

T.C.  
MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ ANABİLİM DALI

BÜYÜK YAKMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN  
EMİSYONLARIN SINIRLANDIRILMASI DİREKTİFİ  
ÇERÇEVESİNDE MUĞLA BÖLGESİ TERMİK  
SANTRALLARININ NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI İÇİN  
OPTİMAL ÇÖZÜMLERİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BURAK KÖLEOĞLU

EYLÜL 2014

MUĞLA

**T.C.**  
**MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENERJİ ANABİLİM DALI**

**BÜYÜK YAKMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN  
EMİSYONLARIN SINIRLANDIRILMASI DİREKTİFİ  
ÇERÇEVESİNDE MUĞLA BÖLGESİ TERMİK  
SANTRALLARININ NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI İÇİN  
OPTİMAL ÇÖZÜMLERİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BURAK KÖLEOĞLU**

**EYLÜL 2014**

**MUĞLA**

# MUĞLA SITKI KOÇMAN ÜNİVERSİTESİ

## Fen Bilimleri Enstitüsü

### TEZ ONAYI

**BURAK KÖLEOĞLU** tarafından hazırlanan **BÜYÜK YAKMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN SINIRLANDIRILMASI DİREKTİFİ ÇERÇEVESİNDE MUĞLA BÖLGESİ TERMİK SANTRALLARININ NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI İÇİN OPTİMAL ÇÖZÜMLERİN ARAŞTIRILMASI** başlıklı tezinin, **22/08/2014** tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Enerji Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi için gerekli şartları sağladığı oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

#### TEZ SINAV JURİSİ

Prof.Dr. Tayfun BÜKE

(Jüri Başkanı)

İmza:

Enerji Ana Bilim Dalı

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



Prof.Dr. Tayfun BÜKE

(Danışman)

İmza:

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı  
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



Yrd.Doç.Dr Uğur ERKARSLAN (Üye)

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



Yrd.Doç.Dr Tolga URAL (Üye)

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

İmza:



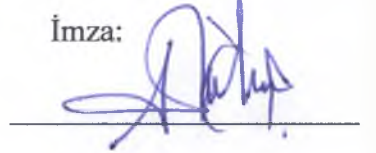
#### ANA BİLİM DALI BAŞKANLIĞI ONAYI

Doç.Dr.Ali KEÇEBAŞ

İmza:

Enerji Ana Bilim Dalı Başkanı,

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla

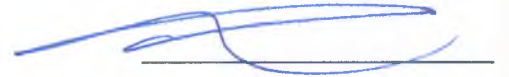


Prof.Dr. Tayfun BÜKE

İmza:

Danışman, Enerji Anabilim Dalı,

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla



Savunma Tarihi: 22/08/2014

Tez çalışmalarım sırasında elde ettiğim ve sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgelerin tarafımdan bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde edildiğini; akademik ve bilimsel etik kurallarına uygun olduğunu beyan ederim. Ayrıca, akademik ve bilimsel etik kuralları gereği bu tez çalışması sırasında elde edilmemiş başkalarına ait tüm orijinal bilgi ve sonuçlara atıf yapıldığını da beyan ederim.

Burak Köleoğlu

22/08/2014



## ÖZET

### **BÜYÜK YAKMA TESİSLERİNDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN SINIRLANDIRILMASI DİREKTİFİ ÇERÇEVESİNDE MUĞLA BÖLGESİ TERMİK SANTRALLARININ NO<sub>x</sub> EMİSYONLARI İÇİN OPTİMAL ÇÖZÜMLERİN ARAŞTIRILMASI**

Burak KÖLEOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tayfun BÜKE

Eylül 2014, 60 sayfa

Sürdürülebilir kalkınma, gelecek nesillerin gereksinimlerinin karşılanmasını tehlikeye atmadan mevcut neslin ihtiyaçlarının karşılanması anlamını taşımaktadır. Ekonomik, sosyal, çevresel boyutları olan sürdürülebilir kalkınma, bir ülkenin ekonomik, sosyal ve çevresel politika ve stratejilerinin bütünleşmesini gerektirir.

Sürdürülebilir enerji üretimi ve tüketimi, bu bağlamda, enerji ve çevre politikalarının temel hedefleri arasında yer almaktadır. Avrupa Birliği Parlamentosu ve Konseyi tarafından kabul edilen Büyük Yakma Tesisleri Direktifi, Avrupa’da çevre politikası alanındaki en önemli düzenlemelerden biridir.

Büyük Yakma Tesisleri Direktifi, termal gücü 50 MW ve daha fazla olan büyük yakma tesislerinden kaynaklanan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), nitrojen oksitleri (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) emisyonlarının kontrolü yoluyla; asidifikasyonu, yüzey ozon ve partikül düzeyini Avrupa genelinde azaltmayı amaçlamaktadır. Direktif, bu kirleticilerin insan sağlığı ve asit yağmuru gibi çevre üzerindeki zararlarını en aza indirmek için çevreye ilişkin oldukça sıkı düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır. Türkiye’nin güç santralleri için kabul etmiş olduğu emisyon standartları Avrupa Birliği’nin Büyük Yakma Tesisleri Direktifi’nde belirlenen düzeyin oldukça üzerindedir.

Bu nedenle Avrupa Birliği yasal düzenlemelerine uyum sürecinin güç santralleri üzerinde önemli sonuçları söz konusudur. Güç santrallerinin, Büyük Yakma Tesisleri Direktifine uyumlaştırılması için emisyon giderici önlemlere gereksinim duyulmaktadır. Bu kapsamda, güç üretiminde yerli linyit ile çalışan termik santraller ana kirletici ve en fazla yatırıma ihtiyaç duyan tesisler olarak ön plana çıkmaktadır.

2014 yılı itibarı ile Türkiye’nin 66632 MW’lık toplam kurulu gücün %14’lük kısmının oluşturan linyitle çalışan termik santraller baca gazı arıtma ve NO<sub>x</sub> emisyon

kontrol yatırımlarına ihtiyaç duyan tesislerdir. Ancak enerjide, yaklaşık %70 düzeyinde, dışa bağımlı olan ülkemiz ciddi bir arz güvenliği sorunu ile karşı karşıya olduğundan mevcut güç santrallerinin üretim programlarının dışında bırakılmaması gerekmektedir.

Bu amaca uygun olarak, Büyük Yakma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Muğla bölgesinde kurulu bulunan ve termal gücü 50 MW'ı aşan Yatağan (3x210 MW), Yeniköy (2x210 MW) ve Kemerköy (3x210 MW) 3 linyit santralının kullandıkları kömür türleri göz önüne alınarak, NO<sub>x</sub> önleyici teknolojilerin ve maliyetlerinin araştırılması AIRPACTS programı modeli ile gerçekleştirilmiştir.

Her santral için NO<sub>x</sub> kaynaklı sağlık dışsal maliyetleri yıllık bazda ikincil kirleticiler de göz önüne alınarak hesaplanması ve hesaplanan sağlık dışsal maliyetlerinin, NO<sub>x</sub> önleyici teknolojilerin maliyetleri ile karşılaştırılması sonucunda Muğla bölgesi santrallerine NO<sub>x</sub> kontrol sistemleri içerisinde en pahalısı olan Seçici Katalitik İndirgeme sisteminin uygulanması halinde bile uygulanan teknolojinin maliyeti NO<sub>x</sub> kaynaklı sağlık dışsal maliyetleri tarafından karşılanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Büyük yakma tesisleri, NO<sub>x</sub> emisyonları, Dışsal maliyetler, Etki geçiş yöntemi

## ABSTRACT

### AN INVESTIGATION OF OPTIMAL SOLUTION FOR MUGLA REGION LIGNITE-FIRED POWER PLANTS FROM THE LARGE COMBUSTION PLANT DIRECTIVE FRAMEWORK

Burak KÖLEOĞLU

Master of Science (M.Sc.)

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy

Supervisor: Prof. Dr. Tayfun BÜKE

September 2014, 60 Pages

Sustainable development stands for meeting the needs of present generations without jeopardizing the ability of future generations to meet their own needs. Sustainable development requires the integration of economic, social, and environmental policies and strategies of the country since it has three dimensions, namely, economic, social and environmental.

Sustainable energy generation and consumption is one of the main objectives of the policies on energy and environment. The Large Combustion Plant Directive (LCPD) which was introduced by the European Parliament and Council is one of the most important policy measures in Europe.

The Directive aims to take steps to reduce acidification, ground level ozone and particles throughout Europe by controlling emissions of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and dust (PM) from large combustion plants (i.e. plant with a rated thermal input of equal to or greater than 50 MW).

The Directive enforces strict environmental compliance, setting limits for these pollutants as they are known to damage human health and cause environmental damage such as acid rain. The emission standards for power plants remain significantly less stringent than those currently in force at the EU level as defined LCPD. Therefore the viarmonization with EU legislation has important implications for the power plants. In this context, pollution abatement measures are needed for large power plants.

Lignite-fired power plants as the major emitters need significant investment for emission reduction. Lignite power plants which had 17% share in the installed capacity in 2010, are needed investment in flue gas desulfurization and No<sub>x</sub> control systems. However, since the high dependency –approximately 70%- on foreign energy sources threatens energy security, lignite-fuelled power plants shouldn't be excluded from generation programmes.

In the first part of this study health effects lignite power plants in Mugla region have been calculated by the code Airpatcs.

Each power plant NO<sub>x</sub>-induced health external costs on an annual basis secondary pollutants taking into consideration the calculation and the calculated health external costs, NO<sub>x</sub> preventive technologies with costs by comparing the Mugla region central to the NO<sub>x</sub> control system within the most expensive with a Selective Catalytic Reduction system should be implemented even if the applied cost of technology external costs will be covered by the NO<sub>x</sub>-induced health.

**Keywords:** Large combustion plants, NO<sub>x</sub> emissions, External costs, Impact pathway approach



Sevgili Aileme

## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, her türlü çalışma imkanını sağlayan ve sunan, anlayış ve desteği ile yanımda olan yüksek lisans danışmanım Sayın Prof. Dr. Tayfun BÜKE 'ye;

Beni bu günlere getiren ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme yürekten teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>SEMBOLLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b> .....	4
2.1. Elektrik Üretimin Dışsal Maliyetlerinin Basitleştirilmiş Yaklaşımı .....	4
2.1.1. Basit Üniform Dünya Modeli (SUWM) .....	6
2.1.2. Güçlü Üniform Dünya Modeli (RUWM) .....	11
2.2. Doz Etki Katsayılarının Hesabı.....	13
2.3. Birim Maliyetler.....	14
2.4. NO <sub>x</sub> Kontrol Sistemleri .....	15
2.4.1. Hava Kademeleme .....	15
2.4.2. Baca Gazı Sirkülasyonu .....	16
2.4.3. Yakıt Kademeleme.....	18
2.4.4. Düşük NO <sub>x</sub> Oluşturan Yakıtlar .....	19
2.4.5. Seçici Katalitik İndirgeme (SKİ) .....	19
2.4.6. Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SKOI).....	21
2.5. NO <sub>x</sub> Kontrol Sistem Maliyetleri .....	24
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	27
3. 1. AirPacts Programının Kullanımı.....	27
3. 1. 1. Kirletici kaynak karakteristikleri.....	29
3. 1. 2. Kirletici envanteri .....	30
3. 1. 3. Meteorolojik veriler .....	31
3. 1. 4. Kirleticiye maruz kalınan bölge bilgileri .....	32
3. 1. 5. Sağlık doz etki katsayıları ve parasal değerleri.....	33
3.2. Airpacts Programı ile Muğla Bölgesi Termik Santrallerinin Sağlık Açısından Dışsal Maliyetlerinin Hesaplanması .....	35
<b>4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR</b> .....	44
<b>5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	53

<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>55</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>60</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1: Çeşitli bölgeler için ortalama çöküntü hızları (cm/s).....	8
Çizelge 2.2. NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için uygulanan birincil tedbirlerin genel özellikleri.....	23
Çizelge 2.3. NO <sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için uygulanan ikincil tedbirlerin genel performansı .....	24
Çizelge 2.4. NO <sub>x</sub> Kontrol Teknolojileri Karşılaştırmalı Maliyetleri.....	25
Çizelge 2.5. Baca gazı hacmi fonksiyonu olarak SCR ünitelerine yönelik maliyet hesapları .....	26
Çizelge 3.1. Santral linyitleri ve santral özellikleri.....	36
Çizelge 3.2. Termik santralların kirletici kaynak karakteristiklerine ve envanteri ....	37
Çizelge 3.3. Yatağan termik santral çevresi yerel nüfus dağılımı (kişi sayısı).....	39
Çizelge 3.4. Yeniköy termik santral çevresi yerel nüfus dağılımı .....	40
Çizelge 3.5. Kemerköy termik santral çevresi yerel nüfus dağılımı .....	41
Çizelge 3.6. NO <sub>x</sub> aerosollerine ait doz etki katsayıları ve birim maliyetler.....	44
Çizelge 4.1. Yatağan termik santral çevresinde hesaplanan NO <sub>x</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ) .....	46
Çizelge 4.2. Yeniköy termik santral çevresinde hesaplanan NO <sub>x</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ) .....	47
Çizelge 4.3. Kemerköy termik santral çevresinde hesaplanan NO <sub>x</sub> konsantrasyonları (µg/m <sup>3</sup> ) .....	48
Çizelge 4.4. Santral bölgelerine göre paskal kararlılık sınıfları.....	49
Çizelge 4.5. NO <sub>x</sub> aerosollerine ait sağlık etkileri (olay/yıl) .....	50
Çizelge 4.6. NO <sub>x</sub> aerosollerinin sağlık etkilerinin maliyetleri (\$2000/yıl) .....	50
Çizelge 4.7. Yatağan termik santral için duyarlılık analizi.....	51

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Etki Geçiş Yöntemi Yaklaşımı .....	5
Şekil 2.2. NO ve SO <sub>2</sub> kirleticilerin uzun dönemli taşınması sırasında aerosolların oluşumuna neden olan kimyasal tepkime adımları .....	9
Şekil 2.3. Bir seçici katalitik indirgeme prosesindeki OFA sistemi .....	16
Şekil 2.4 .Baca gazı sirkülasyonu .....	17
Şekil 2.5. Baca gazı sirkülasyonu .....	18
Şekil 2.6. Seçici katalitik indirgeme prosesi .....	21
Şekil 2.7. Seçici katalitik olmayan indirgeme prosesi .....	22
Şekil 3.1.AIRPACTS programı ana ekranı .....	27
Şekil 3.2. Modül bilgileri ekranı .....	28
Şekil 3.3. QUARI modülü veri girişi ekranı .....	29
Şekil 3.4. Kirletici kaynak yeri ve baca bilgileri ekranı.....	30
Şekil 3.5. Kirletici envanteri ekranı .....	31
Şekil 3.6. Meteorolojik bilgiler ekranı .....	32
Şekil 3.7. Kirleticiye maruz kalınan bölge bilgileri ekranı .....	33
Şekil 3.8. Sağlık doz etki katsayıları ve parasal değerleri bilgileri ekranı .....	34
Şekil 3.9. Çıktı bilgileri ekranı.....	35
Şekil 3.10. Yatağan termik santralı çevresi yerleşim birimleri.....	42
Şekil 3.11. Yeniköy termik santralı çevresi yerleşim birimleri .....	42
Şekil 3.12. Kemerköy termik santralı çevresi yerleşim birimleri .....	43

## SEMBOLLER DİZİNİ

SUWM	Simple Uniform World Model
RUWM 1 ve RUWM 2	Robust Uniform World Model
QUERI	Quick Estimation of Respiratory health Impacts
$I$	sağlık etkisi
$\rho(\bar{r})$	r noktasındaki etki altındaki nüfus yoğunluğu
$F_{er}$	doz etki katsayısı
$Q$	kirletici debisi
$C$	r noktasında $Q$ kirletici debisine bağlı hesaplanmış kirletici konsantrasyonu
$A$	etki alanı
$\bar{r}$	vektördür.
$M(r)$	yer yüzündeki kirletici çıkışlı arıttmandır
$k(r)$	ise orantılılık sabitidir
$u$	tüm etki alanı üzerinden ortalama rüzgar hızı,
$h_{mix}$	kirletici karışım yüksekliği,
$k_p$	birincil kirletici çökme hızı,
$\rho_{local}$	yerel nüfus yoğunluğu,
$\rho_{regional}$	bölgesel nüfus yoğunluğudur.
$DEF$	doz etki katsayısı (olay/yıl.kişi. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$IRR$	risk yüzdesi ( $\%/\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),
$Incidence$	tekrar seviyesi (olay/yıl.kişi)
$f_{POP}$	etki altındaki nüfus oranı (%) dır.
$D_Y$	birim etki maliyeti bilinmeyen ülke
$D_X$	birim etki maliyeti bilinen ülke
$PPPGNP_Y$	birim etki maliyeti bilinmeyen ülkeye ait gayri safi milli hasıla (Satın Alma Gücü Paritesine göre)
$PPPGNP_X$	birim etki maliyeti bilinen ülkeye ait gayri safi milli hasıla (Satın Alma Gücü Paritesine göre)
$E$	$PPPGNP$ göre kayıpların esneklik katsayısı

# 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi ekonominin ve yaşam standardının vazgeçilmez kaynağıdır. Gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme, enerji arzının büyümenin gerektirdiği oranda artırılabilmesi ile yakından ilişkilidir. Öte yandan, artan çevresel sorunlar ile birlikte önem kazanan sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı, enerji talebinin karşılanmasında çevrenin korunması gerekliliğini gündeme getirmektedir (Todaro, 2000; Omer, 2008). Bu da elektrik enerjisi üretim ve tüketiminde negatif dışsallıklarının da göz önüne alınması gerektirmektedir.

Enerji üretimi ve tüketimi sonucunda ortaya çıkan hava, su ve toprak kirliliği hem ekolojik sistemi tahrip etmekte hem de doğrudan insan sağlığını etkileyerek yaşam kalitesini düşürmekte ve ekonomik faaliyetlerde gereksinim duyulan emek gücünü olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak ekonomik analizlerde çevresel tahribat ve etkileri genellikle dışarıda bırakılmaktadır. Yine de artan çevresel sorunlar karşısında sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmeye yönelik ExternE projesi çerçevesinde EcoSense (EUR 20198, 2003) gibi çeşitli bilgisayar programları geliştirilmiş ve bu program ile çeşitli Avrupa Birliği ülkelerinde, enerji üretiminin ve tüketiminin negatif dışsallıkları hesaplanmıştır (Thanh ve Lefevre, 2004; Sakulniyomporn, Kubaha, ve Chullabodhi, 2011). Buna paralel olarak enerji üretiminin çevre üzerinde en olumsuz etkileri olan fosil yakıtlı termik santrallerin çevresel etkilerini minimum indirmeye yönelik Avrupa Birliği tarafından Büyük Yakma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Sınırlandırılması Direktifi yayınlanmış ve kademeli olarak bu direktifte belirtilen sınır değerlere uyulması zorunluluğu getirilmiştir (Directive 2001/80/EC; ABGS, 2007).

Bu bağlamda fosil yakıt kullanan güç sistemlerine partikül, kükürt dioksit ve azot oksit gibi emisyon giderici teknolojilerin maliyetlerini hesaplayan CUECost, Coal Utility Environmental Cost (EPA, 1998) ve çeşitli senaryolar için tüm yakma



sistemlerinden yayılan ve küresel ısınmaya neden olan gazlar dışındaki hava kirleticilerinin emisyonlarını önleyici teknoloji maliyetlerini hesaplayan SIMPACTS (Spadaro, 2004) modeli ve programı geliştirilmiştir. SIMPACTS (Simplified Approach for estimating Environmental Impacts and External Cost of Electricity Generation) programı genel anlamda, nükleer kirlilik ve maliyetleri için NucPacts ve konvansiyon kirlilik ve maliyetleri için ise AirPacts programlarından oluşmaktadır. SIMPACTS programı yapısında bulunan AirPacts programı kullanılarak çeşitli ülkeler için güç santralleri ve endüstri tesislerden kaynaklanan konvansiyonel kirleticiler için dışsal maliyetler farklı senaryolar halinde farklı zaman dilimleri için hesaplanmıştır (Thanh, 2001; Shrestha, 2000).

SIMPACTS modelinin yanında CASES (CASES, 2013) (Cost Assessment for Sustainable Energy Systems) projesi çerçevesinde güç sistemlerinin çeşitli etkiler için maliyet hesapları çeşitli ülkelerde farklı senaryolar için gerçekleştirilmiştir (Schlesinger, L ve Nielsen P, 1997; Dimitrijevic vd, 2011).

2014 yılı itibarı ile Türkiye'nin 66632 MW'lık toplam kurulu gücün %14'lik kısmının linyitle çalışan termik santraller oluşturmakta (EÜAŞ, 2014) ve söz konusu santrallerin emisyonlarına, santral emisyonlarının yaratabileceği çevresel etkilere ve emisyonlar için santrallerin birbirleri ile karşılaştırılmalarına ilişkin literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur (Yücel, 1997; DEK-TMK, 2010). Türk Çevre Mevzuatının, Avrupa Birliği Çevre Mevzuatı ile uyumlulaştırılması kapsamında hem yeni kurulacak termik santrallerde hemen, mevcut santrallerde 2019'dan sonra uyulması yükümlülüğü olan "Büyük Yakma Tesislerinden kaynaklanan Emisyonların Sınırlandırılması Direktifi" çerçevesinde, Türkiye'de bulunan güç sistemlerinin emisyon giderici teknolojilerinin uygulanması konusunda araştırmalar sınırlı ölçekte başlamıştır (Güven vd., 2008;DEK-TMK, 2010).

Bu tezin amacı, Avrupa Birliği, "Büyük Yakma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Sınırlandırılması Direktifi" (Güven vd., 2008, 2001/80/EC, Directive) Çerçevesinde Muğla Bölgesi Linyit Santrallerinin NO<sub>x</sub> emisyonları için optimal çözümlerin araştırılmasıdır.

