10, 2014 tarihinde ExxonMobil Resmi İnternet Sitesi: <http://corporate.exxonmobil.com/en/energy/energy-outlook/download-the-report/download-the-outlook-for-energy-reports> adresinden alındı

FORATOM. (2010, Mart). The socio-economic benefits of nuclear energy. Aralık 3, 2014 tarihinde FORATOM Resmi İnternet Sitesi: <http://www.foratom.org/public/topical-publications/8594-fs-socioeconomics-of-nuclear/file.html> adresinden alındı

Fraunhofer. (2014). Annual Report 2013. 12 29, 2014 tarihinde Fraunhofer-Gesellschaft Resmi İnternet Sitesi: http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/Publications/Annual-Report/AnnualReport_2013.pdf adresinden alındı

Gallup - Healthways. (2014). 2013 State of Americam Well-Being. Aralık 14, 2014 tarihinde Penn's Northeast Resmi İnternet Sitesi: http://pennsnortheast.com/images/uploads/State_of_America_WellBeing_2014.pdf adresinden alındı

GAO. (2013, Mayıs). United States Government Accountability Office. Ekim 22, 2014 tarihinde Nuclear Reactor License Renewal: gao.gov/assets/660/654949.pdf adresinden alındı

GIF. (2002, Aralık). The Generation IV International Forum Resmi İnternet Sitesi. Kasım 3, 2014 tarihinde A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems: <https://www.gen-4.org/gif/upload/docs/application/pdf/2013-09/genivroadmap2002.pdf> adresinden alındı

GIF. (2014). Origins of the GIF. Ekim 3, 2014 tarihinde The Generation IV International Forum: https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_9334/origins adresinden alındı

Gleick, P. H., & Heberger, M. (2013). Water and Conflict Events, Trends and Analysis (2011-2012). Kasım 14, 2014 tarihinde Pacific Insitute Resmi İnternet Sitesi: <http://worldwater.org/wp-content/uploads/sites/22/2013/07/www8-water-conflict-events-trends-analysis.pdf> adresinden alındı

Goldberg, S. M., & Rosner, R. (2011). Nuclear Reactors: Generation to Generation. Ekim 29, 2014 tarihinde American Academy of Arts & Sciences Resmi İnternet Sitesi: www.amacad.org/pdfs/nuclearReactors.pdf adresinden alındı

González, A. (2014, Haziran 9-11). NPP Capital Investment Costs and key factors affecting them. Kasım 30, 2014 tarihinde VI International Forum Atomexpo 2014 Resmi İnternet Sitesi: http://2014.atomexpo.ru/en/congress/presentations_of_the_forum/planning adresinden alındı

Graham, W. J. (1999, Eylül). A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure. Aralık 15, 2014 tarihinde US Bureau of Reclamation Resmi İnternet Sitesi: <http://www.usbr.gov/ssle/damsafety/Risk/Estimating%20life%20loss.pdf> adresinden alındı

Grigoriev, A. (2014, Haziran 10). The role of the owner-operator in optimizing the cost of nuclear energy produced: Based on the experience of Rosenergoatom. Aralık 16, 2014 tarihinde AtomExpo 2014: http://2014.atomexpo.ru/en/congress/presentations_of_the_forum/planning adresinden alındı

Hatzichronoglou, T. (1997). Revision of the High-Technology Sector and Product Classification. Aralık 28, 2014 tarihinde OECD Science, Technology and Industry Working Papers:

<http://dx.doi.org/10.1787/134337307632> adresinden alındı

- Henderson, P. A., Seaby, R. M., Super, R., Hankovszky, A., Aboulhosn, D., Bressett, H., et al. (2011, Temmuz). Giant Fish Blenders: How Power Plant Intake Structures Kill Fish and Damage Ecosystems (and What Can Be Done to Stop Them). Kasım 16, 2014 tarihinde Sierra Club Organization Resmi İnternet Sitesi: <http://vault.sierraclub.org/pressroom/media/2011/2011-08-fish-blenders.pdf> adresinden alındı
- Hezir, J. S., & Davis, M. (2011, Kasım). Analysis of GW-Scale Overnight Capital Costs. Kasım 24, 2014 tarihinde Center for Strategic and International Studies Resmi İnternet Sitesi: http://csis.org/files/attachments/111129_EPIC_OvernightCost_Report.pdf adresinden alındı
- Hondo, H. (2004). Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. Kasım 11, 2014 tarihinde Viyana Üniversitesi Resmi İnternet Sitesi: http://www.univie.ac.at/photovoltaik/umwelt/LCA_japanstudy.pdf adresinden alındı
- Huffington Post. (2012, Mart 13). Nuclear Power History: Timeline From Inception To Fukushima. Ekim 8, 2014 tarihinde Huffington Post İnternet Gazetesi: http://www.huffingtonpost.com/2012/06/13/timeline-nuclear-power-history-fukushima_n_1593278.html# adresinden alındı
- Hurst, C. (2008, Şubat). The Terrorist Threat to Liquefied Natural Gas: Fact or Fiction? Aralık 16, 2014 tarihinde Institute for the Analysis of Global Security Resmi İnternet Sitesi: <http://www.iags.org/hurstIng0208.pdf> adresinden alındı
- Hwang, K. (2012, Ocak 24-27). KHNP's Capacity Building of employees & Assistance Programs for New comers. Aralık 31, 2014 tarihinde International Atomic Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: <http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloads/Infrastructure/meetings/2012-01-TM-WS-Vienna/Day-3/3.CapacityBuildingofEmployees-KHwang.pdf> adresinden alındı
- IAEA. (2009). Managing Human Resources in the Field of Nuclear Energy. Ekim 1, 2014 tarihinde International Atomic Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1397_web.pdf adresinden alındı
- IAEA. (2011). Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes. Kasım 22, 2014 tarihinde International Atomic Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1477_web.pdf adresinden alındı
- IAEA. (2014, May). Nuclear Power Reactors in the World. Ekim 10, 2014 tarihinde IAEA Resmi İnternet Sitesi: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/rds-2-34_web.pdf adresinden alındı
- ICEPT. (2012, Ağustos). Cost estimates for nuclear power in the UK. aralık 2, 2014 tarihinde Imperial College London Resmi İnternet Sitesi: <https://workspace.imperial.ac.uk/icept/Public/Cost%20estimates%20for%20nuclear%20power%20in%20the%20UK.pdf> adresinden alındı
- IEA. (2013). CO2 Emissions from Fuel Combustion (Highlights). Kasım 9, 2014 tarihinde International Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2013.pdf> adresinden alındı
- IEA. (2014). Key World Energy Statistics 2014. Aralık 8, 2014 tarihinde International Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf> adresinden alındı