Bu amaca uygun olarak, Büyük Yakma Tesislerinden Kaynaklanan Emisyonların Muğla bölgesinde kurulu bulunan ve termal gücü 50 MW'ı aşan Yatağan (3x210

MW), Yeniköy (2x210 MW) ve Kemerköy (3x210 MW) 3 linyit santralının kullandıkları kömür türleri göz önüne alınarak, NO<sub>x</sub> önleyici teknolojilerin ve maliyetlerinin araştırılması AIRPACTS programı modeli ile gerçekleştirilecektir.

Her santral için NO<sub>x</sub> kaynaklı sağlık dışsal maliyetleri yıllık bazda ikincil kirleticiler de göz önüne alınarak hesaplanacak ve hesaplanan sağlık dışsal maliyetler NO<sub>x</sub> önleyici teknolojilerin maliyetleri ile karşılaştırılacaktır.

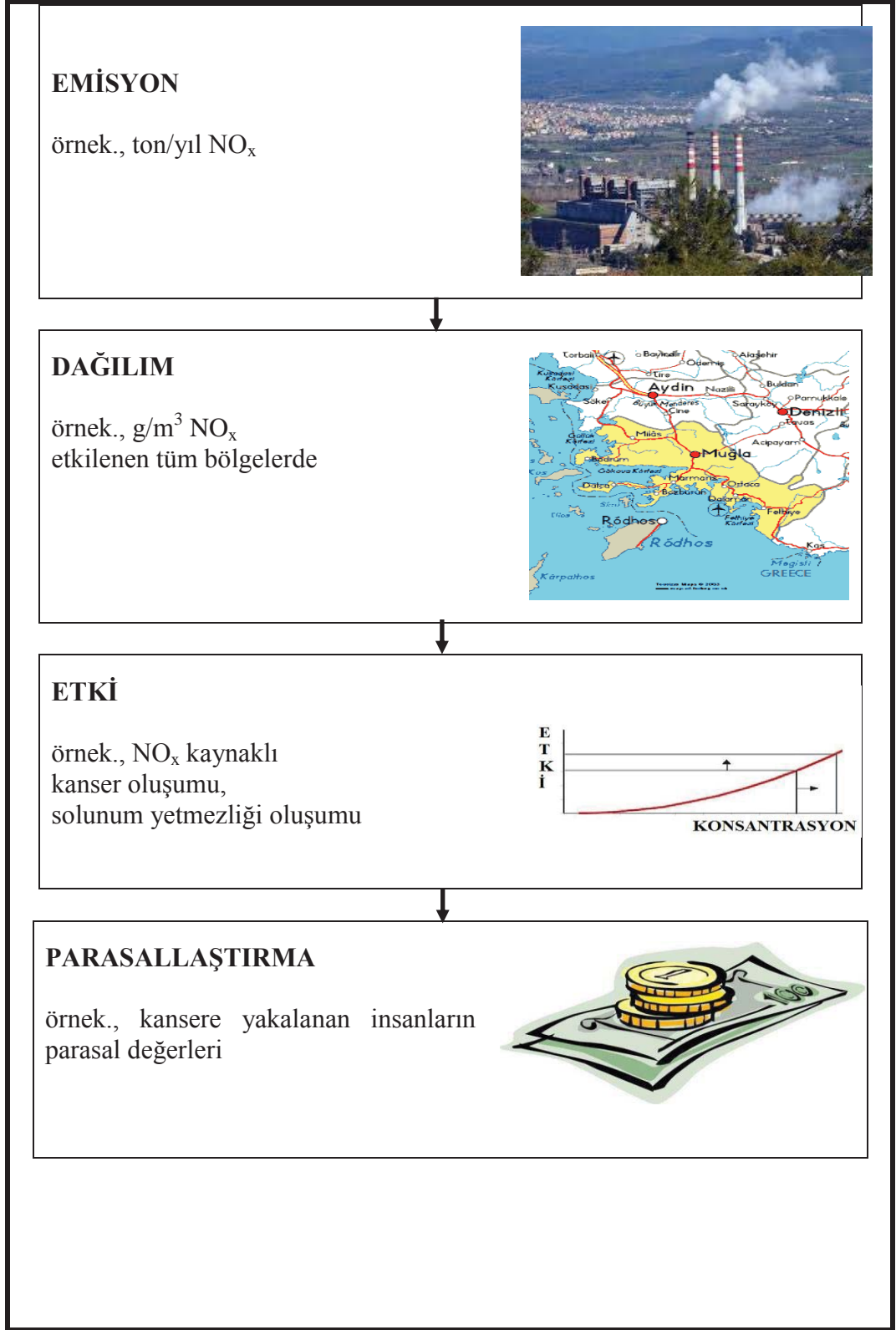
## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Elektrik Üretimin Dışsal Maliyetlerinin Basitleştirilmiş Yaklaşımı

SIMPACTS programının yapısı etki geçiş yolu ile gerçekleşmektedir. Bu amaçla önce bölgede lokal ve bölgesel konvansiyonel ya da radyoaktif kirletici konsantrasyonları belirlenir. Daha sonra söz konusu konsantrasyonların insan ve çevre üzerindeki etkileri ve maliyetleri belirlenir. Etki Geçiş Yöntemi Yaklaşımı şematik olarak Şekil 2.1.'de gösterilmiştir (EUR 20198, 2003).

SIMPACTS programı içerisinde yer alan AIRPACTS programı, fosil yakıtlı termik santrallerden, atmosferik dağılım ile havaya ve sulara bulaşmış olan konvansiyonel kirleticilerin insan sağlığı, tarımsal ürünler ve binalar üzerindeki etkilerini etki geçiş yöntemi (Spadaro, 2002; Spadaro, 2002) ile fiziksel ve ekonomik olarak hesaplayan bir bilgisayar programıdır.

Program “Simple Uniform World Model (SUWM)”, “Robust Uniform World Model (RUWM 1 ve RUWM 2)” ve “Quick Estimation of Respiratory health Impacts (QUERI)” olmak üzere dört farklı modelden oluşmaktadır. Bu modeller içerisinde en gelişmiş olan QUERI modeli lokal bazda hücre üzerinden hesap yapabilmektedir.



Şekil 2.1. Etki Geçiş Yöntemi Yaklaşımı

### 2.1.1. Basit Üniform Dünya Modeli (SUWM)

SUWM modelinde etki geçiş yaklaşımı çerçevesinde  $I$  sağlık etkisi aşağıdaki denklemden hesaplanır (Spadaro, 2002; Spadaro, 2002).

$$I = \int_{alan} \rho(\vec{r}) F_{er}(\vec{r}, C(Q)) dA \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)'de,

$\rho(\vec{r})$  : r noktasındaki etki altındaki nüfus yoğunluğu

$F_{er}$  : doz etki katsayısı

$Q$  : kirletici debisi

$C$  : r noktasında  $Q$  kirletici debisine bağlı hesaplanmış kirletici konsantrasyonu

$A$  : etki alanı

$\vec{r}$  : vektördür.

Yoğunluk arttığından,  $C$ ,  $Q$  ile doğrusal olarak değişir, Eşitlik (2.1) ise denge durumu ya da geçici emisyon kaynakları için eşit olarak geçerlidir. Genellikle, etki mesafesi, kirleticinin atmosferde kalma süresine bağlı olarak, emisyon kaynağından birkaç yüz metreden birkaç kilometreye kadar uzar

#### 2.1.1.1. SUWM Modeli Varsayımları

Denklem (2.1) in çözümünde kullanılan yaklaşımlar aşağıdaki gibidir (Spadaro, 2002).

1. Risk altındaki alıcılar, tüm hesaplama alanı boyunca üniform olarak dağılırlar.

$$\rho(r) = \rho_{uni} = \text{sabit} \quad (2.2)$$

2. Doz etki katsayısı tüm konsantrasyonlar için basitleştirilmiş aşağıdaki gibi yazılabilir

$$f_{er}(r, C(Q)) = f_{er}(r), C(r, Q) \quad (2.3)$$

3.  $f_{er}(r)$  tüm bölgelerde sabittir.

$$f_{er}(r) = f_{er,umi} = \text{sabit} \quad (2.4)$$

4.  $\text{NO}_x$  v.b. gibi kirletici emisyon konsantrasyonları  $C(r, Q)$  atmosferik koşullara bağlıdır ve  $k(r)$  kirletici çöküntü hızı ile orantılı olup aşağıdaki denklem ile verilir.

$$M(r) = k(r)C(r, Q) \quad (2.5)$$

$M(r)$  yeryüzündeki kirleticinin ortamdan kalkma akışıdır ve  $k(r)$  ise orantılılık sabitidir.  $M(r)$  birim zaman başına birim yüzey alanı için kitle birimlerine sahiptir (yatay),  $k(r)$  de hız birimlerine sahiptir ve bu andan itibaren kirleticinin havadaki azalma hızı olarak adlandırılacaktır. Kirletici yoğunluğunun atmosferde azalabileceği birçok yol vardır. Bu yollara; diğer uçucu türlerle kimyasal etkileşimler kuru ve ıslak çöküntü mekanizmaları da dahildir. Kuru çöküntü, hava kirliliği, nem, havadaki materyal (örneğin yeryüzünü oluşturan) ve hava vejetasyonu sayesinde yeryüzündeki bir kirleticinin yükselmesine yol açar. Islak çöküntü; havadaki damlacıkların kirleticiyi emmesi sonucu oluşur ve sonradan çökmeye ortadan kalkar. Denklem (2.5)'teki  $k(r) = k_{umi} = \text{sabit}$   $k(r)$  nin ortadan kalkma sistemleri için hesaplanan toplam tükenme hızı olarak kabul edilir. Ortadan kaldırma akınının yeryüzü yoğunluğuna orantılı olduğu varsayımı yalnızca kuru çöküntü için geçerlidir. Kimyasal dönüşümler ve ıslak çöküntü için ortadan kaldırma akı  $r$  üzerindeki hava katmanındaki ortalamaaya bağlıdır.

5. Çöküntü hızı, etki alanı boyunca sabittir.

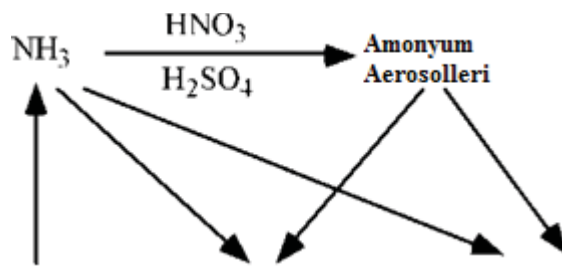
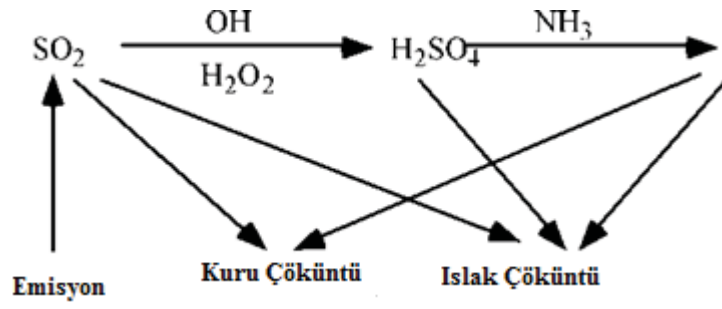
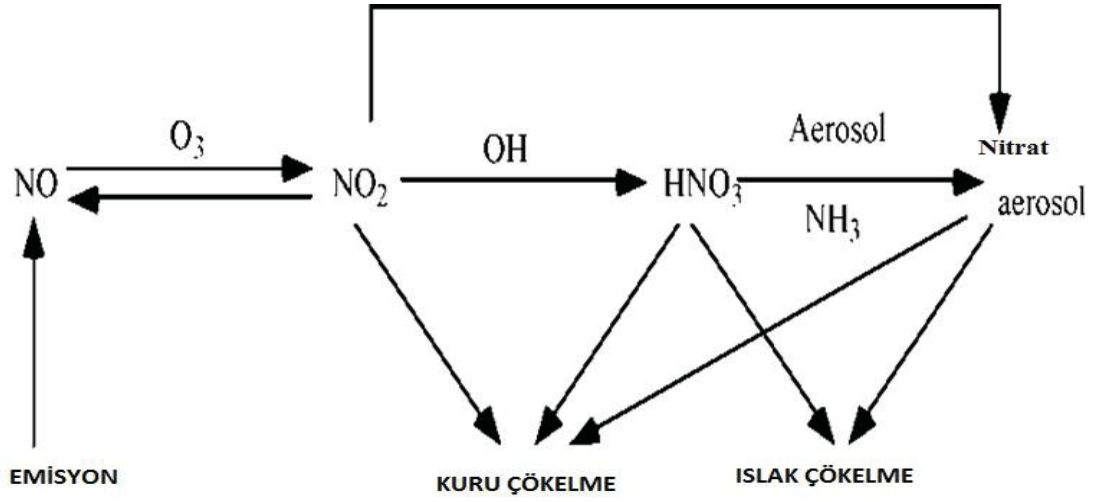
$$k(r) = k_{umi} = \text{sabit} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6), atmosferik dağılım parametrelerinin emisyon kaynağının jeografik alandan bağımsız olduğunu ifade eder. Ayrıca kirleticilerin değişik meteorolojik ve coğrafik koşullara göre değerleri değişmektedir. Çeşitli bölgeler için hesaplanmış

çöküntü hızları Çizelge 2.1.'de ve birincil kirleticilerden ikincil kirletici oluşumunun gösterimi ise Şekil 2.2.'de verilmiştir (Spadaro, 2002).

**Çizelge 2.1: Çeşitli bölgeler için ortalama çöküntü hızları (cm/s)**

<b>Bölge adı</b>	<b>PM<sub>10</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>Sülfatlar</b>	<b>Nitrat</b>
Batı Avrupa	0.67	0.73	1.47	1.73	0.71
Polonya	0.86	0.89	1.05	1.98	1.29
Arjantin, Buenos Aires [35 °S, 60 °E]	2.19	2.08	0.40	3.63	1.59
Çin, Beijing [40.0 °N, 116. 3 °W]	0.64	0.84	1.44	1.77	0.82
Tayland, Phichit [16.3 °N, 100. 3 °W]	0.65	0.87	1.53	1.82	0.76
Brezilya, Güney Amazonlar [0 °S, 65 °E]	2.86	1.38	2.26	4.76	3.00



Şekil 2.2. NO ve SO<sub>2</sub> kirleticilerin uzun dönemli taşınması sırasında aerosolların oluşumuna neden olan kimyasal tepkime adımları



### 2.1.1.2. SUWM Modeli Etki Denklemleri

Denklem 2.1 deki doz etki denklemi (2.2-2.6) denklemleri yardımıyla doz etki denklemi;

$$I = \int_{area} \rho(r) F_{er}(r, C(Q)) dA = \frac{\rho_{uni} f_{er,uni}}{k_{uni}} \int_{area} M(r) dA \quad (2.7)$$

şeklinde yazılır. Denklem (2.7)'deki integral ifadesi kütle korunumundan hareketle zamandan bağımsız olarak Denklem (2.8)'deki gibi yazılabilir.

$$\int_{area} M(r) dA = \left\{ \begin{array}{ll} Q & \text{birincil kirleticiler için} \\ \frac{k_{p \rightarrow s} Q}{k_p} & \text{ikincil kirleticiler için} \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'de  $k_p$ , emisyon alanında, atmosferde doğrudan ortaya çıkan birincil kirleticinin çöküntü hızıdır. Birincil kirleticilerin atmosferde meydana getireceği etkileşimler ile kirletici konsantrasyonlarına bağlı olarak  $s$  indisli, ikincil kirleticiler de oluşurlar. İkincil türdeki, birincil kirleticinin kimyasal dönüşümü  $k_{p \rightarrow s}$  dönüşüm hızıyla nitelendirilir. İkincil türlerin kütle yaratımının (yaratım oranı) doğrusal olarak birincil kirletici yoğunluğuyla çeşitlendirildiği kabul edilir ve orantılılık sabitliği  $k_{p \rightarrow s}$  e eşittir.

Bu varsayımlar altında birincil ve ikincil kirleticiler için doz etki denklemleri sırasıyla Denklem (2.9) ve Denklem (2.10)'daki gibi yazılabilir (Spadaro, 2002).

$$I_{suwm} = \frac{\rho_{uni,s} f_{er,uni,p} Q}{k_p} \quad (2.9)$$

$$I_{suwm} = \frac{\rho_{uni,s} f_{er,uni,s} Q}{k_{s,eff}}; \quad k_{s,eff} = \frac{k_s k_p}{k_{p \rightarrow s}} \quad (2.10)$$

Birincil kirleticiler sayesinde oluşacak etki alanın yarıçapı  $R_{impact}$  Denklem (2.11)'den hesaplanır (Spadaro, 2002).

$$R_{impact} = -\frac{uh_{mix}}{k_p} \text{Ln} \left[ 0.05 \left( \frac{\rho_{local}}{\rho_{regional}} \left( 1 - \text{Exp} \left( \frac{-50000 k_p}{uh_{mix}} \right) \right) + \text{Exp} \left( \frac{-50000 k_p}{uh_{mix}} \right) \right) \right] \quad (2.11)$$

Denklem (2.11)'de,

$u$  : tüm etki alanı üzerinden ortalama rüzgar hızı,

$h_{mix}$  : kirletici karışım yüksekliği,

$k_p$  : birincil kirletici çökme hızı,

$\rho_{local}$  : yerel nüfus yoğunluğu,

$\rho_{regional}$  : bölgesel nüfus yoğunluğudur.

### 2.1.2. Güçlü Üiform Dünya Modeli (RUWM)

Güçlü Üiform Dünya Model (RUWM), etki analizine, yerel alıcı dağılımını, yerel meteorolojik verileri ve emisyon kaynağının “etkili yığın” yüksekliğini dahil ederek basit versiyonunu geliştirir. SUWM'deki ilerleyiş aşağıda sunulur: Tüm durumlarda, etki aralığını ve basitleştirilmiş değerlendirme modelini tanımlamak için şu alt simgeler kullanılır.

RUWM modelinde, sabit oranda yayılan bir kaynak için  $Q$  (debi) daimi alıcı, için (yerleşik nüfus)  $\rho(r)$  olarak yazılırsa, etki değerlendirme fonksiyonu [Denklem (2.1)] SUWM modeli aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$\frac{impact}{SUWM} \int_A \frac{\rho(\vec{r})}{\rho_{UNI}} \frac{k_{UNI}}{k(\vec{r})} \frac{M(Q, \vec{r})}{Q} dA = \int_A \frac{\rho(\vec{r})}{\rho_{UNI}} k_{UNI} \left[ \frac{C}{Q} \left| LOCAL + REGIONAL \right. \right] dA \quad (2.12)$$

### 2.1.2.1. Güçlü Üniform Dünya Modeli 1

Yukarıda verilen gelen denklemlere yapılan aşağıdaki varsımlar ışığında Güçlü Üniform Dünya Modeli 1 elde edilir. Söz konusu varsayımlar aşağıdaki gibidir (Spadaro, 2002).

- 1- Her bir alan için, dağıtıcılar üniform olsa da yerel ve bölgesel alıcı yoğunlukları eşit değildir. (yerel olarak:  $\rho(r) = q_L = \text{sabit}$  ve bölgesel olarak:  $\rho(r) = q_R = \text{sabit}$ )
- 2- Yerel alan  $R_o$  yarıçaplı bir dairedir ve kaynak lokasyonunda toplanır.
- 3- Rüzgar hızı sabittir ve rüzgar gülü üniformdur. ( $u = \text{sabit}$ )
- 4- Kirletici dikey olarak iyi karışmaktadır. Dikey dağılım ise oldukça hızlıdır.

(2) ve (3) de verilen hipotezlerin sonucu olarak yerel yoğunluk profili yalnızca rüzgar altı mesafesi  $r$ 'nin işlevidir ve RUWM 1 için denklemler aşağıdaki gibidir.

$$\left. \frac{C}{Q} \right|_{LOCAL} = \left( \frac{1}{2\pi u h_{mix}} \right) \cdot \frac{1}{r} \quad (2.13)$$
$$\left. \frac{Im\ pact}{SUWM} \right|_{EST1} = \left( \frac{\rho_L}{\rho_{UNI}} \right) \left( \frac{k_{UNI}}{u h_{mi}} \right) R_o \left( \frac{\rho_R}{\rho_{UNI}} \right) e^{\left( \frac{k_{um} R_o}{u h_{mi}} \right)}$$

### 2.1.2.2. Güçlü Uniform Dünya Modeli 2

İkinci ilerleme için, kirleticinin dikey olarak iyice karıştırıldığı kabul edilmez, bu da yerel yoğunluk alanının bağımsız parametreler  $r$  ve  $z$ 'ye bağlı olduğuna işaret eder. Sonuç olarak, etkili yığın yüksekliği “açıkça” etki değerlendirme işlevinde görülür. Denklem (2.14) bir önceki tahmin üzerinde önemli bir ilerleme sunar çünkü yığın parametreleri yerel dağılım sürecinde önemli bir rol oynar. Ancak yerel ve bölgesel alıcı yoğunluklarının rüzgar gülü dağıtıcılarının uygun aralıklar boyunca tekdüze olduğu kabul edilir. RUWM 2 için denklemler aşağıdaki gibi hesaplanır (Spadaro, 2002).

$$\frac{C}{Q}\Big|_{LOCAL} = \left(\frac{1}{\pi u \sigma_y \sigma_z}\right) e^{-\left(\frac{y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right)^2} e^{-\left[\frac{h_E}{\sqrt{2}\sigma_z}\right]^2} \quad (2.14)$$

$$\frac{Im\ pact}{SUWM}\Big|_{EST2} = \left(\frac{\rho_L}{\rho_{UNI}}\right) \left(\frac{\sqrt{2}k_{UNI}}{\sqrt{\pi}u}\right) \int_0^{R_o} \frac{1}{\sigma_z} e^{-\frac{h_E^2}{2\sigma_z^2}} dr + \left(\frac{\rho_R}{\rho_{UNI}}\right) e^{-\left(\frac{k_{um}R_o}{uh_{mi}}\right)}$$

Denklem (2.14) ile verilen integral değerleri etkin baca yüksekliklerinde, değişik atmosferik karalılık sınıfları için hesaplanmaktadır.

### 2.1.2.3. Güçlü Uniform Dünya Modeli 3

Son ve üçüncü “ ilerlemiş tahmin” en uygun sonucu verir. Bu yaklaşım için, yerel meteorolojik veriler ve boşluğa bağlı alıcı verileri analizde kullanılır. Yerel olarak, insan yoğunlukları Gaussian dağılım modelinin en genel formu yerel alıcı verilerinin çarpımıyla hesaplanır.

RUWM, 3 için etki değerlendirme Denklem (2.15) ile verilir. Bu eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim, yerel etkiyi ikinci terim ise bölgesel etkiyi temsil etmektedir. Toplam kirletici etkisi her rüzgar hızı  $u_j$  için etkilerin toplam ağırlığıdır.  $P_j$  parametresi, rüzgar hızı  $u_j$ 'nin oluşma olasılığıdır (Spadaro, 2002).

$$\frac{Im\ pact}{SUWM}\Big|_{EST3} = \sum_j \int_{-R_o}^{R_o} P_j \left(\frac{\rho \bar{r} k_{UNI}}{\rho_{UNI} \pi u_j \sigma_y}\right) e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy \int_0^{R_o} \frac{1}{\sigma_z} e^{-\frac{h_E^2}{2\sigma_z^2}} dr + \left(\frac{\rho_R}{\rho_{UNI}}\right) e^{-\left(\frac{k_{UNI}R_o}{uh_{MX}}\right)} \quad (2.15)$$

## 2.2. Doz Etki Katsayılarının Hesabı

Yerel ve bölgesel olarak herhangi bir kirleticinin insan topluluğu üzerindeki doz etki katsayısı Denklem (2.16) ile hesaplanmaktadır (Spadaro, 2002;Spadaro, 2002).

$$DEF = IRR \times Incidence \times f_{POP} \quad (2.16)$$

Denklem (2.16) da,

$DEF$  : doz etki katsayısı (olay/yıl.kişi.  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

*IRR* : risk yüzdesi (%/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),

*Incidence* : tekrar seviyesi (olay/yıl.kişi)

*f<sub>POP</sub>* : etki altındaki nüfus oranı (%) dır.

Her kirletici için, denklem (2.16) ile verilen doz etki katsayılarının etki ettiği sağlık, tarımsal ve binalar üzerindeki kayıpları birbirlerinden farklıdır. Bu konuda farklı kirleticilerin farklı etkileri üzerindeki deneysel ve istatistiksel çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir (EUR 20198, 2003; CASES, 2013, NEEDS, 2013).

### 2.3. Birim Maliyetler

Etki Geçiş Yöntemi Yaklaşımının son aşaması olan emisyon nedeni ile belirlenen kirletici etkilerinin parasallaştırılmasıdır.(Spadaro, 2002) Birim maliyetlerin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi Ödeme İstekliliği yöntemidir (Spadaro, 2002).

Herhangi bir kirleticiye ait birim maliyeti bilinmeyen ülkelere ait birim etki maliyetleri, birim etki maliyetleri bilinen ülkelerin birim etki maliyet değerleri kullanılarak Denklem (2.17)'den hesaplanır (Spadaro, 2002;Spadaro, 2002).

$$D_Y = D_X \left( \frac{PPPGNP_Y}{PPPGNP_X} \right)^E \quad (2.17)$$

*D<sub>Y</sub>* : birim etki maliyeti bilinmeyen ülke

*D<sub>X</sub>* : birim etki maliyeti bilinen ülke

*PPPGNP<sub>Y</sub>* : birim etki maliyeti bilinmeyen ülkeye ait gayri safi milli hasıla

*PPPGNP<sub>X</sub>* : birim etki maliyeti bilinen ülkeye ait gayri safi milli hasıla

*E* : PPPGNP göre kayıpların esneklik katsayısı Esneklik katsayısı (E) 0.3-1.0 arasında değişmektedir (Spadaro, 2002).

## 2.4. NO<sub>x</sub> Kontrol Sistemleri

NO<sub>x</sub> kontrol sistemleri içerisinde Hava Kademeleme, Baca Gazı Sirkülasyonu, Yakıt Kademeleme, Düşük NO<sub>x</sub> Oluşturan Yakıcılar gibi birincil tedbirler ve Seçici Katalitik İndirgeme, Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme gibi ikincil tedbirlerin uygulandığı sistemler mevcuttur (Güven vd, 2008; EPA, 1998; De Nevers, 1995; Müezzinoğlu, 2000).

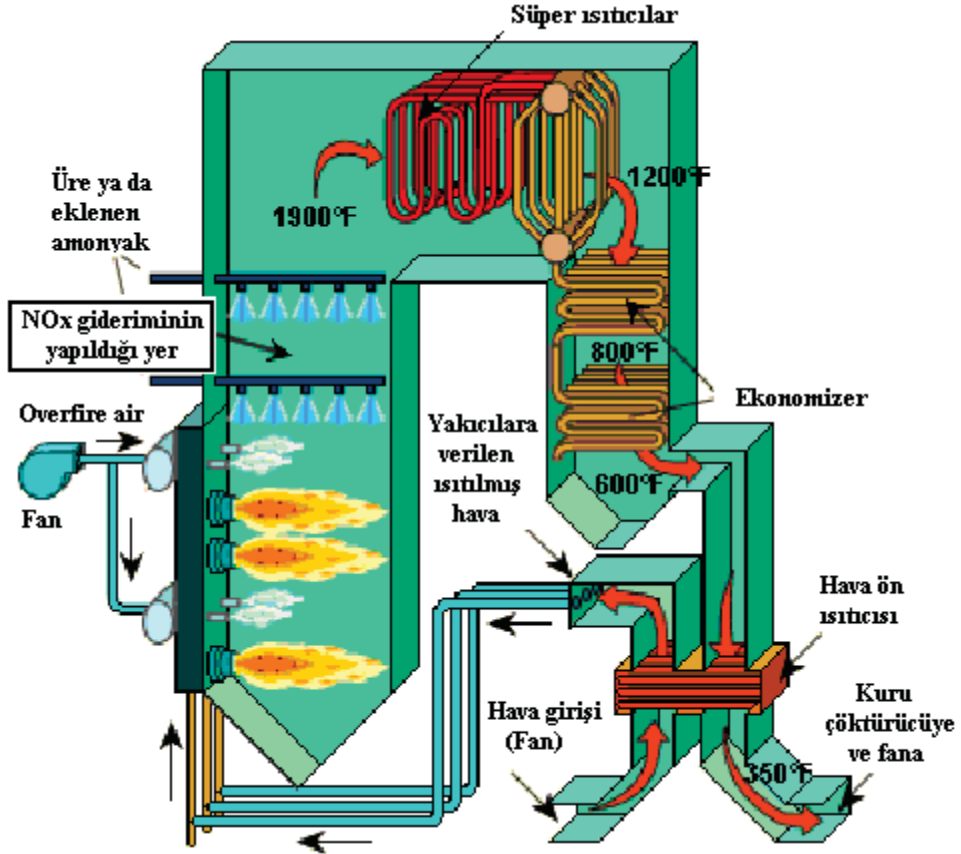
### 2.4.1. Hava Kademeleme

Hava kademeleme ile NO<sub>x</sub> giderimi, kazan içinde iki ayrı yakma bölgesinin oluşturulmasına dayanır. Az oksijenli birincil yakma bölgesi ve tam yanmanın sağlanması için fazla oksijenli ikincil yakma bölgesi. Hava kademeleme birincil yakma bölgesindeki oksijen miktarını düşürür (birincil havanın %70-90'ı bu bölgede verilir). Birincil bölgede stokiyometrik olarak gerekli havadan daha az hava verilmesi yakıttaki azotun NO<sub>x</sub>'a dönüşümünü engeller. Ayrıca termal NO<sub>x</sub> oluşumu da sıcaklığın daha düşük olması nedeniyle belli bir noktaya kadar düşürülür. İkincil bölgede ise birincil yakma havasının %10-30'u yakma bölgesinin üst kısmına enjekte edilir. Yakma bu artırılan alev hacminde tamamlanır. Sonuç olarak nispeten düşük sıcaklıklı ikincil basamak termal NO<sub>x</sub> oluşumunu engeller (Güven vd, 2008; Müezzinoğlu, 2000).

Hava kademeleme kazanlarda ve yakıcılarda çeşitli şekillerde yapılabilir. Ama bunlardan en önemlisi Over Fire Air (OFA)'dır.

Bu yöntem; yanma için kullanılan havanın yaklaşık %15-30' unun ayrılarak kazanın daha üst kısmına yerleştirilmiş hava enjeksiyon portallarından kazana verilmesine dayanmaktadır. Böylece ana yakma sistemindeki brülörlerde, yanma çok düşük fazla hava oranı ile gerçekleştirildiğinden NO<sub>x</sub> oluşumu azalmaktadır. Yanma için kullanılan toplam havanın %15-30 u daha sonra tekrar kazanın üst kısmında bulunan portallardan tekrar kazana gönderilir ve yanma tamamlanır. OFA sisteminin, düşük NO<sub>x</sub> sağlayan yakma sistemlerine uygulanmasıyla performans artmaktadır.

Hava kademeleme sisteminin iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi eğer hava nozullarının yerleri doğru değilse önemli miktarda CO oluşmaktadır. İkincisi ise OFA sisteminin sonradan uygulanması durumunda yanma bölgesi sonu ile ilk ısı değiştirici arasındaki mesafe azaldığından yanmamış karbon miktarı artmaktadır. Bir seçici katalitik indirgeme prosesindeki OFA sistemi Şekil 2.3.' te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Bir seçici katalitik indirgeme prosesindeki OFA sistemi

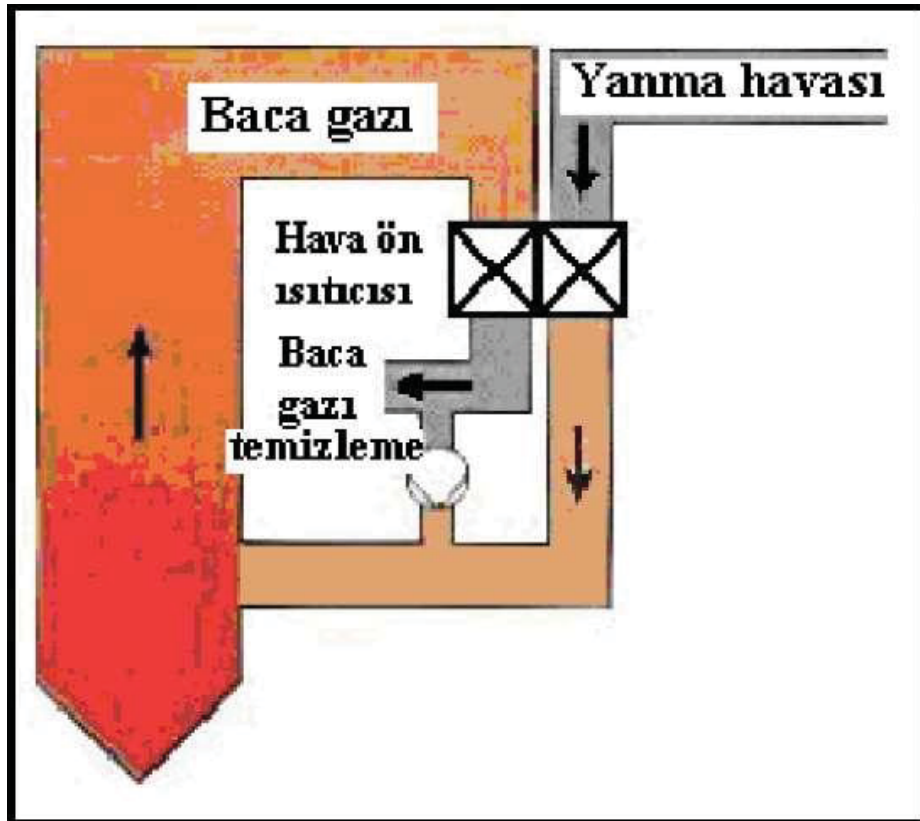
#### 2.4.2. Baca Gazı Sirkülasyonu

Bacadan çıkan ve daha düşük sıcaklıkta olan gazın, yanma havasıyla karıştırılması ile alev sıcaklığı düşmekte ve gazdaki oksijen miktarı azalmıştır. Böylece yakıttaki azottan kaynaklanan NO<sub>x</sub> ve termal NO<sub>x</sub> oluşumu azaltılmaktadır. Alevin kararlılığı ve net ısı verimindeki düşüş, baca gazı sirkülasyon oranını sınırlamaktadır. Sirkülasyon oranının yaklaşık olarak %20 -30 olması uygun sonuçlar

vermektedir. Bu yöntem gaz ve sıvı yakıtlar için daha etkili sonuçlar vermektedir. Baca gazı sirkülasyonunun aşamaları Şekil 2.4.'te görülmektedir (Güven vd,2008; EPA, 1998; De Nevers, 1995; Müezzinoğlu, 2000).

Sirküle edilen baca gazı yaklaşık 350-400 °C civarındadır. Hava ön ısıtıcısından sonra toplam gazın yaklaşık %20-30'u ayrılır ve yanma ile karıştırılarak tekrar yakıcıya verilir. Bu gazı yakıcıya vermek için özel olarak tasarlanmış brülörler gerekir. Havaya karıştırılacak baca gazı miktarını iyi ayarlamak gerekmektedir. Eğer aşırı miktarda baca gazı karıştırılırsa bu durumda bazı işletme sorunları ile karşılaşılabilir.

Kükürt içeren yakıt yakıldığında korozyon problemleri ve baca gazında sıcaklığın artmasından dolayı verim kaybı, vantilatörlerde artan enerji kullanımı gibi nedenlerden dolayı işletmeciler genel olarak %30 dan fazla baca gazı sirkülasyonu yapmazlar ve hala azaltılmayan NO<sub>x</sub> miktarını geliştirilmiş "düşük NO<sub>x</sub> oluşturan yakıcılar" kullanarak gidermeye çalışırlar.



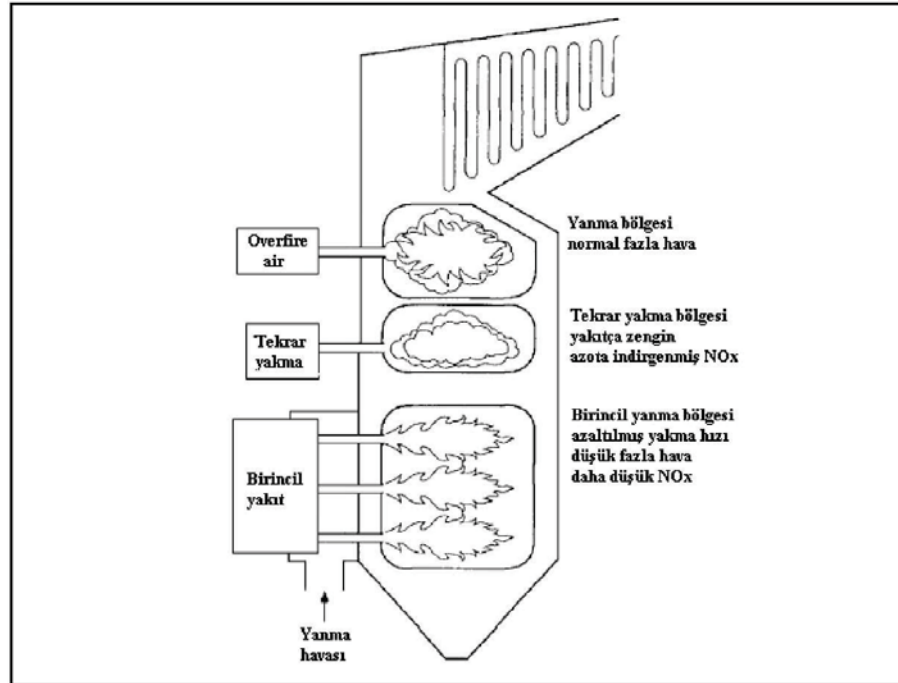
Şekil 2.4 .Baca gazı sirkülasyonu



### 2.4.3. Yakıt Kademeleme

NO<sub>x</sub> miktarının azaltılmasında, genel olarak havanın ve yakıtın kademeli olarak kullanılması etkin rol oynamaktadır. Yakıt kademelendirilmesinde amaç, oluşan azot oksitlerini tekrar azot gazına indirmektir (Güven vd, 2008; EPA, 1998; De Nevers, 1995; Müezzinoğlu, 2000).

Bu sistemde yanma üç ayrı bölgede yapılmaktadır: İlk yanma bölgesi (yakıtın %70-90 kısmı bu bölgeye beslenmektedir); tekrar yanma bölgesi (yakıtın %10-30 kısmı bu bölgeye beslenmektedir); tam yanma bölgesi (yakıtın yanması, verilen ek hava ile bu bölgede tamamlanmaktadır). Şekil 2.5.'te üç ayrı yanma bölgesi gösterilmiştir. İlk yanma bölgesinde yanma normal hava-yakıt oranlarıyla gerçekleştirilmektedir. Tekrar yanma bölgesinde, sisteme eklenen yakıt "yakıtça zengin" koşulların oluşmasını sağlayarak indirgen bir bölge oluşturmakta ve daha önce oluşan NO<sub>x</sub> burada azot gazına indirgenmektedir. Son bölgede ise OFA sistemiyle hava eklenerek yanmanın tamamlanması sağlanmaktadır. Bu yöntem, özellikle doğal gaz kullanan tesislerde NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasında ideal sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.5. Baca gazı sirkülasyonu

#### **2.4.4. Düşük NO<sub>x</sub> Oluşturan Yakıcılar**

Düşük NO<sub>x</sub> oluşturan yakıcı sistemleri NO<sub>x</sub> kontrolünde önemli bir teknolojik seviyeye ulaşmıştır. Ancak bu konudaki önemli araştırmalar ve çalışmalar halen devam etmektedir. Bu sistemlerin dizayn ayrıntıları üreticiden üreticiye değiştiği için bu bölümde sadece genel prensipler verilecektir (Güven vd, 2008; EPA, 1998; De Nevers, 1995; Müezzinoğlu, 2000).

Düşük NO<sub>x</sub> oluşturan yakıcı sistemleri, yakıt ve havayı yanma odasına üflerken yakıt/hava oranını kontrol ederek kademeli yanmanın sağlanması prensibine dayanmaktadır. Düşük alev sıcaklığı ve alevin belli bölümlerinde oksijen konsantrasyonunun azaltılması, NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltmaktadır. Yakıcıda kademeli yanma gerçekleştirilmektedir. Yakıt/hava oranının kontrol edilebilmesi için yakıcıda kanallar bulunmaktadır. Yakıt/hava oranının ayarlanması ile öncelikli olarak yakıt kaynaklı NO<sub>x</sub> oluşumunun minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Yakıcı sistemi dizaynı ile "yakıtça zengin bölgeler" oluşturulmaktadır. Bu bölgelerde yakıtta bulunan azot oksijenle oksitlenerek NO<sub>x</sub> oluşturmak yerine yakıtça zengin indirgen bölgelerde indirgenerek doğrudan azot gazına dönüşmektedir.

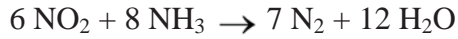
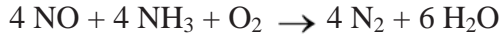
#### **2.4.5. Seçici Katalitik İndirgeme (SKİ)**

Seçici katalitik indirgeme günümüzde en etkili NO<sub>x</sub> indirgeme yöntemi olarak kabul edilmektedir. NO<sub>x</sub> emisyonlarını % 80-95 oranında azaltmaktadır. Avrupa, ABD ve Japonya'da büyük yakma tesislerinde NO<sub>x</sub> emisyonlarının kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Seçici katalitik indirgeme" prosesinin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir (Güven vd, 2008; EPA,1998; De Nevers, 1995; Müezzinoğlu, 2000).

Seçici katalitik indirgeme işletme sıcaklığı 300-450 °C olan bir katalizör yatağında yapılır. Gaz veya sıvı amonyak baca gazı akımına enjekte edilir. Amonyak, katalizör yüzeyinde absorbe edilir.

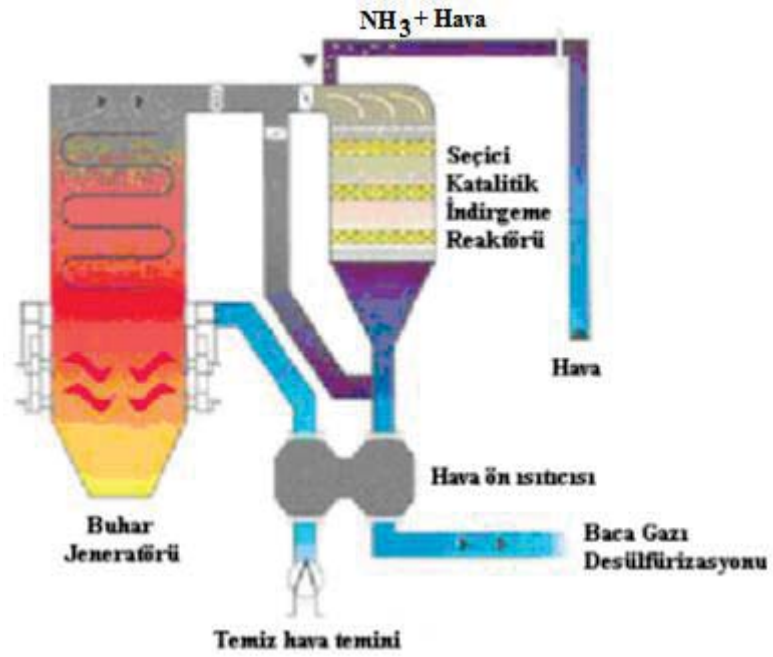
Katalizör olarak bazik metal oksitler ( $Ti_2O_5$ ,  $V_2O_5$  gibi), zeolitler, demir oksitler veya aktif karbon kullanılır. Aktif karbon kullanıldığında işletme sıcaklığı 100-220 °C arasında olmalıdır. Bu nedenle termik santrallarda sadece "tail-end" uygulamasında kullanılır.