- IEA ETSAP. (2010, May). Hydropower. Kasım 5, 2014 tarihinde <http://www.iea-etsap.org/web/e-techds/pdf/e07-hydropower-gs-gct.pdf> adresinden alındı
- IEA NEA. (2010). Projected Costs of Generating Electricity (2010 edition). Kasım 4, 2014 tarihinde International Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected_costs.pdf adresinden alındı
- INPPS. (2014). Bilgilendirme Kitapçığı. Aralık 18, 2014 tarihinde İstanbul Nükleer Santraller Zirvesi Resmi İnternet Sitesi: <http://www.nuclearpowerplantssummit.com/files/Bilgilendirme-Kitapcigi.pdf> adresinden alındı
- IRENA. (2012, Haziran). Biomass for Power Generation. Kasım 24, 2014 tarihinde International Renewable Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: http://costing.irena.org/media/2793/re_technologies_cost_analysis-biomass.pdf adresinden alındı
- Jaafar, M. Z. (2014, Ağustos). MNPC as NEPIO - Assessing/Planning Local Industrial Involvement for Nuclear Power. Aralık 22, 2014 tarihinde IAEA Resmi İnternet Sitesi: http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2014/2014-08-26-08-29-TM-NI-DS-NPE/3_3_Malaysia.pdf adresinden alındı
- Jayant, S., Lucon, O., Rahman, A., Christensen, J., Denton, F., Fujino, J., et al. (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental (Chapter 9). Kasım 18, 2014 tarihinde Intergovernmental PAnel on Climate Change: http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch09.pdf adresinden alındı
- KAERI. (2011). Brochure. Aralık 25, 2014 tarihinde Korean Atomic Energy Research Institute Resmi İnternet Sitesi: <http://www.kaeri.re.kr:8080/english/> adresinden alındı
- Kalkınma Bakanlığı. (2014). 10. Kalkınma Planı (2014-2018) Gıda Ürünleri ve Güvenilirliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Aralık 16, 2014 tarihinde T.C. Kalkınma Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi: <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/217/G%C4%B1da%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20ve%20G%C3%BCvenilirli%C4%9Fi%20%C3%96%C4%B0K%20Raporu.pdf> adresinden alındı
- Kammen, D., Nelson, J., Mileva, A., & Johnston, J. (2011, Haziran). An Assessment of the Environmental Impacts of Concentrator Photovoltaics and Modeling of Concentrator Photovoltaic Deployment Using the SWITCH Model. Kasım 12, 2014 tarihinde CPV Consortium Resmi İnternet Sitesi: http://cpvconsortium.org/pdfs/press_releases/CPV_Environmental%20Report_07-09-11.pdf adresinden alındı
- Kantarci, K., Uysal, M., & Altin, M. (2012). The Perceived Impact Of Nuclear Plant (NP) On A Tourism Destination: A Case of Mersin. Aralık 29, 2014 tarihinde TTRA Onmi Press İnternet Sitesi: <http://ttra.omnibooksonline.com/2012/ttra-51776-1.4568/2012-t-001-1.4823/2012-34-a-1.4892/2012-34-a-1.4893> adresinden alındı
- KEK. (2014). Annual Report 2013 Vol. 3. Aralık 31, 2014 tarihinde High Energy Accelerator Research Organisation Resmi İnternet Sitesi: <http://ccdb5fs.kek.jp/tiff/2013/1322/1322003.pdf> adresinden alındı
- KEPCO. (2013, Temmuz 1). 2013 Annual Report. Aralık 28, 2014 tarihinde Korea Electric Power Corporation: <http://cyber.kepco.co.kr/kepco/EN/C/htmlView/ENCBHP003.do?menuCd=EN030204> adresinden alındı