Amonyak katalizör yüzeyinde oksijenli ortamda  $NO_x$  ile reaksiyona girer ve sonuçta aşağıdaki reaksiyonlar sonucunda su ve azot gazı oluşur.



Tipik bir "seçici katalitik indirgeme prosesi"nin çalışma prensibi Şekil 2.6.'da verilmiştir. Amonyak yerine indirgen olarak üre de kullanılabilir. Ancak, ürenin sıvı amonyaktan pahalı olması nedeni ile kullanımını yaygın değildir.

Sıvı amonyak önce ısıtılarak gaz haline getirilir ve hava ile birlikte sisteme nozullar yardımı ile verilir. Katalizör sisteminde  $NO_x$  ile amonyak karışımının çok iyi olması gereklidir. Ayrıca,  $NO_x$  gideriminin yüksek ve baca gazında reaksiyona girmeden çıkan amonyak miktarının çok düşük olması için gaz içindeki  $NH_3/NO_x$  oranının iyi ayarlanması gereklidir. Katalizörlerin ömrü de bu proseste önemlidir. Katalizör ömrü kömür yakan tesislerde 6-10 yıl, fuel oil ve doğal gaz yakan tesislerde 8-12 yıl arasındadır.

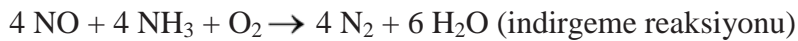


Şekil 2.6. Seçici katalitik indirgeme prosesi

#### 2.4.6. Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SKOI)

Seçici katalitik olmayan indirgeme teknolojisi, yanma sırasında oluşan  $\text{NO}_x$ 'ın giderilmesi için kullanılan ikincil bir prosestir. Yatırım ve işletme maliyeti "seçici katalitik indirgeme" prosesinden daha düşük, uygulaması daha basit bir prosestir. Katalizör kullanılmadan, 850-1100 °C arasında çalışır. Ancak bu sıcaklık aralığı, indirgen olarak kullanılan kimyasala (amonyak, üre veya kostik amonyak) göre değişir. Tüm yakıtlar için kullanılabilir ve % 30-50  $\text{NO}_x$  giderimi sağlar (Güven vd, 2008; EPA, 1998; De Nevers, 1995; Müezzinoğlu, 2000).

İndirgen olarak amonyak kullanıldığı zaman aşağıda verilen reaksiyonlar aşağı yukarı eş zamanlı olarak meydana gelir:



İstenmeyen yan reaksiyon:

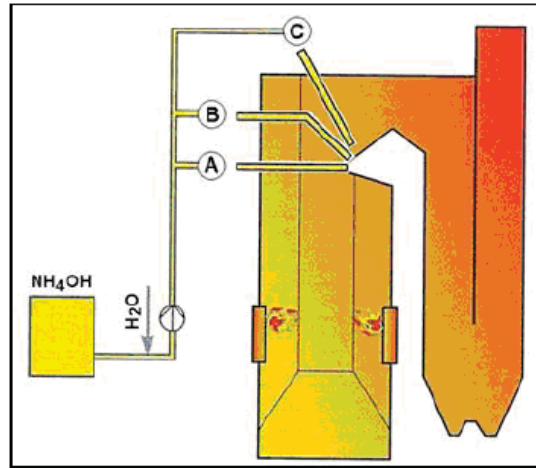


Düşük sıcaklıklarda her iki reaksiyon da yavaştır. Yüksek sıcaklıklarda da istenmeyen oksidasyon reaksiyonu baskın gelir ve fazladan azot oksitleri oluşur. Gerekli olan sıcaklık aralığını ayarlamak için amonyağı değişik noktalardan enjekte etmek gereklidir. Böyle bir sistem şematik olarak Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Yüksek indirgeme verimi elde etmek için enjekte edilen amonyak ve baca gazı içindeki  $NO_x$ 'ın çok iyi karışması gereklidir. Bu konuda karışımı da etkileyen en önemli parametrelerden biri enjekte edilen amonyak damlalarının büyüklüğüdür. Damlalar küçük olduğunda hemen buharlaşır ve yüksek sıcaklıkta reaksiyona girer. Dolayısıyla indirgeme verimi daha iyi olur. Damlaların büyük olması buharlaşmayı ve dolayısı ile reaksiyonu yavaşlatır.

Seçici katalitik olmayan indirgemedede “Exxon tarafından geliştirilen DeNOx prosesi” ve ”EPRI” tarafından geliştirilen “NOxOUT prosesi” olmak üzere iki proses vardır.

Exxon tarafından geliştirilen DeNOx prosesi gaz fazda homojen reaksiyona dayanır. Sıcak kirli gaza amonyak enjekte edilir. İndirgeme sıcaklıkları 850-1200 °C arasındadır.

EPRI tarafından geliştirilen NOxOUT proste DeNOx prosesinden farklı olarak amonyak yerine üre kullanılır. Üre için spesifik sıcaklık aralığı 982-1490 °C'dir.



Şekil 2.7. Seçici katalitik olmayan indirgeme prosesi

Literatürde verilen  $NO_x$  kontrol teknolojilerinin birincil ve ikincil özellikleri özet olarak Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3.'te verilmiştir (Güven vd, 2008; EPA, 1998; De Nevers, 1995; De Nevers, 1995).

Çizelge 2.2. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için uygulanan birincil tedbirlerin genel özellikleri

Birincil Tedbir		Genel NO <sub>x</sub> Giderim Oranı	Genel Uygulanabilirlik	Uygulanabilirlik Kısıtlamaları
Düşük ek hava		% 10-44	Tüm yakıtlar	Eksik yanma
Kazanda hava kademeleme	Servis dışı yakıcı (BOOS)	% 10-70	Genel olarak sadece retrofit için gaz ve petrol yakan tesisleriyle kısıtlı	Eksik yanma (sonuç olarak yüksek CO ve yanmamış karbon seviyeleri) 'BOOS', 'BBS' ve 'OFA' için geçerlidir
	Eğimli yakıcıda yakma (BBF)		Sadece retrofit için tüm yakıtlar	
	Overfire air (OFA)		Tüm yakıtlar	
Baca Gazı Sirkülasyonu		% 20-50 Kömür yakan kazanlar için % 20'den daha az ve OFA ile kombine edilmiş gaz yakan tesisler için % 30-50	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği
Düşürülmüş ön hava ısıtma		% 20-30	Kömür yakan ıslak tabanlı kazanlar için uygun değil	
Yakıt kademeleme (yeniden yakma)		% 50-60 (birincil yakma bölgesinde oluşan NO <sub>x</sub> 'un % 70-80'i düşürülebilir)	Tüm yakıtlar	
Düşük NO <sub>x</sub> Yakıcı (LNB)	Hava kademeleme	% 25-35	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği Eksik yanma
	Kirli Gaz Sirkülasyonu	% 20'ye kadar	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği
	Yakıt kademeleme	% 50-60	Tüm yakıtlar	Alev dengesizliği Eksik yanma

Çizelge 2.3. NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için uygulanan ikincil tedbirlerin genel performansı

İkincil tedbir	Genel NO <sub>x</sub> Giderim Oranı	Diğer performans parametreleri	
		Parametre	Değer
Seçici Katalitik İndirgeme (SKİ)	% 80-95	Çalıştırma sıcaklığı	350-450 °C (yüksek toz) 170-300 °C (arka uç) 280-510 °C (gaz türbinleri) 200-510 °C (dizel motorlar)
		İndirgeme maddesi	Amonyak, üre
		NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> oranı	0.8-1.0
		NH <sub>3</sub> slip	< 5 mg/Nm <sup>3</sup>
		Elverişlilik	> %98
		Katalizörle SO <sub>2</sub> 'den SO <sub>3</sub> 'e dönüşme oranı	% 1.0-1.5 (arka uç)
		% elektrik kapasitesi olarak enerji tüketimi	Tüm uygulamalar için % 0.5
		Katalizördeki basınç düşüşü	4-10 (102 Pa)
Seçici Katalitik Olmayan İndirgeme (SKOİ)	% 30-50	Çalıştırma sıcaklığı	850-1050 °C
		İndirgeme maddesi	Amonyak, üre
		NH <sub>3</sub> /NO <sub>x</sub> oranı	1.5-2.5
		Elverişlilik	> %97
		NH <sub>3</sub> slip	< 10 mg/Nm <sup>3</sup>
		% elektrik kapasitesi olarak enerji tüketimi	% 0.1-0.3
		Sıcaklık aralığında bekletme süresi	0.2-0.5 s

## 2.5. NO<sub>x</sub> Kontrol Sistem Maliyetleri

Bölüm 2.4.'te tanıtilan NO<sub>x</sub> kontrol sistemlerinin maliyetleri, teknoloji türüne, NO<sub>x</sub> arıtma oranına göre yatırım ve işletme maliyetleri değişmektedir. Çeşitli NO<sub>x</sub> kontrol sistemlerine ait birim maliyetler Çizelge 2.4.'te verilmiştir (Vardar ve Yumurtacı, 2010; IEA, 2006; Avrupa Komisyonu, 2006).

Çizelge 2.4.'teki teknoloji türleri incelendiğinde en yüksek NO<sub>x</sub> arıtma oranı olan SKİ teknolojisinin diğer teknolojilere göre daha pahalı olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.4. NO<sub>x</sub> Kontrol Teknolojileri Karşılaştırmalı Maliyetleri

<b>Teknoloji</b>	<b>NO<sub>x</sub> Arıtma Oranı (%)</b>	<b>Yatırım maliyeti (\$/kWe)</b>	<b>İşletme maliyeti (mills<sup>1</sup>/kWh)</b>
Düşük NO <sub>x</sub> yakıcıları	40	9	0.32
OFA	20	8	0.66
Yeniden yakma	50	15	1.23
SKOİ	40	13	7.61
SKI	80	100	6.99
SKOI/SKI hibrit	50	45	6.44

<sup>1</sup>1 mill =0.001 \$

SKI teknolojisini linyit yakıtlı mevcut ve yeni kurulacak termik santrallara uygulamak mümkündür (Avrupa Komisyonu, 2006).

Pülverize kömür yakma tesisleri için, SKI gibi ikinci tedbirlere başlangıç tedbirlerinin birleşiminin kullanımıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltımı SKI sistemlerinin ayırma verimliliklerinin %80 ile %90 arasında değiştiği mevcut en yeni tekniklerdendir. Bugün; katalizörün ömrünü önemli ölçüde arttıran ve dolayısıyla işlemsel bedelleri düşüren kullanılmış katalizörün yeniden üretilmesi için farklı işlemler mevcuttur. Mevcut bir buhar kazanında SKI sistemi uygulamasının ekonomik fizibilitesi, tesisin yaşı yoluyla belirlenemeyen tesisin beklenen kalan ömrünün başlıca sorusudur (Avrupa Komisyonu, 2006).

SKİ ünitesinin yatırım bedelleri, ulaşılması beklenen NO<sub>x</sub> değişim oranı, amonyak slip ve baca gazı hacmi tarafından sabitlenen katalizörün hacmine bağlıdır. Katalizör güç tesislerinin maliyetleri için yürütülen maliyet tahminleri her metreküp için 10000 ile 15000 Euro arasında tahmin edilir. Verilen 1milyon hacimli bir baca gazı için SKİ ünitesinin yatırım bedeli katalizör hariç 15 milyon Euro olarak tahmin edilmiştir. İşlem maliyetinin temel etkeni yakıt özelliğinden ve SKİ şeklinden (düşük toz, yüksek toz, kuyruk ucu) azaltım etmeniyle olan arzdan, basınç kaybı yüzünden olan enerji tüketiminden ve son olarak yeniden ısıtma enerjisinden etkilenir. Harcamalar ve bakım masrafları içerisinde fiyatları en çok etkileyen faktörler, katalizör



displasmanı, araç azaltımı (amonyağın sıvı çözültisi) ve elektrik enerjisidir. Yatırım maliyetlerine tüm baca gazı kanallarının fiyatları da dahildir. (borular, katalizör kutusu, asma borusu, NH<sub>4</sub>OH ünitesini taşıyan tank, depolama sistemi, doz aleti, buharlaştırma ve karıştırma sistemi)

Baca gazı hacmi fonksiyonu olarak elektrik santrallerinden sonra SKİ ünitelerine yönelik maliyet hesapları ayrıntılı olarak Çizelge 2.5.'te verilmiştir (Avrupa Komisyonu, 2006).

Çizelge 2.5.'deki fiyatlar, 200000 m<sup>3</sup>/h, 500000 m<sup>3</sup>/h ve 1000000 m<sup>3</sup>/h baca gazı hacmi, 500 mg/N.m<sup>3</sup> ham gaz konsantrasyonu, (temel yöntemler kullanılarak ulaşılmıştır) ve 350 mg/N.m<sup>3</sup> üreten SKİ birimlerine göre hesaplanmıştır. Her iki durumda da temiz gaz konsantrasyonu 100 mg/N.m<sup>3</sup> varsayılmıştır.

**Çizelge 2.5. Baca gazı hacmi fonksiyonu olarak SCR ünitelerine yönelik maliyet hesapları**

<b>Değişken</b>	<b>Baca gazı 200000</b>	<b>Hacmi 500000</b>	<b>(Nm<sup>3</sup>/s) 1000000</b>
Düşürülecek NO <sub>x</sub> Konsantrasyonu (g/Nm <sup>3</sup> )		0.25-0.4	0.25-0.4
İşletim saatleri (saat/yıl)	5000	5000	5000
Azaltılmış yük (ton/yıl)	250-400	625-1000	1250-2000
Yatırım maliyetleri (Euro milyon)	4.86	9.23	15
Yıllık yeniden ödeme <sup>1</sup> (Euromilyon/yıl)	0.5	0.95	1.54
İşletim maliyetleri (Euro milyon/yıl)	0.25-0.29	0.60-0.69	1.17-1.34
Yıllık masraflar (Euro milyon/yıl)	0.75-0.79	1.56-1.64	2.72-2.88
Yıllık diğer masraflar (Euro/ton NO <sub>x</sub> )	1968-3016	1638-2488	1442-2175

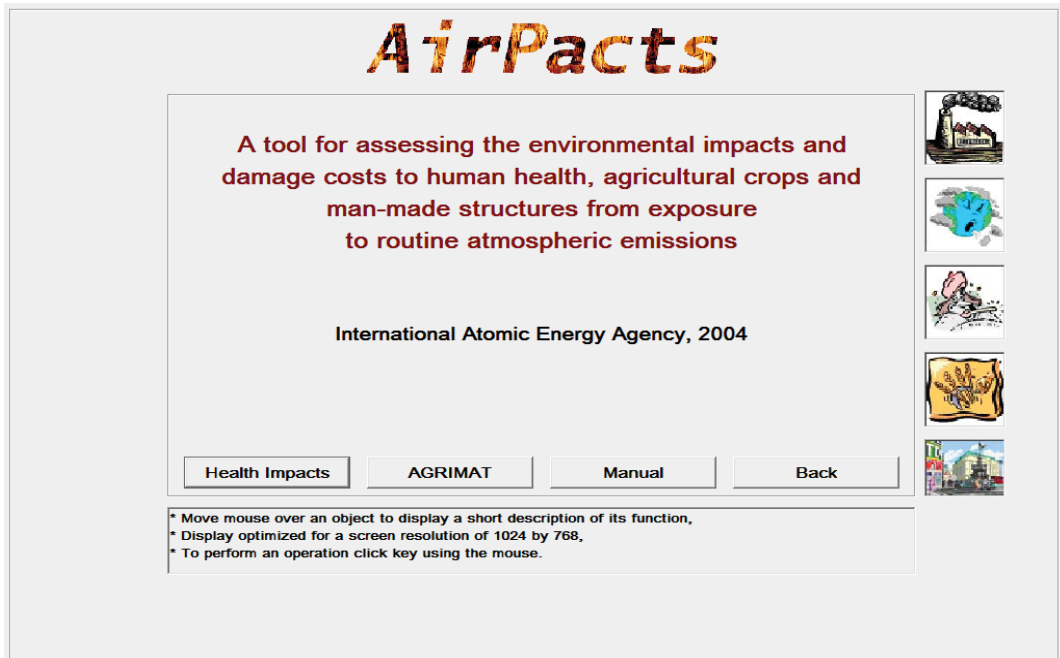
<sup>1</sup> %6 faiz oranı ile 15 yıl bazında

## 3. MATERYAL VE YÖNTEM

### 3. 1. AirPacts Programının Kullanımı

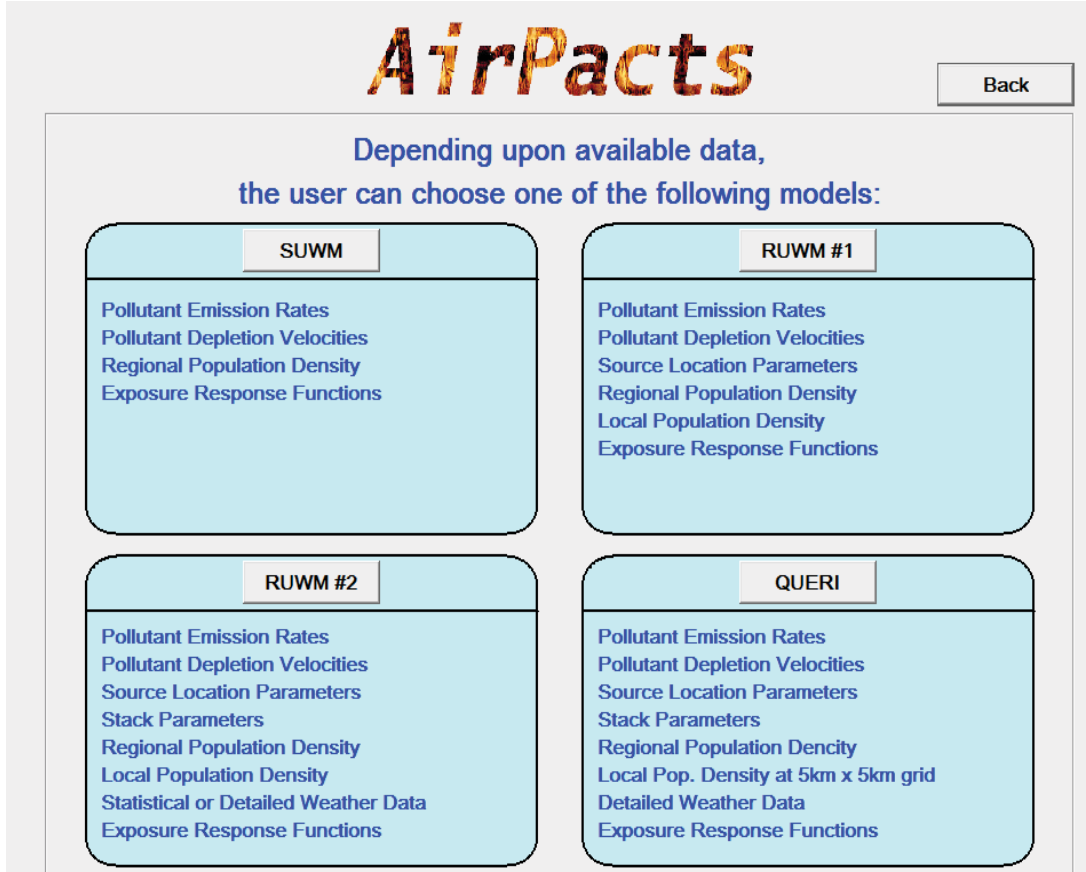
AIRPACTS Programı “Simple Uniform World Model (SUWM)”, “Robust Uniform World Model (RUWM 1 ve RUWM 2)” ve “Quick Estimation of Respiratory health Impacts (QUERI), olmak üzere dört farklı modelden oluşmaktadır. Bu modeller içerisinde en gelişmiş olan QUERI modeli lokal bazda hücre üzerinden hesap yapabilmektedir (Spadaro, 2002).

AIRPACTS programı konvansiyonel kirleticiler için sağlık etkilerini ve tarımsal etkileri ayrı ayrı modüller tarafından hesaplamaktadır. Programın ana giriş ekran görüntüsü Şekil 3.1.’deki gibidir (Spadaro, 2004).



Şekil 3.1.AIRPACTS programı ana ekranı

Şekil 3.1. ile verilen AIRPACTS programı ana ekran menüsünde “Health Impacts” butonu tıklandığında seçenek olarak program yapısında bulunan hesaplama modülleri bilgileri ekranına ulaşılır (Spadaro, 2004). Modül bilgileri ekranı görüntüsü Şekil 3.2.’de verilmiştir. Bu ekrandan görüleceği gibi çalışmanın özelliğine göre SUWM den QUERI ye kadar 4 modülden birisinin üzerine tıklanarak kullanılmak istenen modül seçilir.

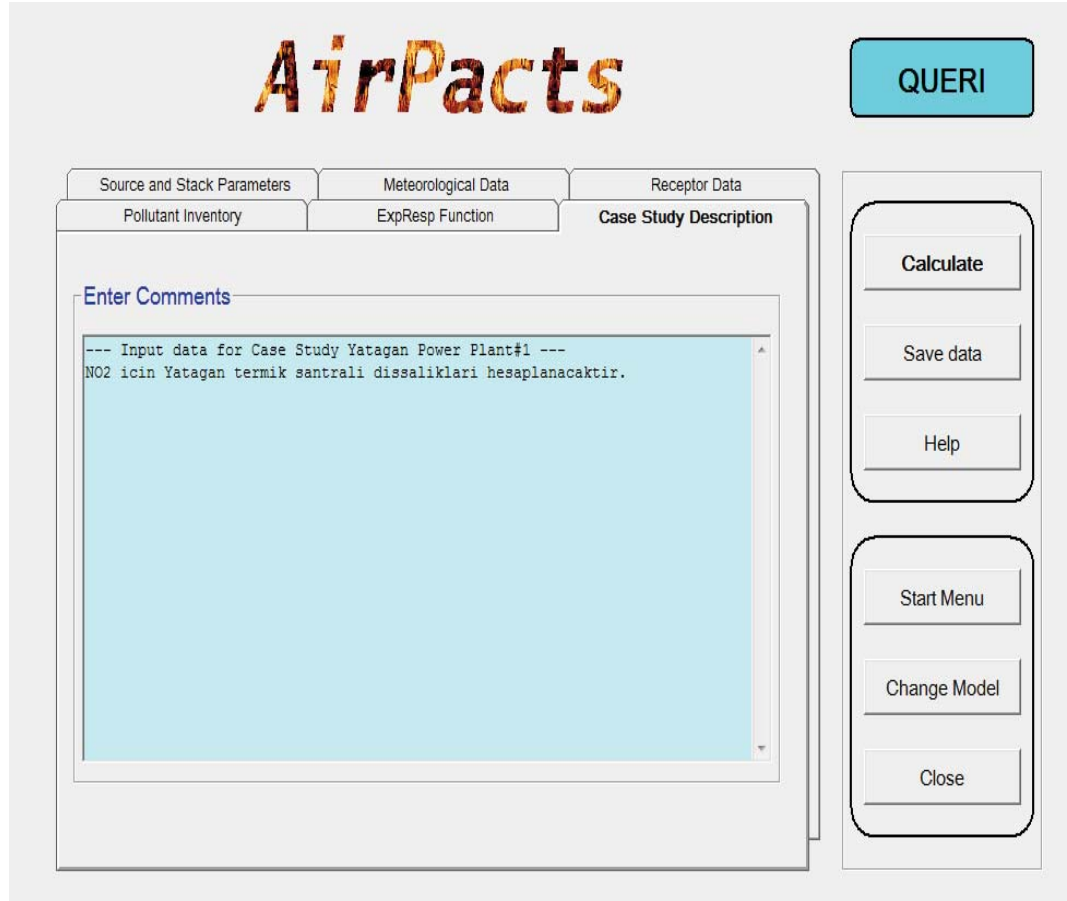


Şekil 3.2. Modül bilgileri ekranı

Örneğin Şekil 3.2.’de QUERI modülü butonuna tıklandığında Şekil 3.3.’den görüleceği gibi QUERI modülüne ait veri girişi ekranı açılır (Spadaro, 2004).

QUERI modülünde çalışmaya ait açıklamaların yapılacağı, “kirletici kaynak karakteristikleri”, “kirletici envanteri”, “meteorolojik bilgiler”, “kirleticiye maruz kalacak bölge” ve “her kirleticiye ait sağlık doz etki katsayıları ve bunlara ait parasal değerlerin bulunduğu butonlar bulunmaktadır. Bu butonlara tıklanarak açılan

ekranlardan hazırlanan çalışmanın özelliğine göre programa bilgi girişleri yapılır (Spadaro, 2004).



Şekil 3.3. QUARI modülü veri girişi ekranı

### 3. 1. 1. Kirletici kaynak karakteristikleri

Kirletici kaynak karakteristik bilgi girişlerinin yapıldığı ekran Şekil 3.4.'de görülmektedir.

Bu ekrandan kirleticinin salındığı santral bacasının yüksekliği, çapı, baca gazı çıkış hızı, baca gazı çıkış sıcaklığı ile santralin bulunduğu konum (enlem ve boylam) ve santral bölgesinin lokal olarak yerleşim türü programa tanıtılır (Spadaro, 2004; Spadaro, 2002).

The screenshot displays the 'AirPacts' software interface. At the top, the title 'AirPacts' is written in a stylized, orange and yellow font. To the right of the title is a blue button labeled 'QUERI'. Below the title, there are three tabs: 'Pollutant Inventory', 'ExpResp Function', and 'Case Study Description'. The 'Source and Stack Parameters' tab is selected, and it is divided into three sub-sections: 'Source and Stack Parameters', 'Meteorological Data', and 'Receptor Data'. The 'Source and Stack Parameters' section contains two main areas: 'Specify source location parameters' and 'Specify stack parameters'. In the 'Specify source location parameters' area, there are input fields for 'Longitude' (331,9) and 'Latitude' (37,2), and a dropdown menu for 'Source Location' set to 'Urban'. In the 'Specify stack parameters' area, there are input fields for 'Height (m)' (120,0), 'Diameter (m)' (5,8), 'Flow Velocity (m/s)' (16,0), and 'Gas Temperature (K)' (433,0). A 'Convert' button is located at the bottom right of the 'Specify stack parameters' area. On the right side of the interface, there is a vertical column of buttons: 'Calculate', 'Save data', 'Help', 'Start Menu', 'Change Model', and 'Close'.

Şekil 3.4. Kirletici kaynak yeri ve baca bilgileri ekranı

### 3. 1. 2. Kirletici envanteri

Kirletici envanter bilgi girişlerinin yapıldığı ekran Şekil 3.5.'te görülmektedir.

Bu ekrandan yıllık kirletici salınımları ve söz konusu kirleticilerin çökme hızları programa tanıtılır. Program partikül madde (PM<sub>10</sub>) azot oksitleri (NO<sub>x</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO) gibi birincil kirleticiler ve azot ve kükürt

aerosoller gibi ikincil kirleticiler içinde hesap yapabilme özelliklerine sahiptir (Spadaro, 2004; Spadaro, 2002).

Pollutants	Emission Rate tons/vr	Depletion Velocity cm/s
<input type="checkbox"/> Particles (PM10)	0	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Nitrogen oxides (NOx)	29414	1,47
<input type="checkbox"/> Sulfur dioxide (SO2)	0	0,00
<input type="checkbox"/> Carbon monoxide (CO)	0	0,00
<input checked="" type="checkbox"/> Nitrate aerosols		0,71
<input type="checkbox"/> Sulfate aerosols		0,00

Şekil 3.5. Kirletici envanteri ekranı

### 3. 1. 3. Meteorolojik veriler

Meteorolojik bilgi girişlerinin yapıldığı ekran Şekil 3.6'.da görülmektedir.

Airpacts program formatına uygun olarak hazırlanmış meteorolojik veri dosyası programa bu ekrandan tanıtılır.

Meteorolojik veri dosyası çalışma yılına ait saatlik olarak rüzgar yönü, rüzgar hızı ve hava sıcaklığından oluşmaktadır. Program 16 rüzgar yönünde işlem yapabilme kapasitesine sahiptir (Spadaro, 2004; Spadaro, 2002).

Kirleticilerin çevreye dağılım hesaplarında kirletici kaynak uzaklıklarına bağlı olarak dağılım katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Dağılım katsayıları da atmosferik kararlılık sınıflarına bağlıdır.

Airpacts Programı, deneysel veriler üzerinde çalışmalar yapan Pasquill atmosferik kararlılık koşullarını kullanmaktadır. Pasquill atmosferik kararlılık koşulları A (Çok Kararsız), B (Kararsız), C (Hafifçe Kararsız), D (Nötral), E (Hafifçe Kararlı), F (Kararlı) ve G (Çok Kararlı) olmak üzere 7 ana grupta toplamıştır (Spadaro, 2004; Spadaro, 2002).

Pasquill kararlılık sınıfları, Airpacts programına girdi olarak tanıtılan meteorolojik veri dosyasındaki bilgilerden hesaplanmaktadır.

The screenshot displays the AirPacts software interface. At the top, the 'AirPacts' logo is prominently displayed in a stylized orange and yellow font. To the right of the logo is a blue button labeled 'QUERI'. Below the logo, the interface is organized into several sections. A horizontal tab bar contains three tabs: 'Pollutant Inventory', 'ExpResp Function', and 'Case Study Description'. The 'ExpResp Function' tab is currently selected. Underneath this tab, there are three sub-sections: 'Source and Stack Parameters', 'Meteorological Data', and 'Receptor Data'. The 'Meteorological Data' section is the primary focus, containing a 'Detailed Meteorological Data' area. This area includes a checkbox labeled 'I have detailed meteorological data', an input field for 'Anemometer Height (m)' with the value '10,0', a 'Meteo Filename:' input field with the text 'yataganMeteo.dat', and a 'File' button. Below these fields is another checkbox labeled 'Check here if Pasquill class and mixing height data are included in the Input file'. At the bottom of this section, there is a blue hyperlink: 'Click here for examples of input meteo files'. To the right of the main input area, there are two vertical panels of buttons. The top panel contains three buttons: 'Calculate', 'Save data', and 'Help'. The bottom panel contains three buttons: 'Start Menu', 'Change Model', and 'Close'.

Şekil 3.6. Meteorolojik bilgiler ekranı

### 3. 1. 4. Kirleticiye maruz kalınan bölge bilgileri

Şekil 3.7.'de kirleticiye maruz kalınan bölge bilgileri ekranı verilmiştir.

Airpacts program formatına uygun olarak hazırlanmış kirletici bölgesinin nüfus dağılımı programa bu ekrandan tanıtılır (Spadaro, 2004; Spadaro, 2002).

Program birincil kirleticilerin etkin olduğu lokal bölge ve daha çok ikincil kirleticilerin etkisinin görüldüğü bölgesel alanlardan oluşmaktadır.

Kirletici bölgesinin nüfus dağılımı lokal olarak kaynak merkezde olmak üzere  $5 \times 5 \text{ km}^2$ 'lik 400 yerleşim hücresinden oluşmaktadır. Bölgesel alan ise lokal alanın sınırının bittiği yerden başlayarak sınırı  $10000 \text{ km}^2$ 'lik bir alanı kapsamaktadır (Spadaro, 2004; Spadaro, 2002).

The screenshot displays the 'AirPacts' software interface. The title bar features the 'AirPacts' logo and a 'QUERI' button. The main window is divided into several sections: 'Pollutant Inventory', 'ExpResp Function', and 'Case Study Description'. The 'Receptor Data' section is currently active, showing a form for 'Regional Population Density and Detailed Local Population'. This form includes three input fields: 'Regional Population (pers/km2)' with a value of 85,4, 'Local Population (pers/km2)' with a value of 45, and 'Radius of Local Domain (km)' with a value of 56. Below these fields is a 'Pop Filename' field containing 'YataganPOP.dat', and two buttons: 'Save to Excel' and 'File'. To the right of the main window is a vertical toolbar with buttons for 'Calculate', 'Save data', 'Help', 'Start Menu', 'Change Model', and 'Close'.

Şekil 3.7. Kirleticiye maruz kalan bölge bilgileri ekranı

### 3. 1. 5. Sağlık doz etki katsayıları ve parasal değerleri

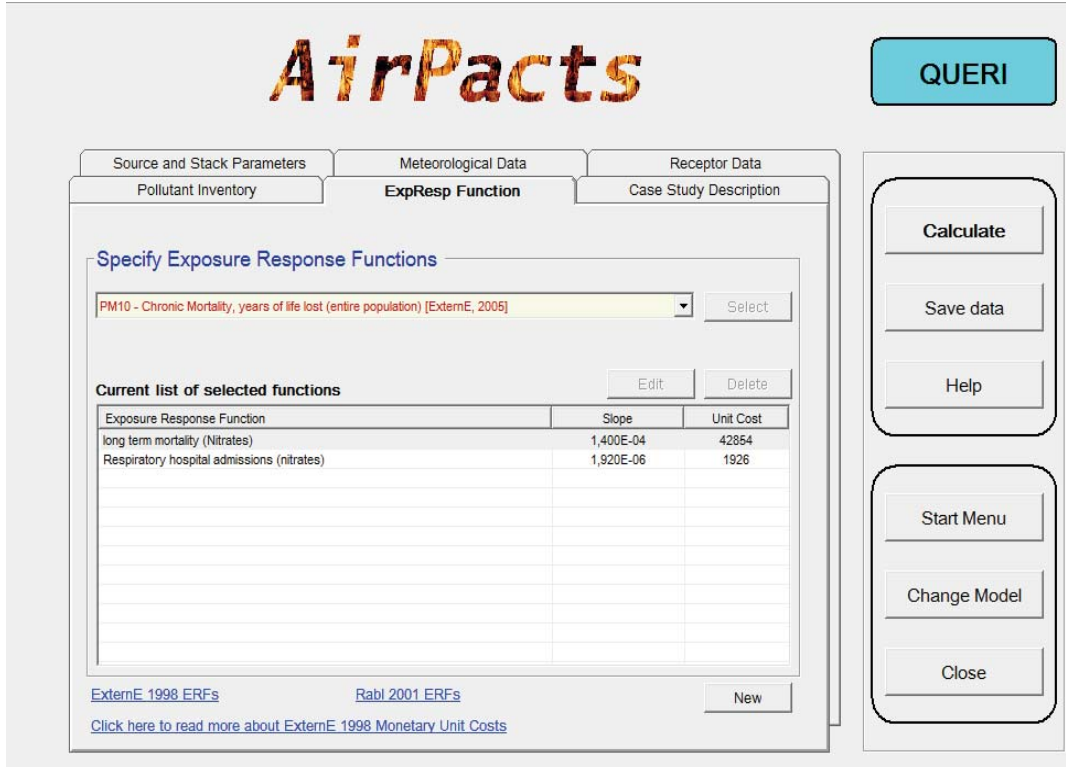
Sağlık doz etki katsayıları ve parasal değerleri bilgileri ekranı Şekil 3.8.'de görülmektedir (Spadaro, 2004). Çeşitli sağlık etkilerine ait sağlık doz etki katsayıları



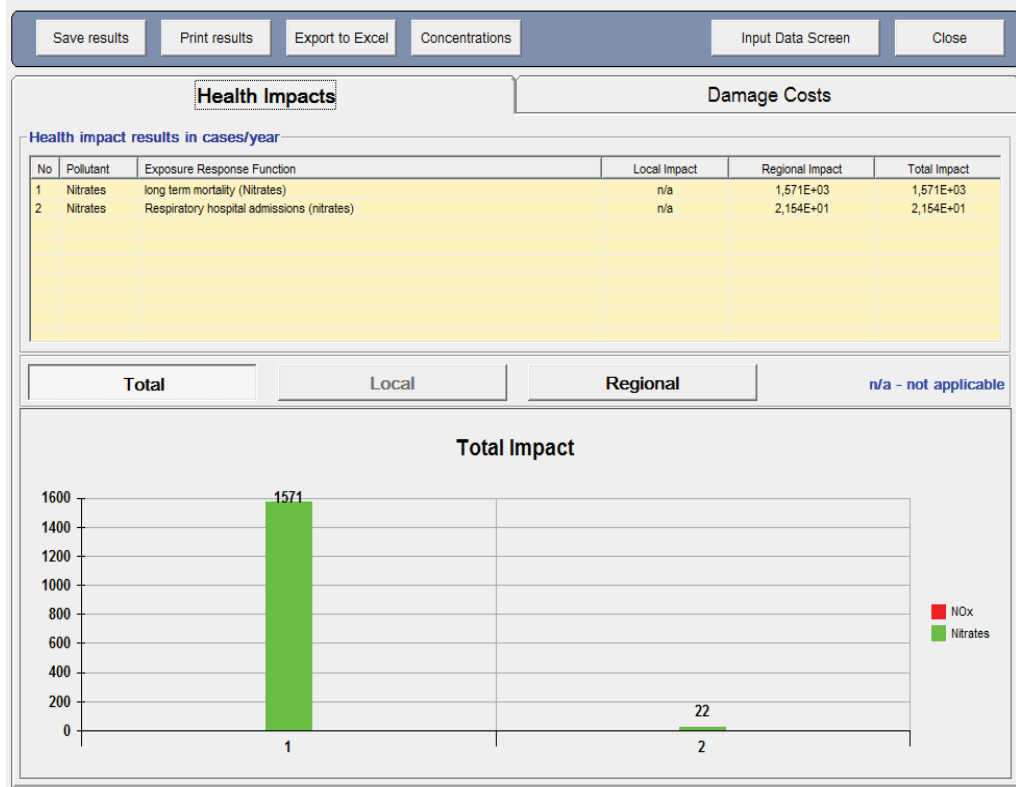
(Spadaro, 2002) ve bu etkilerin parasal değerleri (Spadaro, 2002) programın veri tabanında kullanılan tüm birincil ve ikincil kirleticiler için bulunmaktadır.

Herhangi bir kirleticinin neden olduğu sağlık etkisine ve bu etkinin parasal değerleri programa “manual” olarak da tanıtılabilmektedir (Spadaro, 2004).

Tüm hesaplar yapıldıktan sonra program çıktı bilgileri ekranı Şekil 3.9.’daki gibi oluşmaktadır (Spadaro, 2004).



Şekil 3.8. Sağlık doz etki katsayıları ve parasal değerleri bilgileri ekranı



Şekil 3.9. Çıktı bilgileri ekranı

### 3.2. Airpacts Programı ile Muğla Bölgesi Termik Santrallarının Sağlık Açısından Dışsal Maliyetlerinin Hesaplanması

Türkiye linyit rezervlerinin önemli bir kısmına sahip Muğla'da, ısıl değerleri düşük söz konusu linyit rezervlerini değerlendirmek üzere Yatağan (3x210), Yeniköy (2x210 MW) ve Kemerköy (3x210 MW) olmak üzere 3 adet termik santral bulunmaktadır (Yatağan Termik Santrali İşletme Müdürlüğü, 2009; Kemerköy Termik Santrali İşletme Müdürlüğü, 2009).

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinde kuruluş tarihlerinden beri partikül tutucu ve kademeli olarak da baca gazı arıtma kontrol sistemleri mevcut iken NO<sub>x</sub> önleyici kontrol sistemleri bulunmamaktadır. Termik santrallerin elektro-filtreleri ve baca gazı arıtma sistemlerinin verimlerine bağlı olarak belirli miktarlarda partikül madde (PM<sub>10</sub>) ve sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) gibi konvansiyonel kirleticiler atmosfere yayılır.

Termik santrallarda, NO<sub>x</sub> önleyici kontrol sistemleri bulunmadığından yakılan kömürün türüne göre ve kullanılan yakma teknolojilerine göre açığa çıkan NO<sub>x</sub> in tamamı atmosfere salınmaktadır.

Üç termik santral de Pulvarize Kömür Yakma Sistemi (PKY) ile çalışmaktadır. Santrallara ve kullandıkları linyite ait özellikler Çizelge 3.1.'deki gibidir (Yatağan Termik Santral İşletme Müdürlüğü, 2009; Kemerköy Termik Santral İşletme Müdürlüğü, 2009).

**Çizelge 3.1. Santral linyitleri ve santral özellikleri (2009)**

Özellik	Yatağan	Yeniköy	Kemerköy
Santral yaşı	32	28	22
Yakıt tüketimi (Mton/yıl)	4.85	3.75	5.90
Linyit ısı değeri(kcal/kg)	1912	1750	1750
Linyitteki Sülfür oranı (%)	2.7	4.0	3.2
Linyitteki Kül oranı (%)	20	29	29
Linyitteki Nem oran (%)	36	33	32
Teknoloji	PKY	PKY	PKY

Bu tez çalışmasında Şekil 3.2.'de verilen modüller içerisinde ayrıntılı meteorolojik ve yerleşim birimleri bilgileri açısından en ayrıntılı modül olan QUERI modeli kullanılmıştır.

Çalışmada insanlar üzerindeki sağlık etkileri araştırıldığından QUERI modelinin kentsel seçeneği kullanılmıştır.

Konvansiyonel birincil kirlenici olarak her santral için NO<sub>x</sub> ve ikincil kirleniciler olarak bunların sebep olduğu ve özellikle uzun mesafelere kadar ulaşabilen azot aerosolleri hesaba katılmıştır.

Termik santralların NO<sub>x</sub> emisyon değerleri ise Elektrik Üretim Anonim Şirketinden elde edilmiş ölçülmüş değerlerdir (Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 2010).

Santralların konvansiyonel yıllık kirlenici emisyonları, ölçülmüş saatlik konvansiyonel kirlenici emisyon değerleri (Elektrik Üretim Anonim Şirketi,2010) ve tüm santralların yıllık kullanma oranlarının %75 olduğu kabul edilerek hesaplanmıştır. Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallarının 2002 ile 2010 yılları ortalamasına bakıldığında yıllık kullanma oranları sırasıyla %52, %46 ve %47 dir

(Elektrik Üretim Anonim Şirketi,2009; Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 2010). Bu tez çalışmasında Elektrik Üretim Anonim Şirketi tarafından santrallerin revizyonları durumunda yıllık kullanma oranlarının %75 ve üzeri olacağı kabul edildiğinden bu çalışmada da santral kullanma oranları için söz konusu değer alt sınırı olan %75 santral yıllık kullanma oranı olarak seçilmiştir (Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 2009; Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 2010).