- Kryshev, I. (1998). The Impact of Nuclear and Fossil-Fuelled Power on the Aquatic Environment. Kasım 19, 2014 tarihinde IAEA Resmi İnternet Sitesi: <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC42/SciProg/gc42-scifor-17.pdf> adresinden alındı
- Lau, J. (2014, Nisan 29). Generic Capital Costs of Supply-Side Resources. Kasım 23, 2014 tarihinde ISO New England Resmi İnternet Sitesi: http://www.iso-ne.com/committees/comm_wkgrps/prtcpnts_comm/pac/mtrls/2014/apr292014/a8_generic_capital_costs_of_supply_side_resources_rev2.pdf adresinden alındı
- Leblanc, B. (2013, Ağustos). Nuclear energy is a French industrial sector of excellence. Kasım 14, 2014 tarihinde Ottawa Fransız Büyükelçiliği: <http://www.ambafrance-ca.org/Nuclear-energy-is-a-French> adresinden alındı
- Lee, P.-S. (2000, Ekim). Economic Crisis and Chaebol Reform in Korea. Aralık 28, 2014 tarihinde Columbia University Resmi İnternet Sitesi: <http://www8.gsb.columbia.edu/apec/sites/apec/files/files/discussion/PSLee.PDF> adresinden alındı
- Leem, S.-J. (2011). Nuclear Power in South Korea. Aralık 16, 2014 tarihinde Otto-Suhr-Institut für Politikwissenschaft Resmi İnternet Sitesi: http://www.polsoz.fu-berlin.de/polwiss/forschung/systeme/ffu/veranstaltungen/termine/downloads/11_salzburg/Leem.pdf?1367712437 adresinden alındı
- Locatelli, G., & Mancini, M. (2012, Aralık 20). How EPC firms can enter the nuclear renaissance. Ekim 16, 2014 tarihinde Portal of Scientific Journals of Croatia: hrcak.srce.hr/file/138764 adresinden alındı
- Lucas, D. (2003, Mart). World Population Growth. Eylül 8, 2014 tarihinde ANU Australian Demographic & Social Research Institute Resmi İnternet Sitesi: <http://adsri.anu.edu.au/sites/default/files/publications/beg-pop-studies/BAPSchap3.pdf> adresinden alındı
- Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K. (2012, Aralık 20). A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity. Kasım 16, 2014 tarihinde IOP Science Resmi İnternet Sitesi: http://iopscience.iop.org/1748-9326/7/4/045802/pdf/1748-9326_7_4_045802.pdf adresinden alındı
- Magan, H. B., Delmastro, D. F., Markiewicz, M., Lopasso, E., Diez, F., Gimenez, M., et al. (2001). CA REM Prototype Construction and Licensing Status. Ekim 24, 2014 tarihinde IAEA Publications Resmi İnternet Sitesi: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1500_CD_Web/htm/pdf/topic5/5S01_D.%20Delmastro.pdf adresinden alındı
- Mason, S., Ferrell, W. G., Skinner, K., Watson, A., & Bobo, S. (2013, Ekim 11). Carolinas' Nuclear Cluster CELDi Project Report 2012-2013. Kasım 2, 2014 tarihinde Nuclear Energy Institute: <http://www.kariyer.net/WebSite/Kariyerim/index.aspx> adresinden alındı
- Mathew, T. M. (2011, Ocak 14). Nuclear Energy in France: Lessons to Learn for India. Aralık 21, 2014 tarihinde Great Lakes Institute of Management Resmi İnternet Sitesi: http://www.greatlakes.edu.in/gurgaon/sites/default/files/Nuclear_Energy_in_France.pdf adresinden alındı
- Matzie, R. A. (2003, Eylül 26). The AP1000 Reactor Nuclear Renaissance Option. Aralık 31, 2014 tarihinde Lakeland Community College Resmi İnternet Sitesi: <http://www2.lakelandcc.edu/nora/events/iuser/faculty/images/members/AP1000,%202.pdf> adresinden alındı

- Mayeda, P., & Riener, K. (2013, Haziran). Economic Benefits of Diablo Canyon Power Plant - An Economic Impact Study. Aralık 12, 2014 tarihinde Nuclear Energy Institute Resmi İnternet Sitesi: http://www.nei.org/CorporateSite/media/filefolder/Backgrounders/Reports-Studies/PGE_Diablo-Canyon_Economic_Impact_Report_June_2013.pdf?ext=.pdf adresinden alındı
- Meijer, H. M. (2014, Nisan 1). ResidualLifetime Offshore Wind Structures. Kasım 24, 2014 tarihinde TKI Wind op Zee Resmi İnternet Sitesi: <http://tki-windopzee.nl/files/2014-04/MMD%202014%20deel%202%20JIPS.pdf> adresinden alındı
- Momal, P. (2013). The Impact of a Nuclear Accident on Tourism. Kasım 15, 2014 tarihinde Graduate School of Engineering Osaka University Resmi İnternet Sitesi: <http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/seeqe/seeqe/PSAM%2013/OHP-PSAM%2013-1042.pdf> adresinden alındı
- Morris-Suzuki, T., Boilley, D., McNeill, D., Gundersen, A., & Fairewinds Associates. (2012, Şubat). Lessons from Fukushima. Kasım 11, 2014 tarihinde Greenpeace International Resmi İnternet Sitesi: <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/nuclear/2012/Fukushima/Lessons-from-Fukushima.pdf> adresinden alındı
- MOTIE. (2014, Ocak). Korea Energy Master Plan (outlook & policies to 2035). Aralık 27, 2014 tarihinde Güney Kore Ticaret, Sanayi ve Enerji Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi: <http://www.motie.go.kr/language/eng/policy/Epolicies.jsp> adresinden alındı
- Mukaiyama, T. (2014, Mart 20). Fact & Lessons of Fukushima Nuclear Accident - Seminar on "Understanding the Fukushima Nuclear Accident & its Recovery Efforts". Aralık 17, 2014 tarihinde Universitas Gadjah Mada - Pusat Studi Energi: <http://pse.ugm.ac.id/wp/wp-content/uploads/Fact-and-Lessons-of-Fukushima-Nuclear-Accident.pdf> adresinden alındı
- NDA. (2014, Eylül 30). Wylfa continues to 2015. Ekim 3, 2014 tarihinde UK Nuclear Decommissioning Authority: <http://www.nda.gov.uk/2014/09/wylfa-continues-to-2015/> adresinden alındı
- NEI. (2012, Nisan). Nuclear Energy's Economic Benefits - Current and Future. Aralık 8, 2014 tarihinde atomicinsights.com İnternet Sitesi: <http://atomicinsights.com/wp-content/uploads/Nuclear-Energys-Economic-Benefits-Current-and-Future.pdf> adresinden alındı
- NEI. (2013, Kasım). Economic Impact of NextEra Energy's Seabrook Station. Ekim 13, 2014 tarihinde NextEra Energy Resources Resmi İnternet Sitesi: http://www.nexteraenergyresources.com/pdf_redesign/nei_seabrook.pdf adresinden alındı
- NEI. (2014a, Nisan). Nuclear Energy's Economic Benefits - Current and Future. Kasım 26, 2014 tarihinde Nuclear Energy Institute Resmi İnternet Sitesi: <http://www.nei.org/corporatesite/media/filefolder/policy/papers/jobs.pdf> adresinden alındı
- NEI. (2014b, Temmuz). Nuclear Power Plants Benefit State and Local Economies. Kasım 30, 2014 tarihinde Nuclear Energy Institute Resmi İnternet Sitesi: <http://www.nei.org/CorporateSite/media/filefolder/Backgrounders/Fact-Sheets/Nuclear-Power-Plants-Benefit-State-and-Local-Economies-July-2014.pdf?ext=.pdf> adresinden alındı
- NETL. (2014, Şubat). NETL Factsheet Flyer. Aralık 31, 2014 tarihinde National Energy Technology Laboratory Resmi İnternet Sitesi: http://www.netl.doe.gov/publications/factsheets/corporate/NETL_flyer.pdf adresinden alındı
- NNL. (2014). Annual Report 2014. Aralık 31, 2014 tarihinde UK National Nuclear Laboratory Resmi İnternet Sitesi: http://www.nnl.co.uk/media/1634/nnl9855_ar_report_web.pdf adresinden