NO<sub>x</sub> ve azot aerosollerinin atmosferde yayılım tükenme hızları meteorolojik koşullara göre değişiklikler göstermektedir (Spadaro, 2002). Bu nedenle Muğla bölgesine uygun meteorolojik şartlar için verilen değerler atmosferde yayılım tükenme hızları giriş verisi olarak kullanılmıştır. NO<sub>x</sub> ve azot aerosollerini için atmosferde yayılım tükenme hızları sırasıyla 0.0147 (m/s) ve 0.0171 (m/s)'dir (Spadaro, 2002).

Şekil 3.4. ve Şekil 3.5.'de verilen kirletici kaynak karakteristiklerine ve kirletici envanterine ait santral verileri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2. Termik santrallerin kirletici kaynak karakteristiklerine ve envanteri**

Santral özelliği	Yatağan	Yeniköy	Kemerköy
Baca yüksekliği (m)	120	207	320
Baca iç çapı (m)	5.80	7.82	20.5
Baca çıkışı gaz hızı (m/s)	16	17.2	22.5
Baca çıkışı gaz sıcaklığı (K)	433	433	433
NO <sub>x</sub> (kg/saat)	4477	144	85
Çökme hızı NO <sub>x</sub> (m/s)	0.0147	0.0147	0.0147
Çökme hızı Nitrate (m/s)	0.0071	0.0071	0.0071

Her termik santral bölgesi için meteorolojik verilerin programa okutulduğu meteorolojik veri dosyaları hazırlanmıştır. Meteorolojik veri dosyaları saatlik olarak, rüzgâr yönleri (16 rüzgâr yönü için), rüzgâr hızları, ortalama sıcaklıkları içermektedir.

Yatağan termik santrali için Yatağan Meteoroloji İstasyon verileri, Yeniköy termik santrali için Milas Meteoroloji İstasyon verileri ve Kemerköy termik santrali için (Milas+Bodrum) Meteoroloji İstasyonları verileri kullanılmıştır.

Meteorolojik veri dosyaları, 1975–2012 yılları ortalamalarını içermekte olup söz konusu veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden sağlanmıştır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2010).

Meteorolojik bilgi girişlerinin yapıldığı ekrandan da görüldüğü gibi (Şekil 3.6.) programa okutulan meteoroloji veri dosyalarını kullanan Airpacts programı ilgili veri dosyalarında bulunan verileri kullanarak söz konusu meteorolojik verilere göre santral bölgelerinin atmosferik kararlılık sınıflarını hesaplamaktadır.

Bu çalışmada, QUERI modelinin izin verdiği merkezde santral olmak üzere lokal olarak kenar uzunluğu 100 km'lik bir kare içerisinde 25 km<sup>2</sup>'lik kare alanlardan oluşan 400 hücrede çalışılmıştır. Her hücredeki nüfus dağılımında 2013 yılı değerleri kullanılmıştır (TUİK, 2013). Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallarının çevresinde toplam 400 hücrede sırasıyla 453472, 526477 ve 506541 kişi bulunmaktadır.

Santral merkezde olmak üzere, programın bölgesel olarak 1000 km kenar uzunluğuna sahip bir kare için hassas hesap yapabilme kapasitesi vardır.

Bu tez çalışmasında bölgesel olarak NO<sub>x</sub> salınım debisinin çok yüksek miktarlarda olmaması nedeniyle bölgesel kare alanın bir kenarının uzunluğu 300 km seçilmiş ve 100 km ile 300 km arasında kalan nüfus yoğunluğu ise santral bölgelerinde ortalama olarak 85.4 kişi/km<sup>2</sup> olarak hesaplanmış ve her santral bölgesi için bu değer bölgesel nüfus yoğunluğu olarak kullanılmıştır.

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallarına ait çevresel yerel nüfus dağılımları sırasıyla Çizelge 3.3. Çizelge 3.4. ve Çizelge 3.5.'de ilgili çizelgelerdeki yerleşim birimlerinin isimleri ise yine Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralları için sırasıyla Şekil 3.10. Şekil 3.11. ve Şekil 3.12. 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yatağan termik santrali çevresi yerel nüfus dağılımı (kişi sayısı)

(x,y) km	-47,5	-42,5	-37,5	-32,5	-27,5	-22,5	-17,5	-12,5	-7,5	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
47,5	0	0	0	341	0	0	1698	1529	1918	3535	4345	462	80	469	117	0	0	947	101
42,5	1459	1928	3064	7024	1378	2604	707	185	104	343	0	1044	1380	0	685	0	0	7063	0
37,5	7979	834	1227	66	330	396	703	304	953	1182	1062	523	208	0	2378	1190	445	0	501
32,5	554	789	1034	601	111	0	195	1766	436	2202	384	0	10211	1148	770	831	919	243	0
27,5	562	0	639	535	486		512	253	1351	24470	313	0	1241	646	2655	1519	0	699	676
22,5	410	1607	0	160	2802	1208	1200	597	0	2589	1533	321	762	4211	755	926	415	234	1191
17,5	1040	652	432	323	0	2580	111	705	597	963	116	631	387	0	0	321	605	528	477
12,5	320	502	2052	475	0	2120	103	0	514	0	0	374	1119	0	999	0	285	411	167
7,5	0	389	432	684	884	123	743	399	431	958	0	555	0	0	2212	1238	523	970	534
2,5	541	0	1202	195	1629	0	0	798	2157	1897	1048	1519	1431	0	0	206	0	1965	897
-2,5	1492	0	0	788	50141	540	226	0	382	1606	238	1348	413	0	0	0	0	47	0
-7,5	0	4,622	0	644	4497		453	272	0	1344	17707	2076	282	62635	0	0	0	0	280
-12,5	595	0	585	2075	898	196	429	0	0	376	2127	5841	1575	1606	0	0	358	441	564
-17,5	1343	1855	3794	1364	1946	1576	670	0	1074	0	885	347	4107	1014	5500	773	0	0	206
-22,5	957	621	4241	1002	780	1398	1331	278	210	0	449	324	2299	1639	2057	0	776	190	0
-27,5	0	966	0	967	2249	216	344	567	533	782	642	0	1607	1253	5198	121	687	303	298
-32,5	0	0	0	715	0	1398	1327	288	3234	386	428	342	0	0	1054	1889	0	0	0
-37,5	0	0	0	0	1299	1025	0	0	0	0	0	649	412	0	435	2666	0	2042	4342
-42,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	691	0	0	0	0	0	0	1255
-47,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

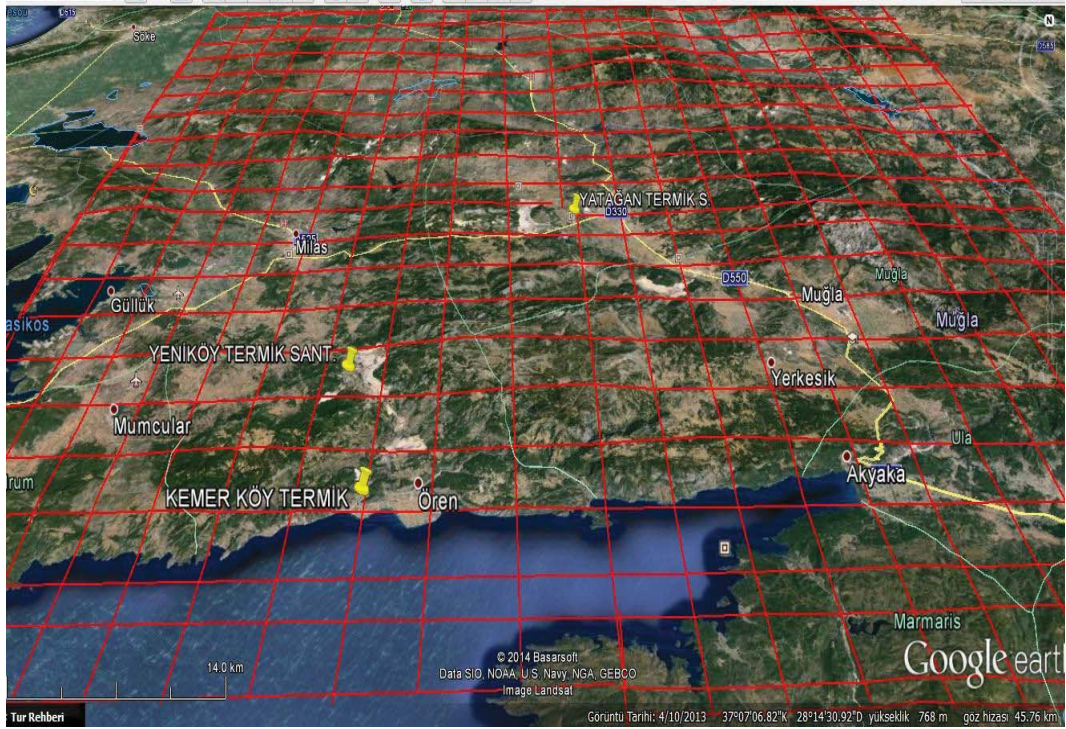
Çizelge 3.4. Yeniköy termik santral çevresi yerel nüfus dağılımı

(x,y) km	-47,5	-42,5	-37,5	-32,5	-27,5	-22,5	-17,5	-12,5	-7,5	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
47,5	0	2328	832	0	0	0	341	0	0	1698	1529	1918	3535	4345	462	146	80	469	117	101
42,5	0	697	0	1459	1928	3064	7024	1378	2604	707	185	104	343	0	1044	653	1380	0	685	0
37,5	0	0	0	7979	834	1227	66	330	396	703	304	953	1182	1062	523	208	1555	0	2378	501
32,5	0	1493	0	554	789	1034	601	111	0	195	1766	436	2202	934	0	0	10211	1148	770	0
27,5	2679	0	4402	562	0	639	535	486	512	253	24470	1351	24470	313	0	0	1241	646	2655	676
22,5	0	0	463	410	1607	0	160	2802	1208	597	0	0	2589	1533	0	762	322	4211	755	1191
17,5	0	0	0	1040	652	432	323	0	2580	111	705	597	963	116	631	313	387	0	0	477
12,5	0	0	0	320	502	2052	475	0	2120	103	0	514	0	0	374	1119	847	0	999	167
7,5	0	0	0	0	389	432	684	884	112	743	399	431	958	0	555	0	0	0	2212	534
2,5	6459	4236	0	541	0	1202	195	1629	0	0	798	2157	1897	1048	1519	1431	0	0	0	897
-2,5	8519	12761	0	1492	0	0	788	50141	540	226	0	382	1606	238	1348	413	0	0	0	0
-7,5	7090	8878	1602	0	4622	0	644	4497	540	453	272	0	1344	17707	2076	0	282	62635	0	280
-12,5	0	0	34886	595	0	585	2075	898	196	429	0	0	376	2127	5841	517	1575	1606	0	564
-17,5	0	0	0	1343	1855	3794	1364	1946	1576	670	0	1074	0	885	347	4107	1048	1014	5500	206
-22,5	630	0	0	957	621	4241	1002	780	1398	1331	278	210	0	449	0	437	2299	1639	2057	0
-27,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	233	9689	0	0
-32,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3197	451	0	0
-37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2306	0	5335	0	0	0
-42,5	0	0	0	0	0	1267	1054	0	0	936	0	0	0	0	1808	0	686	0	0	0
-47,5	0	0	709	100	796	0	10888	0	0	0	0	0	0	1188	0	675	0	0	0	0

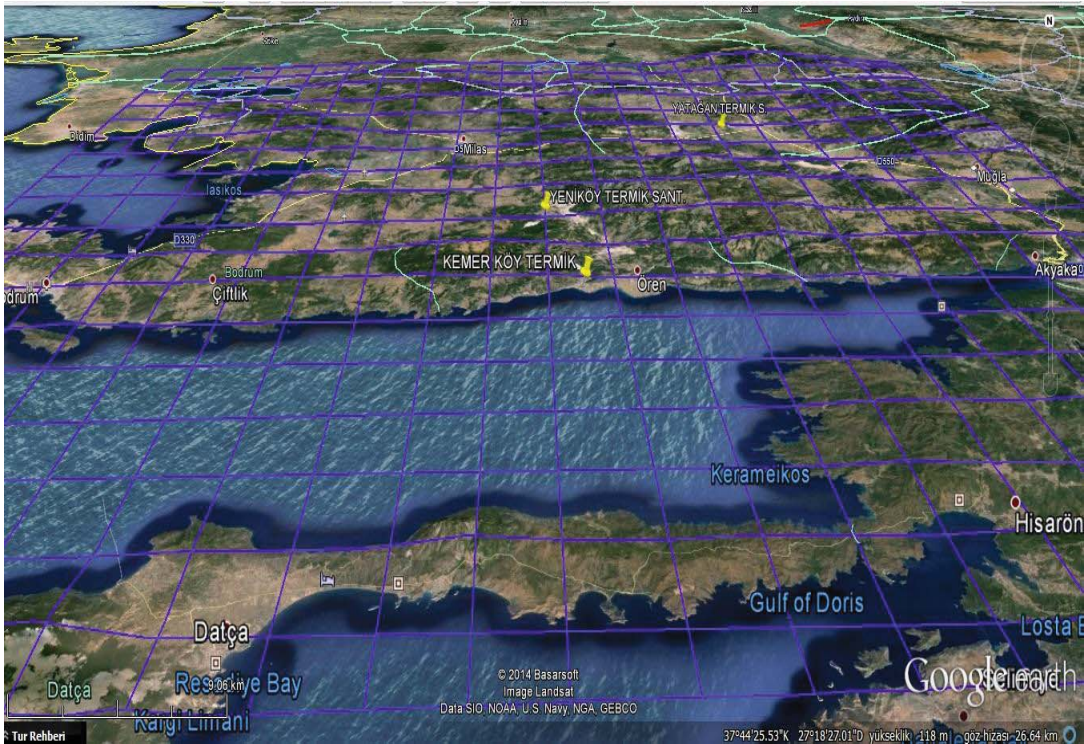
Çizelge 3.5. Kemerköy termik santral çevresi yerel nüfus dağılımı

(x,y) km	-47,5	-42,5	-37,5	-32,5	-27,5	-22,5	-17,5	-12,5	-7,5	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
47,5	0	2328	832	0	0	0	341	0	0	1698	1918	3535	4345	462	146	80	469	117	101
42,5	0	697	0	1459	1928	3064	7024	1378	2604	185	104	343	0	1044	653	1380	0	685	0
37,5	0	0	0	7979	834	1227	66	330	396	304	953	1182	1062	523	208	1555	0	2378	501
32,5	0	1493	0	554	789	1034	601	111	0	1766	436	2202	934	0	0	10211	1148	770	0
27,5	2679	0	4402	562	0	639	535	486	0	253	1351	24470	313	0	0	1241	646	2655	676
22,5	0	0	463	410	1607	0	160	2802	1208	597	0	2589	1533	112	762	322	4211	755	1191
17,5	0	0	0	1040	652	432	323	0	2580	705	597	963	116	631	313	387	0	0	477
12,5	0	0	0	320	502	2052	475	0	2120	0	514	0	0	374	1119	847	0	999	167
7,5	0	0	0	0	389	432	684	884	963	399	431	958	0	555	0	0	0	2212	534
2,5	6459	4236	0	541	0	1202	195	1629	0	798	2157	1897	1048	1519	1431	0	0	0	897
-2,5	8519	12761	0	1492	0	0	788	50141	540	0	382	1606	238	1348	413	0	0	0	0
-7,5	7090	8878	1602	0	4622	0	644	4497	269	272	0	1344	17707	2076	0	282	62635	0	280
-12,5	0	0	34886	595	0	585	2075	898	196	0	0	376	2127	5841	517	1575	1606	0	564
-17,5	0	0	0	1343	1855	3794	1364	1946	1576	0	1074	0	885	347	4107	1048	1014	5500	206
-22,5	630	0	0	957	621	4241	1002	780	1398	278	210	0	449	0	437	2299	1639	2057	0
-27,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	233	9689	0	0
-32,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3197	451	0	0
-37,5	0	0	567	656	0	796	0	0	630	0	0	2011	1188	0	0	0	0	0	0
-42,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1635	0	0	0	0	0	0
-47,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

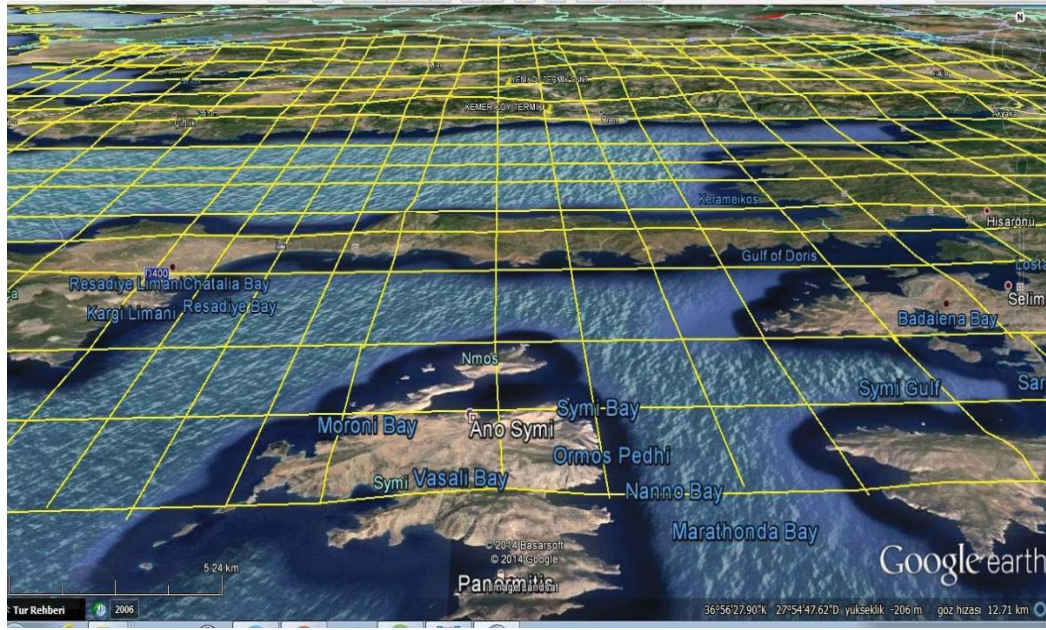




Şekil 3.10. Yatağan termik santrali çevresi yerleşim birimleri



Şekil 3.11. Yeniköy termik santrali çevresi yerleşim birimleri



**Şekil 3.12. Kemerköy termik santrali çevresi yerleşim birimleri**

Lokal ve bölgesel olarak  $\text{NO}_x$  konsantrasyonlarının neden oldukları sağlık etkilerinin belirlenmesinde kullanılacak sağlık etkisine ait doz etki katsayılarının biliniyor olması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, santral bölgelerine uygun doz etki katsayılarının belirli yaklaşımlar altında kullanılabilceği azot aerosolleri için literatürde mevcut (EUR 20198; Spadaro, 2002; Spadaro, 2002) tüm nüfus için uzun dönem ölümler ve solunum ile ilgili hastane girişleri sağlık etkilerine ait doz etki katsayıları kullanılmıştır. Diğer sağlık etkileri ile ilgili doz etki katsayısı bulunamadığı için söz konusu sağlık etkileri çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır (Spadaro, 2002; Spadaro, 2002).

Azot aerosollerinin neden olacağı tüm nüfus için uzun dönem ölümler ve solunum ile ilgili hastane girişleri sağlık etkilerine ait doz etki katsayılarının sayısal değerleri Denklem (2.16) kullanılarak hesaplanmıştır.

Denklem (2.16)'daki risk yüzdesi (IRR) değeri için ExternE projesinde (EUR 20198; Spadaro, 2002; Spadaro, 2002) verilen değerler kullanılırken, ilgili hastalığın

santral bölgesinde tekrar seviyesinin (Incidence) belirlenmesinde Muğla bölgesi için mevcut sağlık istatistiklerinden yararlanılmıştır (Sağlık Bakanlığı, 2007).

Türkiye için sağlık birim etki maliyetleri AIRPACTS programında (Spadaro; 2004, Spadaro; 2002, Spadaro; 2002) Avrupa Birliği-15 ülkeleri için 2000 yılı \$ bazında verilen sağlık etkileri birim maliyetleri kullanılarak Denklem (2.17)'den hesaplanmıştır.

$PPPGNP_{Turkey}$  ve  $PPPGNP_{EU15}$  değerleri 2000 yılı için sırasıyla 8600 \$ ve 20269 \$ dır. (Worldbank, 2012).  $E$  esneklik katsayısı ise 1 olarak seçilmiştir (Spadaro, 2002). Doz etki katsayılarının parasal değerleri ödeme istatistikleri yöntemine göre gerçekleşmektedir. Esneklik katsayısının 1 den küçük seçilmesi durumunda ödeme istekliliği değeri baz alınan ülkeye göre daha yüksek anlamına gelmektedir. Bu çalışmada esneklik katsayısının 1 seçilmesinin nedeni, kişi başına ulusal gelirler göz önüne alındığında Avrupa Birliği 15 in ulusal gelirinin Türkiye den daha yüksek olması nedeni ile Avrupa Birliği 15 ülkelerinde sağlık etkilerine halk tarafından yapılan ödeme istekliliğinin her zaman Türkiye den daha yüksek olacağı varsayılmasındandır. Eğer esneklik katsayısı 1 den küçük seçilirse, Türkiye için hesaplanan doz etki katsayılarına ait birim sağlık maliyetleri daha da yüksek olacaktır (Liun vd, 2007; Hainoun vd. 2010; Streimikiene vd, 2014; Spadaro, 2002).

Bu çalışmada  $NO_x$  kirleticilerine ait sağlık etki maliyetlerinin fizibilite çalışması düzeyinde göstermek olduğundan esneklik katsayısı bir seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan azot aerosollerinin neden olacağı tüm nüfus uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık etkilerine göre doz etki katsayıları ve bunların birim maliyetleri Çizelge 3.6.'da verilmektedir (Directive 2001/80/EC, Streimikiene, vd, 2014; Energy Policy, 2012).