alındı

- NNR. (2014, Ekim 8). South Africa National Nuclear Regulatory. Ekim 8, 2014 tarihinde What is nuclear energy?: <http://www.nnr.co.za/what-is-nuclear-energy/> adresinden alındı
- OECD iLibrary. (2014). IEA Energy Technology RD&D Statistics. Aralık 4, 2014 tarihinde OECD Resmi İnternet Sitesi: http://stats.oecd.org/BrandedView.aspx?oecd_bv_id=enetech-data-en&doi=data-00488-en adresinden alındı
- OECD/IEA. (2013). Key World Energy Statistics 2013. Eylül 17, 2014 tarihinde Uluslararası Enerji Ajansı Resmi İnternet Sitesi: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf> adresinden alındı
- OECD/NEA. (2013). The Economics of the Back End of the Nuclear Fuel Cycle. Aralık 13, 2014 tarihinde OECD Nuclear Energy Agency Resmi İnternet Sitesi: <http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2013/7061-ebenfc.pdf> adresinden alındı
- OES. (2014). Annual Report 2013. Aralık 9, 2014 tarihinde Ocean Energy Systems Resmi İnternet Sitesi: <http://www.ocean-energy-systems.org/library/oes-reports/annual-reports/document/oes-annual-report-2013/> adresinden alındı
- O'neil, D. (2013). Early Modern Homo sapiens. Eylül 8, 2014 tarihinde Palomar Collage Resmi İnternet Sitesi: http://anthro.palomar.edu/homo2/mod_homo_4.htm adresinden alındı
- OSBBS. (2014, Eylül 29). OSB Bilgi Sitesi. Eylül 29, 2014 tarihinde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi: <https://osbbs.sanayi.gov.tr/default.aspx> adresinden alındı
- OSBDER. (2014, Eylül 29). OSBDER Anasayfa. Eylül 29, 2014 tarihinde Organize Sanayi Bölgeleri Derneği: <http://www.osbder.org/index.html> adresinden alındı
- OSBÜK. (2014, Ağustos 27). OSB Alan Ölçülerine Göre İlleri Sıralaması. Eylül 29, 2014 tarihinde Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kuruluşu Resmi İnternet Sitesi: [http://www.osbuk.org/haber/images/14-osb_alan_%C3%B6l%C3%A7%C3%BCler%C4%B0ne_g%C3%B6re_%C4%B0ller%C4%B0n_siralamasi\(1\).pdf](http://www.osbuk.org/haber/images/14-osb_alan_%C3%B6l%C3%A7%C3%BCler%C4%B0ne_g%C3%B6re_%C4%B0ller%C4%B0n_siralamasi(1).pdf) adresinden alındı
- Oxford Economics. (2008). Economic, Employment and Environmental Benefits of Renewed U.S. Investment in Nuclear Energy. Aralık 3, 2014 tarihinde Oxford Economics Resmi İnternet Sitesi: <https://s3.amazonaws.com/halopublications/128895/open20080105120000.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJEH775QE2PUYLYDA&Expires=1417594660&Signature=AuwsHRdSkucSjbJqh%2bSmKY%2fZqj8%3d> adresinden alındı
- Pasific Institute. (2013). Freshwater Withdrawal by Country and Sector (2013 Update). Kasım 14, 2014 tarihinde Pacific Institute Resmi İnternet Sitesi: <http://worldwater.org/wp-content/uploads/sites/22/2013/07/ww8-table2.pdf> adresinden alındı
- Plumstead, J. (2012, Mayıs 16). Economic Impact Analysis. Aralık 12, 2014 tarihinde PwC Resmi İnternet Sitesi: <http://www.pwc.com/gx/en/mining/school-of-mines/2012/pwc-realizing-the-value-of-your-project-economic-impact-analysis.pdf> adresinden alındı
- PNNL. (1998, Mart 3). Aktau Nuclear Power Station. 10 2014, 26 tarihinde Pasific Northwest National Laboratory Resmi İnternet Sitesi: <http://insp.pnnl.gov/-profiles-aktau-ak.htm> adresinden alındı
- Rangel, L. E., & Leveque, F. (2012, Ekim). How did Fukushima-Daiichi core meltdown change the probability of nuclear accidents? Aralık 17, 2014 tarihinde Inria Etablissement Resmi İnternet

Sitesi: https://hal.inria.fr/file/index/docid/740684/filename/I3WP_12-ME-06.pdf adresinden alındı

REA. (2014). What is LCOE? Kasım 24, 2014 tarihinde Renewable Energy Advisors İnternet Sitesi: <http://www.renewable-energy-advisors.com/learn-more-2/levelized-cost-of-electricity/> adresinden alındı

REN21. (2014, Nisan). Renewables 2014 Global Status Report. Aralık 9, 2014 tarihinde <http://www.ren21.net/Portals/0/documents/e-paper/GSR2014/index.html> adresinden alındı

renewableenergyworld.com. (2014, Şubat 4). Meet The New World's Biggest Wind Turbine. Kasım 5, 2014 tarihinde RenewableEnergyWorld.com İnternet Sitesi : <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2014/02/meet-the-new-worlds-biggest-wind-turbine> adresinden alındı

RiaNovosti. (2014, Mayıs 19). Russia to Help Kazakhstan Build Nuclear Power Plant. Ekim 26, 2014 tarihinde RiaNovosti İnternet Gazetesi: <http://en.ria.ru/russia/20140529/190222679/Russia-to-Help-Kazakhstan-Build-Nuclear-Power-Plant.html> adresinden alındı

Ruhil, A. (2012, Mayıs 30). The Use of Hedonic Models in the Analysis of Nuclear Facilities' Impacts on Property Values: A Survey of the Economic Literature. Kasım 15, 2014 tarihinde Ohio University PORTS Future Vision Project Resmi İnternet Sitesi: [http://www.portsfuture.com/\(Editor\)_178/Literature%20Review%20of%20Hedonic%20Models%20\(Final\).pdf](http://www.portsfuture.com/(Editor)_178/Literature%20Review%20of%20Hedonic%20Models%20(Final).pdf) adresinden alındı

Salmon, J. P., Meurice, J., Wobus, N., Stern, F., Duaiame, M., Schwabe, P., et al. (2011, Mart). Guidebook to Geothermal Power Finance. Kasım 24, 2014 tarihinde National Renewabl Energy Laboratory Resmi İnternet Sitesi: <http://www.nrel.gov/geothermal/financing/pdfs/49391.pdf> adresinden alındı

Sawyer, M., & Parsons, M. (2011). A Strategy for Research and Innovation through High Performance Computing. Kasım 1, 2014 tarihinde EU Community Research and Development Information Service Resmi İnternet Sitesi: <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/computing/documents/planethpc-strategy.pdf> adresinden alındı

Saygın, H. (2011). Büyük Nükleer Kazalar ve Nükleer Enerji Teknolojisinin Evriminde Doğurdıkları Sonuçlar. S. Ülgen içinde, NÜKLEER ENERJİYE GEÇİŞTE TÜRKİYE MODELİ (s. 51-81). İstanbul: Ekonomi ve Dış Politika Araştırmalar Merkezi (EDAM).

Schlissel, D., & Biewald, B. (2008, Temmuz). Nuclear Power Plant Construction Costs. Kasım 24, 2014 tarihinde Synapse Energy Economics Company Resmi İnternet Sitesi: http://www.synapse-energy.com/sites/default/files/SynapsePaper.2008-07.0.Nuclear-Plant-Construction-Costs.A0022_0.pdf adresinden alındı

Schneider, M., & Marignac, Y. (2008, Nisan). Spent Nuclear Fuel Reprocessing in France. Aralık 4, 2014 tarihinde International Panel on Fissile Materials: 750 acres) adresinden alındı

SEDAŞ. (2014). Fatura Bilgileri. Kasım 25, 2014 tarihinde Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş. Resmi İnternet Sitesi: <http://www.sedas.com/CustomerServices/BillInfo.aspx> adresinden alındı

Smith-Kevern, R. (2010, Kasım 9). Nuclear Infrastructure Support. Kasım 6, 2014 tarihinde United States Energy Association Resmi İnternet Sitesi: <http://usea.org/sites/default/files/event-file/518/U.S.%20DOE%20Nuclear%20Infrastructure%20Support.pdf> adresinden alındı

Sokolski, H. (2010, Aralık). Nuclear Power's Global Expansion: Weighing Its Costs and Risks. Aralık 2,