Çizelge 3.6.'daki verilerin, AirPacts programına girişi Sağlık doz etki katsayıları ve parasal değerleri bilgileri ekranından yapılmaktadır (Şekil 3.8.).

**Çizelge 3.6.  $NO_x$  aerosollerine ait doz etki katsayıları ve birim maliyetler**

Sağlık kategorisi	Doz Etki Katsayısı olay (yıl.kişi. $\mu g/m^3$ )	Birim maliyet (\$2000/vaka)
Uzun dönem ölümler	$1.40 \times 10^{-4}$	42854
Solunum yetmezliği	$1.92 \times 10^{-6}$	1926

## 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bölüm 3 teki veriler kullanılarak, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralleri çevrelerinde hesaplanan NO<sub>x</sub> konsantrasyonları sırasıyla Çizelge 4.1. Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.' te verilmiştir.

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralleri için maksimum NO<sub>x</sub> konsantrasyonları sırasıyla (x=2.5 km, y=2.5 km ), (x=-2.5 km, y=-17.5 km ) ve (x=-2.5 km, y=-32.5 km ) uzaklıklarda 21.62 µg/m<sup>3</sup>, 0.45 µg/m<sup>3</sup> ve 0.048 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1. Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3). Yatağan termik santrali için hesaplanan maksimum NO<sub>x</sub> konsantrasyonu diğer termik santrallara göre çok daha fazladır. Bu aradaki büyük fark Yatağan termik santrali bacasından atmosfere verilen NO<sub>x</sub> salınımının diğer santrallara göre çok daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Maksimum konsantrasyonların termik santraller için farklı konumlarda oluşmasının nedeni ise meteorolojik verilerin farklılığıdır.

Santral merkezlerinden uzaklaştıkça NO<sub>x</sub> konsantrasyonları azalmasına rağmen ikincil kirletici oluşumu azot aerosolleri etkisi yerel olarak görülmemektedir.

Tüm termik santraller için meteorolojik veri dosyaları kullanılarak hesaplanan paskal kararlılık sınıflarının dağılımları Çizelge 4.4.'te verilmiştir. Çizelge 4.4.'ten görüleceği gibi tüm santraller için en etkin paskal kararlılık sınıfı yaklaşık %45 ile F etkinliği en az olan paskal kararlılık sınıfları ise sırasıyla A ve E'dir. Santral bölgelerinin birbirlerine çok yakın olması nedeniyle paskal kararlılık sınıfları da yaklaşık olarak aynı oranlarda hesaplanmışlardır.

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralleri için NO<sub>x</sub> aerosollerinin neden olduğu sağlık etkileri ve sağlık etkilerinin parasal değerleri sırasıyla sağlık kategorilerine ve konumlarına göre Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.'daki gibi hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.1. Yatağan termik santral çevresinde hesaplanan NO<sub>x</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)**

(x,y)km	-47.5	-42.5	-37.5	-32.5	-27.5	-22.5	-17.5	-12.5	-7.5	-2.5	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	47.5	
47.5	4,65E+02	4,97E+02	5,30E+02	5,65E+02	6,02E+02	6,38E+02	6,95E+02	7,79E+02	8,61E+02	9,35E+02	1,00E+03	1,05E+03	1,09E+03	1,10E+03	1,20E+03	1,32E+03	1,40E+03	1,45E+03	1,48E+03	1,48E+03	1,48E+03
42.5	4,41E+02	5,27E+02	5,68E+02	6,12E+02	6,58E+02	7,06E+02	7,55E+02	8,62E+02	9,66E+02	1,06E+03	1,14E+03	1,21E+03	1,25E+03	1,26E+03	1,44E+03	1,57E+03	1,65E+03	1,69E+03	1,69E+03	1,69E+03	1,69E+03
37.5	4,06E+02	4,96E+02	6,06E+02	6,61E+02	7,21E+02	7,84E+02	8,49E+02	9,58E+02	1,10E+03	1,22E+03	1,33E+03	1,41E+03	1,45E+03	1,57E+03	1,77E+03	1,90E+03	1,96E+03	1,97E+03	1,97E+03	1,75E+03	1,57E+03
32.5	3,58E+02	4,49E+02	5,65E+02	7,12E+02	7,88E+02	8,72E+02	9,62E+02	1,07E+03	1,26E+03	1,43E+03	1,58E+03	1,68E+03	1,72E+03	2,00E+03	2,21E+03	2,31E+03	2,33E+03	2,05E+03	2,05E+03	1,80E+03	1,60E+03
27.5	2,94E+02	3,83E+02	5,00E+02	6,54E+02	8,57E+02	9,69E+02	1,10E+03	1,23E+03	1,46E+03	1,71E+03	1,92E+03	2,06E+03	2,21E+03	2,61E+03	2,80E+03	2,84E+03	2,44E+03	2,44E+03	2,11E+03	1,83E+03	1,61E+03
22.5	2,12E+02	2,93E+02	4,04E+02	5,57E+02	7,71E+02	1,07E+03	1,25E+03	1,45E+03	1,73E+03	2,11E+03	2,43E+03	2,60E+03	3,09E+03	3,49E+03	3,60E+03	2,99E+03	2,52E+03	2,52E+03	2,14E+03	1,84E+03	1,60E+03
17.5	1,90E+02	1,83E+02	2,73E+02	4,10E+02	6,16E+02	9,28E+02	1,41E+03	1,72E+03	2,07E+03	2,70E+03	3,23E+03	3,52E+03	4,52E+03	4,79E+03	3,81E+03	3,08E+03	2,54E+03	2,54E+03	2,12E+03	1,81E+03	1,67E+03
12.5	2,68E+02	2,79E+02	2,85E+02	2,81E+02	3,72E+02	6,50E+02	1,14E+03	2,01E+03	2,63E+03	3,61E+03	4,63E+03	5,99E+03	6,92E+03	5,11E+03	3,90E+03	3,07E+03	2,58E+03	2,31E+03	2,08E+03	1,88E+03	1,88E+03
7.5	3,51E+02	3,83E+02	4,18E+02	4,56E+02	5,13E+02	5,46E+02	5,46E+02	1,34E+03	3,34E+03	4,94E+03	7,47E+03	1,14E+04	7,33E+03	5,09E+03	4,18E+03	3,53E+03	3,03E+03	2,64E+03	2,34E+03	2,09E+03	2,09E+03
2.5	4,35E+02	4,89E+02	5,56E+02	6,42E+02	7,54E+02	9,05E+02	1,11E+03	1,37E+03	1,47E+03	7,44E+03	2,16E+04	1,19E+04	8,67E+03	6,47E+03	5,07E+03	4,12E+03	3,45E+03	2,95E+03	2,57E+03	2,27E+03	2,27E+03
-2.5	5,13E+02	5,88E+02	6,86E+02	8,18E+02	1,01E+03	1,29E+03	1,75E+03	2,60E+03	4,50E+03	9,21E+03	1,35E+04	9,95E+03	7,85E+03	6,05E+03	4,81E+03	3,95E+03	3,33E+03	2,87E+03	2,87E+03	2,51E+03	2,22E+03
-7.5	5,79E+02	6,71E+02	7,93E+02	9,60E+02	1,20E+03	1,56E+03	2,16E+03	3,24E+03	5,32E+03	9,16E+03	4,07E+03	8,37E+03	5,61E+03	3,99E+03	3,48E+03	3,07E+03	2,71E+03	2,40E+03	2,40E+03	2,15E+03	1,94E+03
-12.5	6,32E+02	7,56E+02	8,71E+02	1,06E+03	1,32E+03	1,71E+03	2,30E+03	3,23E+03	3,79E+03	9,93E+03	7,82E+03	2,54E+03	5,11E+03	3,85E+03	2,99E+03	2,39E+03	2,08E+03	1,93E+03	1,93E+03	1,79E+03	1,65E+03
-17.5	6,71E+02	7,80E+02	9,22E+02	1,11E+03	1,37E+03	1,73E+03	2,23E+03	2,55E+03	2,80E+03	8,33E+03	7,23E+03	1,47E+02	2,39E+03	3,51E+03	2,84E+03	2,33E+03	1,95E+03	1,65E+03	1,65E+03	1,43E+03	1,36E+03
-22.5	6,98E+02	8,08E+02	9,47E+02	1,13E+03	1,36E+03	1,66E+03	1,86E+03	2,04E+03	3,28E+03	6,83E+03	6,17E+03	1,48E+03	9,82E+02	2,03E+03	2,61E+03	2,20E+03	1,88E+03	1,62E+03	1,62E+03	1,41E+03	1,24E+03
-27.5	7,12E+02	8,16E+02	9,45E+02	1,11E+03	1,31E+03	1,44E+03	1,56E+03	1,66E+03	3,32E+03	5,66E+03	5,23E+03	2,12E+03	2,43E+02	1,13E+03	1,70E+03	2,04E+03	1,78E+03	1,55E+03	1,55E+03	1,37E+03	1,22E+03
-32.5	7,12E+02	8,09E+02	9,26E+02	1,07E+03	1,16E+03	1,24E+03	1,32E+03	1,64E+03	3,14E+03	4,77E+03	4,47E+03	2,30E+03	3,38E+02	5,67E+02	1,09E+03	1,44E+03	1,66E+03	1,47E+03	1,47E+03	1,31E+03	1,18E+03
-37.5	7,04E+02	7,92E+02	8,95E+02	9,60E+02	1,03E+03	1,09E+03	1,14E+03	1,77E+03	2,90E+03	4,09E+03	3,87E+03	2,28E+03	8,00E+02	2,15E+02	6,69E+02	1,00E+03	1,24E+03	1,39E+03	1,25E+03	1,13E+03	1,13E+03
-42.5	6,88E+02	7,67E+02	8,16E+02	8,65E+02	9,12E+02	9,53E+02	1,00E+03	1,79E+03	2,66E+03	3,55E+03	3,39E+03	2,18E+03	1,04E+03	1,97E+01	3,81E+02	6,84E+02	9,11E+02	1,07E+03	1,18E+03	1,08E+03	1,08E+03
-47.5	6,68E+02	7,06E+02	7,45E+02	7,82E+02	8,16E+02	8,44E+02	1,11E+03	1,75E+03	2,43E+03	3,12E+03	2,99E+03	2,06E+03	1,15E+03	3,28E+02	1,80E+02	4,51E+02	6,64E+02	8,26E+02	9,45E+02	1,03E+03	1,03E+03

**Çizelge 4.2. Yeniköy termik santral çevresinde hesaplanan NO<sub>x</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)**

(x,y)km	-47.5	-42.5	-37.5	-32.5	-27.5	-22.5	-17.5	-12.5	-7.5	-2.5	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	47.5
47.5	1,27E+01	1,24E+01	1,17E+01	1,08E+01	9,45E+00	7,70E+00	6,46E+00	6,29E+00	6,01E+00	5,63E+00	5,41E+00	5,35E+00	5,23E+00	5,06E+00	6,22E+00	8,08E+00	9,54E+00	1,06E+01	1,14E+01	1,20E+01
42.5	1,36E+01	1,45E+01	1,40E+01	1,31E+01	1,17E+01	9,81E+00	7,33E+00	7,16E+00	6,84E+00	6,38E+00	6,10E+00	6,02E+00	5,86E+00	5,62E+00	8,19E+00	1,02E+01	1,17E+01	1,28E+01	1,35E+01	1,19E+01
37.5	1,46E+01	1,56E+01	1,67E+01	1,60E+01	1,47E+01	1,26E+01	9,76E+00	8,20E+00	7,89E+00	7,32E+00	6,96E+00	6,85E+00	6,62E+00	7,85E+00	1,08E+01	1,30E+01	1,45E+01	1,54E+01	1,34E+01	1,16E+01
32.5	1,56E+01	1,68E+01	1,82E+01	1,96E+01	1,85E+01	1,65E+01	1,33E+01	9,68E+00	9,26E+00	8,54E+00	8,07E+00	7,90E+00	7,56E+00	1,11E+01	1,45E+01	1,67E+01	1,80E+01	1,52E+01	1,30E+01	1,12E+01
27.5	1,66E+01	1,81E+01	1,98E+01	2,16E+01	2,35E+01	2,17E+01	1,84E+01	1,30E+01	1,11E+01	1,02E+01	9,52E+00	9,25E+00	1,04E+01	1,59E+01	1,94E+01	2,14E+01	1,77E+01	1,47E+01	1,24E+01	1,05E+01
22.5	1,76E+01	1,94E+01	2,14E+01	2,37E+01	2,62E+01	2,90E+01	2,59E+01	1,98E+01	1,38E+01	1,25E+01	1,15E+01	1,10E+01	1,67E+01	2,30E+01	2,63E+01	2,09E+01	1,68E+01	1,37E+01	1,14E+01	9,58E+00
17.5	1,83E+01	2,06E+01	2,31E+01	2,59E+01	2,92E+01	3,29E+01	3,71E+01	3,10E+01	1,85E+01	1,59E+01	1,42E+01	1,43E+01	2,74E+01	3,37E+01	2,53E+01	1,94E+01	1,52E+01	1,22E+01	1,01E+01	1,03E+01
12.5	1,85E+01	2,09E+01	2,39E+01	2,77E+01	3,21E+01	3,71E+01	4,30E+01	4,97E+01	3,51E+01	2,13E+01	1,82E+01	3,06E+01	4,60E+01	3,13E+01	2,23E+01	1,66E+01	1,46E+01	1,47E+01	1,43E+01	1,38E+01
7.5	1,84E+01	2,09E+01	2,40E+01	2,79E+01	3,30E+01	3,99E+01	4,90E+01	5,83E+01	7,02E+01	3,20E+01	2,37E+01	6,98E+01	3,91E+01	2,46E+01	2,44E+01	2,36E+01	2,21E+01	2,04E+01	1,89E+01	1,74E+01
2.5	1,80E+01	2,05E+01	2,35E+01	2,74E+01	3,24E+01	3,91E+01	4,81E+01	6,00E+01	7,36E+01	1,04E+02	1,52E+02	5,95E+01	5,67E+01	4,80E+01	4,05E+01	3,46E+01	3,00E+01	2,64E+01	2,35E+01	2,11E+01
-2.5	1,66E+01	1,86E+01	2,11E+01	2,42E+01	2,80E+01	3,26E+01	3,79E+01	4,23E+01	3,83E+01	3,22E+01	1,83E+02	5,76E+01	5,48E+01	4,67E+01	3,96E+01	3,40E+01	2,96E+01	2,61E+01	2,32E+01	2,09E+01
-7.5	1,41E+01	1,55E+01	1,71E+01	1,87E+01	2,04E+01	2,17E+01	2,24E+01	2,80E+01	3,52E+01	2,05E+02	1,80E+02	8,49E+01	4,11E+01	2,15E+01	2,20E+01	2,19E+01	2,08E+01	1,95E+01	1,81E+01	1,69E+01
-12.5	1,16E+01	1,24E+01	1,31E+01	1,35E+01	1,49E+01	1,80E+01	2,20E+01	2,72E+01	2,46E+01	4,37E+02	4,25E+02	2,47E+01	5,61E+01	3,49E+01	2,24E+01	1,49E+01	1,27E+01	1,32E+01	1,32E+01	1,29E+01
-17.5	9,24E+00	9,43E+00	1,08E+01	1,25E+01	1,46E+01	1,73E+01	2,07E+01	1,99E+01	1,73E+01	4,50E+02	4,44E+02	1,62E+00	2,72E+01	4,11E+01	2,89E+01	2,06E+01	1,51E+01	1,12E+01	8,62E+00	9,12E+00
-22.5	8,22E+00	9,28E+00	1,06E+01	1,21E+01	1,40E+01	1,62E+01	1,61E+01	1,50E+01	1,09E+02	4,12E+02	4,08E+02	9,79E+01	1,15E+01	2,45E+01	3,21E+01	2,42E+01	1,85E+01	1,43E+01	1,12E+01	8,90E+00
-27.5	8,08E+00	9,05E+00	1,02E+01	1,15E+01	1,31E+01	1,32E+01	1,27E+01	1,16E+01	1,55E+02	3,66E+02	3,64E+02	1,47E+02	2,92E+00	1,39E+01	2,14E+01	2,61E+01	2,07E+01	1,65E+01	1,33E+01	1,08E+01
-32.5	7,86E+00	8,73E+00	9,73E+00	1,09E+01	1,10E+01	1,08E+01	1,03E+01	3,33E+01	1,71E+02	3,24E+02	3,22E+02	1,65E+02	2,44E+01	7,12E+00	1,39E+01	1,87E+01	2,19E+01	1,80E+01	1,48E+01	1,23E+01
-37.5	7,58E+00	8,35E+00	9,22E+00	9,36E+00	9,32E+00	9,05E+00	8,47E+00	6,61E+01	1,73E+02	2,88E+02	2,87E+02	1,69E+02	5,93E+01	2,75E+00	8,70E+00	1,32E+01	1,65E+01	1,88E+01	1,58E+01	1,34E+01
-42.5	7,27E+00	7,94E+00	8,07E+00	8,10E+00	7,97E+00	7,66E+00	8,58E+00	8,40E+01	1,68E+02	2,57E+02	2,56E+02	1,65E+02	7,86E+01	1,49E+00	5,02E+00	9,16E+00	1,24E+01	1,47E+01	1,64E+01	1,41E+01
-47.5	6,94E+00	7,06E+00	7,11E+00	7,07E+00	6,89E+00	6,57E+00	3,11E+01	9,32E+01	1,61E+02	2,31E+02	2,31E+02	1,58E+02	8,89E+01	2,53E+01	2,41E+00	6,11E+00	9,11E+00	1,15E+01	1,32E+01	1,46E+01

Çizelge 4.3. Kemerköy termik santral çevresinde hesaplanan NO<sub>x</sub> konsantrasyonları (µg/m<sup>3</sup>)

(s/y) km	-47,5	-42,5	-37,5	-32,5	-27,5	-22,5	-17,5	-12,5	-7,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
47,5	3,86E+00	3,67E+00	3,40E+00	3,04E+00	2,58E+00	2,03E+00	1,64E+00	1,53E+00	1,40E+00	1,20E+00	1,20E+00	1,20E+00	1,22E+00	1,26E+00	1,29E+00	1,31E+00	1,31E+00	1,30E+00
42,5	3,83E+00	4,25E+00	3,99E+00	3,62E+00	3,13E+00	2,52E+00	1,80E+00	1,68E+00	1,52E+00	1,28E+00	1,29E+00	1,29E+00	1,34E+00	1,39E+00	1,42E+00	1,43E+00	1,42E+00	1,32E+00
37,5	3,75E+00	4,18E+00	4,68E+00	4,32E+00	3,81E+00	3,13E+00	2,30E+00	1,84E+00	1,65E+00	1,36E+00	1,37E+00	1,41E+00	1,48E+00	1,53E+00	1,56E+00	1,57E+00	1,44E+00	1,33E+00
32,5	3,61E+00	4,05E+00	4,56E+00	5,16E+00	4,64E+00	3,90E+00	2,95E+00	2,02E+00	1,78E+00	1,54E+00	1,46E+00	1,55E+00	1,64E+00	1,70E+00	1,72E+00	1,58E+00	1,45E+00	1,34E+00
27,5	3,42E+00	3,85E+00	4,35E+00	4,95E+00	5,65E+00	4,87E+00	3,79E+00	2,46E+00	1,91E+00	1,60E+00	1,56E+00	1,70E+00	1,81E+00	1,88E+00	1,72E+00	1,58E+00	1,45E+00	1,33E+00
22,5	3,17E+00	3,57E+00	4,04E+00	4,60E+00	5,27E+00	6,07E+00	4,87E+00	3,27E+00	2,01E+00	1,60E+00	1,66E+00	1,87E+00	2,02E+00	1,85E+00	1,69E+00	1,56E+00	1,43E+00	1,32E+00
17,5	3,21E+00	3,25E+00	3,64E+00	4,13E+00	4,71E+00	5,40E+00	6,22E+00	4,31E+00	2,10E+00	1,47E+00	1,75E+00	2,06E+00	1,91E+00	1,77E+00	1,64E+00	1,52E+00	1,41E+00	1,43E+00
12,5	3,72E+00	3,82E+00	3,86E+00	3,83E+00	4,01E+00	4,48E+00	4,99E+00	5,55E+00	2,67E+00	1,11E+00	1,82E+00	1,80E+00	1,76E+00	1,69E+00	1,68E+00	1,74E+00	1,75E+00	1,73E+00
7,5	4,25E+00	4,44E+00	4,58E+00	4,63E+00	4,54E+00	4,20E+00	3,65E+00	3,47E+00	3,05E+00	4,96E+01	1,32E+00	1,56E+00	1,89E+00	2,10E+00	2,18E+00	2,18E+00	2,13E+00	2,05E+00
2,5	4,80E+00	5,09E+00	5,35E+00	5,55E+00	5,61E+00	5,38E+00	4,62E+00	5,09E+00	1,05E+00	2,18E+02	1,46E+00	2,24E+00	2,63E+00	2,76E+00	2,74E+00	2,65E+00	2,53E+00	2,39E+00
-2,5	4,59E+00	4,84E+00	5,06E+00	5,20E+00	5,18E+00	4,86E+00	4,03E+00	2,48E+00	6,21E+01	4,19E+02	1,19E+00	1,97E+00	2,40E+00	2,57E+00	2,58E+00	2,52E+00	2,41E+00	2,29E+00
-7,5	3,63E+00	3,70E+00	3,69E+00	3,56E+00	3,23E+00	2,62E+00	1,84E+00	1,95E+00	1,92E+00	2,75E+00	1,06E+00	7,77E+01	1,17E+00	1,50E+00	1,69E+00	1,77E+00	1,79E+00	1,77E+00
-12,5	2,70E+00	2,61E+00	2,42E+00	2,09E+00	2,07E+00	2,49E+00	2,98E+00	3,55E+00	2,19E+00	1,85E+01	2,33E+00	1,77E+00	1,30E+00	9,30E+01	8,92E+01	1,08E+00	1,20E+00	1,27E+00
-17,5	1,85E+00	1,63E+00	1,91E+00	2,28E+00	2,74E+00	3,31E+00	4,01E+00	3,19E+00	2,30E+00	3,45E+01	1,46E+00	2,63E+00	2,03E+00	1,54E+00	1,17E+00	8,77E+01	6,72E+01	8,01E+01
-22,5	1,67E+00	1,96E+00	2,31E+00	2,75E+00	3,28E+00	3,93E+00	3,47E+00	2,85E+00	1,22E+01	4,33E+01	7,37E+01	1,79E+00	2,58E+00	2,04E+00	1,61E+00	1,26E+00	9,93E+01	7,79E+01
-27,5	1,94E+00	2,26E+00	2,64E+00	3,10E+00	3,66E+00	3,40E+00	3,02E+00	2,55E+00	2,06E+01	4,71E+01	2,13E+01	1,12E+00	1,86E+00	2,41E+00	1,95E+00	1,38E+00	1,28E+00	1,04E+00
-32,5	2,16E+00	2,49E+00	2,88E+00	3,35E+00	3,20E+00	2,96E+00	2,64E+00	5,78E+00	2,57E+01	4,79E+01	3,59E+00	6,18E+01	1,28E+00	1,81E+00	2,20E+00	1,83E+00	1,51E+00	1,26E+00
-37,5	2,32E+00	2,66E+00	3,05E+00	2,96E+00	2,81E+00	2,59E+00	2,32E+00	1,15E+01	2,86E+01	4,71E+01	9,66E+00	2,53E+01	8,41E+01	1,33E+00	1,71E+00	2,00E+00	1,69E+00	1,43E+00
-42,5	2,44E+00	2,77E+00	2,72E+00	2,62E+00	2,48E+00	2,28E+00	2,30E+00	1,54E+01	3,00E+01	4,54E+01	1,38E+01	2,62E+01	5,05E+01	9,49E+01	1,31E+00	1,60E+00	1,82E+00	1,56E+00
-47,5	2,52E+00	2,49E+00	2,43E+00	2,33E+00	2,19E+00	2,02E+00	6,45E+00	1,79E+01	3,03E+01	4,33E+01	1,66E+01	4,72E+00	2,50E+01	6,51E+01	9,90E+01	1,27E+00	1,49E+00	1,66E+00