- 2014 tarihinde Strategic Studies Institute Resmi İnternet Sitesi:
www.strategicstudiesinstitute.army.mil/pdffiles/PUB1041.pdf adresinden alındı
- T.C. Ekonomi Bakanlığı. (2012). 2023 Türkiye İhracat Stratejisi ve Eylem Planı. Kasım 15, 2014 tarihinde Savunma ve Havacılık Sanayii İmalatçıları Derneği Resmi İnternet Sitesi:
[http://www.sasad.org.tr/uploaded/2023_ihracat\(3\).pdf](http://www.sasad.org.tr/uploaded/2023_ihracat(3).pdf) adresinden alındı
- T.C. ETKB. (2014a, Kasım 14). 2013 Genel Enerji Denge Tablosu - Bin TEP. Aralık 8, 2014 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi:
<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Duyurulari/2013-Yili-Genel-Enerji-Denge-Tablolari-Aciklanmistir> adresinden alındı
- T.C. ETKB. (2014b). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015 - 2019 Stratejik Planı. Aralık 20, 2014 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi: <http://etkb.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fStratejik+Plan%2fETKB+2015-2019+Stratejik+Plani.pdf> adresinden alındı
- T.C. ETKB YEGM. (2014). ETKB Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Kasım 3, 2014 tarihinde Hidrojen Enerjisi: http://www.eie.gov.tr/teknoloji/h_enerjisi.aspx adresinden alındı
- T.C. KUZKA. (2014, Eylül 30). TR82 Düzey II Bölgesi Bölge Planı (2014-2023). Kastamonu, Merkez, Türkiye.
- Taş, A., Hızıroğlu, M., & Çakan, S. (2011). ULUSAL İŞ SİSTEMLERİNİN ULUS ÖTESİ UZANTILARI OLABİLİR Mİ? ULUS ÖTESİ İŞLETMELERİN ALICI ÜLKELERDEKİ ÖRGÜTSEL FORMLARI KÖKEN ÜLKEDKİ ÖRGÜTSEL FORMLARININ İZLERİNİ TAŞIYOR MU? Aralık 28, 2014 tarihinde Akademik Bakış Dergisi: <http://www.arastirmax.com/system/files/dergiler/9383/makaleler/25/arastirmax-ulusal-sistemlerinin-ulus-otesi-uzantilari-olabilir-mi-ulus-otesi-isletmelerin-alici-ulkelerdeki-orgutsel-formlari-koken-ulkedeki-orgutsel-formlari-nin-izlerini-tasiyor.pdf> adresinden alındı
- The IEE. (2005). Nuclear Reactor Types. Ekim 28, 2014 tarihinde Stanford University - Robert B. Laughlin Kişisel Sayfası. adresinden alındı
- The Washington Post. (2013, Haziran 7). San Onofre nuclear power plant to shut down. Ekim 22, 2014 tarihinde The Washington Post İnternet Gazetesi: http://www.washingtonpost.com/business/economy/san-onofre-nuclear-power-plant-to-shut-down/2013/06/07/7fe3e88c-cf8c-11e2-8f6b-67f40e176f03_story.html adresinden alındı
- The World Bank. (2013). The World Bank Resmi İnternet Sitesi. Eylül 8, 2014 tarihinde Population Growth (annual %) (indirilmiş .xls dosyası): <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW> adresinden alındı
- Thomas, S. (2005, Temmuz). The economics of nuclear power: analysis of recent studies. Kasım 23, 2014 tarihinde University of Greenwich Public Services International Research Unit Resmi İnternet Sitesi: <http://www.psir.org/reports/2005-09-E-Nuclear.pdf> adresinden alındı
- Thomson Reuters. (2014, Kasım). 2014 TOP 100 GLOBAL INNOVATORS. Aralık 31, 2014 tarihinde Thomson Reuters TOP 100 Global Innovators Resmi İnternet Sitesi: <http://top100innovators.com/pdf/Top-100-Global-Innovators-2014.pdf> adresinden alındı
- TİM. (2014). Ekonomi ve Dış Ticaret Raporu 2014. Aralık 31, 2014 tarihinde Türkiye İhracatçıları Meclisi Resmi İnternet Sitesi: http://www.tim.org.tr/files/downloads/raporlar/tim_ekonomi_ve_dis_ticaret_raporu_2014.pdf adresinden alındı
- TMMOB EMO. (2013). Nükleer Enerji Raporu 2013. Ekim 10, 2014 tarihinde Elektrik Mühendisleri

Odası Resmi İnternet Sitesi: http://www.emo.org.tr/ekler/d28ac2cf3783f23_ek.pdf adresinden alındı

TMMOB FMO. (2014). Nükleer Enerji Raporu. Ekim 15, 2014 tarihinde Fizik Mühendisleri Odası: http://www.fmo.org.tr/wp-content/uploads/2012/09/FMO_Nuk_Enr_Rap_2011_aralik_son.doc adresinden alındı

Tombakoğlu, M., Ergün, Ş., Atak, H., Çelikten, O. Ş., Duman, V., Kayrın, K., et al. (2011). Nükleer Enerji Raporu 2011. Ankara: TMMOB Fizik Mühendisleri Odası.

TRNTP, TASAM. (2012, Ekim 2). Türkiye 2023 Uluslararası Nükleer Teknoloji Transferi Kongresi Sonuç Raporu ve Bildirgesi. Aralık 12, 2014 tarihinde Türk Asya Stratejik Araştırmalar Merkezi Resmi İnternet Sitesi: http://www.tasam.org/Files/Icerik/File/turkiye_2023_uluslararası_nukleer_teknoloji_transferi_kongresi_sonuc_raporu_ve_bildirgesi_1b0670e4-2008-47e8-a03b-8d44613772b5.pdf adresinden alındı

Tuğrul, B. A. (2013, Nisan). 19. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı Bildirileri. Ağustos 30, 2014 tarihinde Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı Resmi İnternet Sitesi: http://www.icci.com.tr/dosya/icci2013-proceedings_30803.pdf adresinden alındı

TÜBİTAK. (2011a, Aralık). Ulusal Enerji Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi. Aralık 30, 2014 tarihinde Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Resmi İnternet Sitesi: http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/ek1_ulusal_enerji_arge_yenilik_stratejisi.pdf adresinden alındı

TÜBİTAK. (2011b, Aralık). Nükleer Santral Yerleştirme Çalıştay Sonuç Raporu. Aralık 12, 2014 tarihinde Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu Resmi İnternet Sitesi: http://www.nukte.org/files/raporlar/Nukleer_Santral_Yerlestirme_Calistay_Raporu.pdf adresinden alındı

TÜİK. (2014, Mart). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları 2013. Aralık 18, 2014 tarihinde Türkiye İstatistik Kurumu Resmi İnternet Sitesi: http://www.tuik.gov.tr/Kitap.do?metod=KitapDetay&KT_ID=11&KITAP_ID=139 adresinden alındı

TÜİK. (2014). Dış Ticaret İstatistiği Yıllığı 2013. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.

Türk Dil Kurumu. (2014, Ekim 8). Güncel Türkçe Sözlük. Ekim 8, 2014 tarihinde Türk Dil Kurumu Resmi İnternet Sitesi: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.543545d8796e94.11900840 adresinden alındı

Türkdöküm. (2014). TUDÖKSAD'da Bahar Coşkusu. Türkdöküm Dergisi, 20-24.

Türkyılmaz, O., & Özgiresun, C. (2013, Mart 8). Türkiye'de Enerji Görünümü 2013 Sunumu. Eylül 26, 2014 tarihinde TMMOB Resmi İnternet Sitesi: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/57b7be2541fe860_ek.pdf?tipi=68&turu=X&sube=1 adresinden alındı

U.S. DoE. (2013, Nisan). FY 2014 Congressional Budget Request. 12 31, 2014 tarihinde U.S. Department of Energy: <http://energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/LabTable.pdf> adresinden alındı

U.S. NRC & Sandia. (2008, Nisan 22). Impact of a Meltdown at Nuclear Plant (CRAC-2). Aralık 17, 2014 tarihinde Nuclear Information and Resource Center İnternet Sitesi: <http://www.nirs.org/reactorwatch/accidents/crac2.pdf> adresinden alındı

U.S. NRC. (2006, Mart). FAQ on License Renewal of Nuclear Power Reactors. Ekim 22, 2014 tarihinde United States Nuclear Regulatory Commisison:

- <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0611/ML061110022.pdf> adresinden alındı
- U.S. NRC. (2012, Mart 29). The Pressurized Water Reactor (PWR). Ekim 9, 2014 tarihinde United States Nuclear Regulatory Commission:
<http://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/animated-pwr.html> adresinden alındı
- U.S. NRC. (2014, Ekim 22). License Renewal Granted Map. Ekim 22, 2014 tarihinde United States Nuclear Regulatory Commission:
<http://www.nrc.gov/images/reactors/operating/licensing/renewal/renewal-map.gif> adresinden alındı
- UCS. (a). Why does CO2 get most of the attention when there are so many other heat-trapping gases (greenhouse gases)? Kasım 9, 2014 tarihinde Union of Concerned Scientists Resmi İnternet Sitesi: http://www.ucsusa.org/global_warming/science_and_impacts/science/CO2-and-global-warming-faq.html#.VF-mifnhmSp adresinden alındı
- UCS. (b). The Hidden Cost of Fossil Fuels. Kasım 19, 2014 tarihinde Union of Concerned Scientists Resmi İnternet Sitesi: http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/coal-and-other-fossil-fuels/the-hidden-cost-of-fossil.html#.VGyo8PnhmSo adresinden alındı
- UK DECC. (2012, Ekim). Electricity Generation Costs. Kasım 24, 2014 tarihinde United Kingdom Department of Energy and Climate Change: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65713/6883-electricity-generation-costs.pdf adresinden alındı
- UK Government. (2013, Mart 25). The UK's Nuclear Future. Kasım 8, 2014 tarihinde United Kingdom Government Resmi İnternet Sitesi: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/168048/bis-13-627-nuclear-industrial-strategy-the-uks-nuclear-future.pdf adresinden alındı
- United Nations. (1999, Ekim 12). UN Population Division Resmi İnternet Sitesi. Eylül 8, 2014 tarihinde The World at Six Billion: <http://www.un.org/esa/population/publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf> adresinden alındı
- United Nations. (2014). The World Population Situation in 2014. Eylül 9, 2014 tarihinde UN Population Division Resmi İnternet Sitesi: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/en.pdf> adresinden alındı
- University of Virginia. (2009). Writing S.M.A.R.T. Goals. Aralık 28, 2014 tarihinde University of Virginia: http://www.hr.virginia.edu/uploads/documents/media/Writing_SMART_Goals.pdf adresinden alındı
- US EIA. (2013, Nisan). Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants. Kasım 24, 2014 tarihinde U.S. Energy Information Administration:
http://www.eia.gov/forecasts/capitalcost/pdf/updated_capcost.pdf adresinden alındı
- US EPA. (2013, Eylül 25). Water Discharge. Kasım 17, 2014 tarihinde US Environmental Protection Agency Resmi İnternet Sitesi:
<http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/water-discharge.html> adresinden alındı
- US Geological Survey. (2007, Temmuz 9). The age of the Earth. Eylül 8, 2014 tarihinde USGS Resmi İnternet Sitesi: <http://pubs.usgs.gov/gip/geotime/age.html> adresinden alındı
- Utku, H. (2009, Ekim). Nükleer Güç Santrallerinde Kullanılan Teçhizatın Kalite Standartları ve Listesi. Eylül 30, 2014 tarihinde Nükleer Teknoloji Bilgi Platformu İnternet Sitesi:

<http://www.nukte.org/node/812> adresinden alındı

- Ünal, V. Z. (2014, Eylül). TR82 Bölgesi 3 Yıldız Küme Analiz Çalışması. Aralık 25, 2014 tarihinde T.C. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı Resmi İnternet Sitesi: http://www.kuzka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.kuzka.gov.tr_10_JO2G85XI_3-yildiz-kume-analiz.pdf adresinden alındı
- Vural, A. (2007, Aralık). TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi Resmi İnternet Sitesi. Kasım 3, 2014 tarihinde 4. Nesil Nükleer Santraller: <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yeniufuk/icerik/ek4nesilNukSant.pdf> adresinden alındı
- WEC. (2013a). Cost of Energy Technologies. Aralık 2, 2014 tarihinde World energy council Resmi İnternet Sitesi: http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WEC_J1143_CostofTECHNOLOGIES_021013_WEB_Final.pdf adresinden alındı
- WEC. (2013b). World Energy Scenarios - Composing energy futures to 2050. Aralık 10, 2014 tarihinde World Energy Council Resmi İnternet Sitesi: http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/World-Energy-Scenarios_Composing-energy-futures-to-2050_Full-report1.pdf adresinden alındı
- Wei, M., Patadia, S., & Kammen, D. M. (2010, Şubat). Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? Energy Policy (Volume 38, Issue 2), s. 919–931.
- Weisbrod, G., & Weisbrod, B. (1997, Nisan). Measuring Economic Impacts of Projects and Programs. Kasım 5, 2014 tarihinde Economic Development Research Group Resmi İnternet Sitesi: <http://www.edrgroup.com/pdf/econ-impact-primer.pdf> adresinden alındı
- Westinghouse. (2014, Eylül 23). Westinghouse Completes Acquisition; Accelerates Energy Market Opportunities. Aralık 31, 2014 tarihinde Westinghouse Electric Company Resmi İnternet Sitesi: <http://westinghousenuclear.com/About/News/View/ArticleId/479/Westinghouse-Completes-Acquisition-Accelerates-Energy-Market-Opportunities> adresinden alındı
- Whitley, R. (1999). Divergent Capitalism. New York: Oxford University Press.
- WNA. (2011, Temmuz). Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources. Kasım 9, 2014 tarihinde http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf adresinden alındı
- WNA. (2014, Eylül). Nuclear Power Reactors. Ekim 10, 2014 tarihinde World Nuclear Association: Nuclear adresinden alındı
- WNA. (2014, Mart). The Many Uses of Nuclear Technology. Ekim 8, 2014 tarihinde World Nuclear Association Resmi İnternet Sitesi: <http://www.world-nuclear.org/info/non-power-nuclear-applications/overview/the-many-uses-of-nuclear-technology/> adresinden alındı
- World Bank. (2014, Aralık 31). Exports of goods and services (constant 2005 US\$). Aralık 2014, 2014 tarihinde The World Bank Resmi İnternet Sitesi: http://data.worldbank.org/indicator/NE.EXP.GNFS.KD?order=wbapi_data_value_2012+wbapi_data_value&sort=desc adresinden alındı
- WorleyParsons & Dokay. (2011). Çevresel Etki Değerlendirmesi Başvuru Dosyası. Aralık 18, 2014 tarihinde T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Resmi İnternet Sitesi: http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/ced/AKKUYU_NGS_CBD.pdf adresinden alındı

- WPM Dergisi. (2014). The 10 Biggest Turbines in the World. Kasım 5, 2014 tarihinde Wind Power Monthly Dergisi Resmi İnternet Sitesi: <http://www.windpowermonthly.com/10-biggest-turbines> adresinden alındı
- Yamaç, N. (2014, Haziran 10). Why Nuclear in Turkey. Ekim 17, 2014 tarihinde AtomExpo 2014 Resmi İnternet Sitesi: http://2014.atomexpo.ru/mediafiles/u/files/Materials/3/Yamach_Turkey_ATOMEXPO_2014.pdf adresinden alındı
- Yılmaz, M. L., & Peker, H. S. (2013). Su Kaynaklarının Türkiye Açısından Ekono-Politik Önemi Ekseninde Olası Bir Tehlike: Su Savaşları. Kasım 12, 2014 tarihinde Çankırı Karatekin Üniversitesi İİBF Dergisi Resmi İnternet Sitesi: http://iibfdergi.karatekin.edu.tr/Makaleler/116107636_57-74%20-%20Makale%2051.pdf adresinden alındı
- Zararsız, S. (2005, Ekim). Uranyum. Aralık 16, 2014 tarihinde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Resmi İnternet Sitesi: http://www.taek.gov.tr/attachments/article/470/254_uranyum.pdf adresinden alındı

NÜKLEER ENERJİ ve SİNOP RAPORU



**T.C. KUZEY ANADOLU
KALKINMA AJANSI**
NORTH ANATOLIAN DEVELOPMENT AGENCY

Cebrail Mah. Saray Sk. No: 1 37200 Kastamonu / TÜRKİYE
Tel.: +90 (366) 212 58 52 Faks: +90 (366) 212 58 55
E-posta: bilgi@kuzka.gov.tr

www.kuzka.gov.tr
@TC_KUZKA