**Çizelge 4.4. Santral bölgelerine göre paskal kararlılık sınıfları**

<b>Meteorolojik özellik</b>	<b>Yatağan</b>	<b>Yeniköy</b>	<b>Kemerköy</b>
Paskal A kararlılık sınıfı (%)	0.63	1.42	1.50
Paskal B kararlılık sınıfı (%)	15.71	20.22	1.32
Paskal C kararlılık sınıfı (%)	13.21	10.51	18.48
Paskal D kararlılık sınıfı (%)	18.61	15.47	14.36
Paskal E kararlılık sınıfı (%)	6.13	6.52	4.83
Paskal F kararlılık sınıfı (%)	45.73	45.87	46.88
Ortalama rüzgar hızı (m/s)	2	1.5	1.5

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralleri için NO<sub>x</sub> aerosollerinin neden olduğu sağlık etkileri ve sağlık etkilerinin parasal değerleri sırasıyla Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.'daki gibi hesaplanmıştır.

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy santralleri için uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık kategorilerinin her ikisi de göz önüne alındığında sırasıyla yıllık 1592, 51 ve 30 sağlık vakası söz konusudur. Bu vakalar santral alanlarından daha ilerlerde bölgesel olarak meydana gelmektedir. NO<sub>x</sub> aerosolleri, NO<sub>x</sub> salınımlarından oluştuğu ve lokal bölgede insan sağlığına zarar verecek oranda NO<sub>x</sub> aerosolleri oluşmadığından santrallara ait lokal bölgelerde sağlık vakası hesaplanmamıştır (Çizelge 4.5.).

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy santralleri için uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık kategorilerinin her ikisi de göz önüne alındığında bunların neden olduğu sağlık maliyetleri sırasıyla yıllık 67.4, 2.17 ve 1.28 milyon \$2000 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.).



Çizelge 4.5. NO<sub>x</sub> aerosollerine ait sağlık etkileri (olay/yıl)

Santral	Sağlık kategorisi	Lokal	Bölgesel
Yatağan	Uzun dönem ölümler	Etki yok	1570.0
	Solunum yetmezliği	Etki yok	21.5
	<b>Toplam</b>	Etki yok	<b>1591.5</b>
Yeniköy	Uzun dönem ölümler	Etki yok	50.5
	Solunum yetmezliği	Etki yok	0.7
	<b>Toplam</b>	Etki yok	<b>51.2</b>
Kemerköy	Uzun dönem ölümler	Etki yok	29.9
	Solunum yetmezliği	Etki yok	0.4
	<b>Toplam</b>	Etki yok	<b>30.3</b>

Çizelge 4.6. NO<sub>x</sub> aerosollerinin sağlık etkilerinin maliyetleri (\$2000/yıl)

Santral	Sağlık kategorisi	Lokal	Bölgesel
Yatağan	Uzun dönem ölümler	Etki yok	67.3E+06
	Solunum yetmezliği	Etki yok	41.5E+03
	<b>Toplam</b>	Etki yok	<b>67.4E+6</b>
Yeniköy	Uzun dönem ölümler	Etki yok	21.7E+05
	Solunum yetmezliği	Etki yok	13.3E+02
	<b>Toplam</b>	Etki yok	<b>21.7E+05</b>
Kemerköy	Uzun dönem ölümler	Etki yok	12.8E+05
	Solunum yetmezliği	Etki yok	78.8E+01
	<b>Toplam</b>	Etki yok	<b>12.8E+05</b>

Santral çevresindeki dışsal maliyetlerinin AirPacts programı ile hesabında giriş verilerinden kaynaklanan belirsizlik bulunmaktadır. Bu tür belirsizliklerin sayısal değerlerinin hesaplanması çok zordur (Rabl ve Spadaro, 2002). Bununla birlikte giriş verilerinde meydana gelecek değişimlerin dışsal maliyetler üzerindeki duyarlılıkların belirlenmesi giriş verilerindeki belirsizliklerin sonuçları hangi düzeyde etkilediği üzerinde bilgi sahibi olmamıza yardımcı olabilir (Spadaro, 2002).

Bu çalışmada, hesaplarda kullanılan giriş verilerinin hesap sonuçlarını etkisini görebilmek amacı ile NO<sub>x</sub> salınımlarının en fazla olduğu Yatağan termik santrali için gerçekleştirilmiştir.

Yatağan termik santrali için bölgesel nüfus yoğunluğu, NO<sub>x</sub> aerosollerinin çökme hızı ve doz etki katsayıları üzerinde, pozitif yönde %10'luk bir artış göz önüne alınarak hesaplamalar tekrar edilmiştir ve hesaplar sonucunda söz konusu giriş verilerindeki pozitif yönde %10'luk bir artışın toplam sağlık maliyetleri üzerindeki değişim araştırılmıştır. Yatağan termik santrali için gerçekleştirilen duyarlılık analiz sonuçları

Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Çizelge 4.7.'den görüleceği gibi bölgesel nüfus yoğunluğu giriş verisi üzerinde pozitif yönde %10'luk artış toplam sağlık maliyeti üzerinde yine pozitif yönde %9.85'lik artış meydana getirmektedir.

Benzer şekilde, NO<sub>x</sub> aerosolleri çökme hızı ve doz etki katsayıları üzerinde, pozitif yönde %10'luk artışlar toplam sağlık maliyeti üzerinde sırasıyla -%9.05 ve %11.35 değişimler meydana getirmektedir. Bölgesel nüfus yoğunluğu ve doz etki katsayıları üzerinde, pozitif yönde %10'luk artışlar toplam sağlık etkisi maliyetleri üzerinde yine pozitif yönde artış sağlarken NO<sub>x</sub> aerosolleri çökme hızının, toplam sağlık etkisi maliyetleri üzerinde etkisi ise negatif yönde olduğu görülmektedir. Ayrıca toplam sağlık etkisi maliyetleri üzerindeki en yüksek etkinin doz etki katsayısı giriş verisinde olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.7.).

**Çizelge 4.7. Yatağan termik santrali için duyarlılık analizi**

	Referans	+10 %
Bölgesel nüfus yoğunluğu (kişi/km <sup>2</sup> )	85.4	93.94
Toplam maliyet (milyon \$2000)	67.40	74.04
(ΔReferans/Referans) <sup>1</sup>	0.00	9.85
NO <sub>x</sub> aerosol çökme hızı (m/s)	0.0071	0.0078
Toplam maliyet (milyon \$2000)	67.4	61.3
(ΔReferans/Referans)	0.00	-9.05
Doz etki katsayısı (olay/yıl.kişi.μg/m <sup>3</sup> ) (uzun dönem ölümler için)	1.4x10 <sup>-4</sup>	1.54x10 <sup>-4</sup>
Toplam maliyet (milyon \$2000)	67.4	75.06
(ΔReferans/Referans)	0.00	11.35

<sup>1</sup>(ΔReferans/Referans): Toplam maliyetteki relatif değişim (%)

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy santrallerinin baca gazı hacimleri sırasıyla 1.26x10<sup>6</sup> N.m<sup>3</sup>/s, 3.33x10<sup>5</sup> N.m<sup>3</sup>/s ve 3.33x10<sup>5</sup> N.m<sup>3</sup>/s'tir (Elektrik Üretim Anonim Şirketi, 2010). Bu değerlere göre Çizelge 2.5.'te NO<sub>x</sub> tutuculuğu diğer teknolojilere göre daha yüksek olan SKİ teknolojisi için verilen değerlere göre Yatağan termik santrali için baca gazı hacmi 1x10<sup>6</sup> N.m<sup>3</sup>/s ve Yeniköy ile Kemerköy için ise baca gazı hacmi 5x10<sup>5</sup> N.m<sup>3</sup>/s olan değerler için Yatağan termik santralına uygulanacak bir SKİ teknolojisinin yatırım, işletme maliyetleri, yıllık masraflar 15 milyon Euro, 1.3 milyon ve Euro 2.8 milyon Euro olurken aynı değerler Yeniköy, Kemerköy santralleri için sırasıyla 9.2 milyon Euro, 0.65 milyon Euro ve 1.6 milyon Euro

olarak tahmin edilmiştir. Bu değerler ödeme şartlarına göre değişim gösterebileceklerdir.

Yatağan santralı için uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık kategorilerinin her ikisi de göz önüne alındığında bunların neden olduğu sağlık maliyetleri bu çalışmada yıllık 67.4 milyon \$2000 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.). Bu değer Euro cinsinden karşılığı 58.85 milyon Euro'dur (Merkez Bankası, 2013).

Yatağan termik santralına uygulanacak bir SKİ teknolojisinin yatırım ve yıllık giderlerin toplamı 15 milyon Euro ve 4.1 milyon Euro olarak verildiğine göre, Yatağan termik santralına uygulanacak SKİ teknolojisinin maliyeti santralın olası 1 yıllık NO<sub>x</sub> emisyonunun sağlık maliyetlerinin altında kalmaktadır.

Yeniköy santralı için uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık kategorilerinin her ikisi de göz önüne alındığında bunların neden olduğu sağlık maliyetleri yıllık 2.17 milyon \$2000 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.). Bu değer Euro cinsinden karşılığı 1.89 milyon Euro'dur (Merkez Bankası, 2013).

Yeniköy termik santralına uygulanacak bir SKİ teknolojisinin yatırım ve yıllık giderlerin toplamı 9.2 milyon Euro ve 2.3 milyon Euro olarak verildiğine göre, Yeniköy termik santralına uygulanacak SKİ teknolojisinin maliyeti santralın olası 8 yıllık NO<sub>x</sub> emisyonunun sağlık maliyetlerinin altında kalmaktadır.

Kemerköy santralı için uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık kategorilerinin her ikisi de göz önüne alındığında bunların neden olduğu sağlık maliyetleri yıllık 1.28 milyon \$2000 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.). Bu değer Euro cinsinden karşılığı 1.12 milyon Euro'dur (Merkez Bankası, 2013).

Kemerköy termik santralına uygulanacak bir SKİ teknolojisinin yatırım ve yıllık giderlerin toplamı 9.2 milyon Euro, 2.25 milyon Euro olarak verildiğine göre, Kemerköy termik santralına uygulanacak SKİ teknolojisinin maliyeti santralın olası 10 yıllık NO<sub>x</sub> emisyonunun sağlık maliyetlerinin altında kalmaktadır.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Muğla yöresinde bulunan Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallarının, NO<sub>x</sub> emisyonları önleyici sistemleri olmaması nedeniyle santral bacalarından NO<sub>x</sub> emisyonları sonucu santral çevresinde yerel ve bölgesel bazda insanlar üzerinde meydana gelecek sağlık etkileri ve bunları maliyetleri yıllık bazda hesaplanmış ve hesaplanan sağlık etki maliyetlerinin, santrallara NO<sub>x</sub> teknolojileri içinde en yüksek NO<sub>x</sub> tutma özelliğine sahip olan SKİ teknolojisinin santrallara kurulması durumunda, santrallara kurulacak olan SKİ'nin maliyetlerinin söz konusu santralların NO<sub>x</sub> emisyonlarının insan sağlığı üzerindeki meydana getireceği sağlık maliyetleri tarafından karşılanacağı ortaya çıkmıştır.

Termik santralların gaz emisyonları sonucu meydana gelecek dışsal maliyetler genel olarak insan sağlığı üzerindeki etkiler, biyo-çeşitlilik üzerindeki etkiler, tarım üzerindeki etkiler ve binalar üzerindeki etkiler olmak üzere (CASES, 20013) beş kategori altında toplanmaktadır. Bu etki kategorileri içinde en yüksek etki insan sağlığı üzerindeki etkiler olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Streimikiene vd, 2009). Bu çalışmada etki geçiş yöntemi kullanarak dışsal maliyet hesaplanabilmesi için gerekli olan doz etki katsayıları insan sağlığı üzerindeki etki kategorisi dışında mevcut olmadığı için bu kategoriler ele alınamamıştır. İnsan sağlığı üzerindeki dışsal etkiler kategorisi de sadece doz etki katsayısı mevcut tüm nüfus için uzun dönem ölümler ve solunum yetmezliği sağlık kategorileri dikkate alınmıştır.

Sürdürülebilir enerji kullanımında bilinç artıkça, enerji sistemlerinin negatif dışsal maliyetleri giderek önem kazanmakta ve etki geçiş yöntemi ile dışsal maliyet hesaplarına, dolayısıyla değişik etki grupları için doz etki katsayıları ve bunların birim maliyetleri üzerine çalışmalara yoğun bir şekilde devam edilmektedir (EUR 2019,2003; CASES, 2013; NEEDS, 2013). Dolayısı ilerleyen yıllarda güvenilirliği ispatlanmış değişik kategoriler için doz etki katsayıları üretilmesi durumunda, yukarıda sadece sağlık etki kategorisinin iki etkisi için gerçekleştirilen hesapların tüm etki

kategorileri için tekrarlanma olasılığı mevcut olur ise yukarıda verilen maliyetler daha da azalacaktır.

Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinin işletimi alındığı yıllar göz önüne alındığında santrallarda enerji üretiminin sürdürülebilir olabilmesi amacı ile zaman zaman santrallarda rehabilitasyonlar gerçekleştirilmektedir. Örneğin Yatağan ve Yeniköy santrallerinin baca gazı arıtma sistemleri santraller işletime alındıkları tarihlerden sonra kurulmuşlardır. İlerleyen yıllarda Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy santrallerinin enerji üretimleri santrallerin SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve partikül madde emisyon değerlerinin “Termik Santrallerde Avrupa Birliği Büyük Yakma Tesisleri Direktifi”nde belirtilen limit değerlere uyumluluğuna bağlı olacaktır (Directive 2001/80/EC, 2001;Güven vd., 2008, Avrupa Komisyonu, 2006). Bu bağlamda santrallarda mevcut olmayan NO<sub>x</sub> kontrol sisteminin santrallara entegre edilme seçeneği karar vericiler tarafından özellikle dışsal maliyetler dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Ancak yeni kurulacak linyit yakıtlı termik santrallarda sürdürülebilir enerji üretimi için santrallerin Baca Gazı Arıtma Sistemi, Partikül Tutucu Elektro filtreleri ve NO<sub>x</sub> Arıtma sistemlerinin mutlaka bulunması gerekecektir.

Bu tez çalışmasında Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinin çevresinde yaşayan halkın santrallardan çevreye NO<sub>x</sub> salınımı sonucu karşılaşacakları sağlık problemlerinin parasal değerlerinin hesabı bir fizibilite çalışması niteliğindedir. Sonuçları değerlendirmek karar vericilerin inisiyatifindedir.

Bu çalışmada Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinin çevresinde yaşayan halkın NO<sub>x</sub> salınımları sonucu taşıdığı sağlık riskleri ve bu sağlık risklerinin parasal değerleri, gelecekte bu konu ile ilgili yapılabilecek diğer çalışmalar için bir kaynak olarak kullanılabilir ve araştırmacılara kendi sonuçlarını karşılaştırma olanağı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, (2007), *Türkiye'nin AB Müktesebatına Uyum Programı* (2007-2013), s:1-412.ABGS TC Avrupa Birliği Bakanlığı.
- Anonim, (2006), *Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Büyük Yakma Tesisleri için Mevcut En İyi Tekniklerle yönelik Başvuru Belgesi*,. Avrupa Komisyonu.
- Anonim, (2007) *Muğla İli sağlık İstatistikleri*. T.C. Sağlık Bakanlığı, Ankara, 2007.
- Anonim, (2009) *Kemerköy Termik Santralı Brifing Raporu*, Kemerköy Termik Santralı İşletme Müdürlüğü, Muğla.
- Anonim, (2009) *Yatağan Termik Santralı Brifing Raporu*, Yatağan Termik Santralı İşletme Müdürlüğü, Muğla, 2009.
- Anonim, (2009) *Yeniköy Termik Santralı Brifing Raporu*, Yeniköy Termik Santralı İşletme Müdürlüğü, Muğla.
- Anonim, (2014) *Yıllık Rapor, Elektrik Üretim Anonim Şirketi*, Ankara.
- Anonim, (2010) *Muğla İli Meteoroloji İstasyonlarına Ait Meteorolojik Veriler*, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, (2010) *Türkiye Termik Santrallarının Ölçülmüş Kirlenici Emisyonları ve Teknik Özellikleri*. Elektrik Üretim Anonim Şirketi Ankara.
- Anonim, (2010) *Yıllık Rapor, Elektrik Üretim Anonim Şirketi*, Ankara, 2010.
- Anonim, (2010), DEK-TMK, *Temiz Kömür Teknolojileri*, Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi Çalışma Grubu, Ankara, s:1-137.
- Anonim, (2012) *Dünya kalkınma göstergeleri*, <http://ddp-xt.worldbank.org>. (Veri Alınma Tarihi: 20 Mayıs 2012).

Anonim, (2013) *Çapraz Kurlar*, T.C. Merkez Bankası (Veri Alınma Tarihi: 20 Mayıs 2013).

Anonim, (2013) *Nüfus İstatistikleri*, <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul>.(Veri Alınma Tarihi: 15 Mayıs 2013).

Anonim, *EÜAŞ, Yıllık Rapor*, Elektrik Üretim Anonim Şirketi, Ankara. (2010). s:1-76.

Anonim, 2006, *NOx-Emissions and Control*, IAE Clean Coal Centre.

Ayan, E. (2008). *Türkiye'nin Batı Bölgelerinde İklim Değişimi ve Kömürle Çalışan Termik Santrallerden Kaynaklanan CO<sub>2</sub> Emisyonları*, (Yüksek Lisans Tezi), İTÜ, İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Büke, T., A.Ç. Köne: (2011). "Estimation of the Health Benefits of Controlling Air Pollution from the Yatagan Coal-Fired Power Plant" *Environmental Science and Policy* sayı, 14, s.1113-1120.

Büke, T., Köne, A.Ç. 2010 "Assessing Health Benefits of Controlling Air Pollution From Yatagan Coal-Fired Power Plant Using Simpac Model", *Tenth International Conference on Clean Energy*, Papar No: 11-13, Famagusta, North Cyprus, 15-17 September-, (Available on CD).

Carbonell, L. T. Ruiz, E. M. M. Gacita, S. Oliva, J. R. Rivero, N. D (2007). Assessment of the impacts on health due to the emissions of Cuban power plants that use fossil fuel oils with high content of sulfur. Estimation of external costs, *Atmospheric Environment* 41, 2202–2213, (2007).

CASES, Cost Assessment for Sustainable Energy Systems.

Erişim tarihi: 28 Aralık, 2013, <http://www.feem-project.net/cases>

De Nevers, N. 1995. *Air Pollution Control Engineering*, McGraw Hill, 506s.

Diptiranjan, Mahapatra, PriyadarshiShukla, Subash Dhar (2012)., External cost of coal based electricity generation: Atale of Ahmedabad city, *Energy Policy* v49, s.253–265.

Directive, 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council, On the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, (2001), s.1-21.

Dölek, E, (2007) *Comparison of ISCT3 and AERMOD Air Dispersion Models: Case Study of Cayirhan Thermal Power Plant*, M.Sc. METU, Engineering Faculty, Ankara 231 s.

- EPA, CUECost, (1998), Coal Utility Environmental Cost, Version-1, *Environmental Protection Agency*, Washington, s:1-25.
- External costs: research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. European Commission, Directorate-General for Research and Development, Report No. EUR 20198, Brussels, (2003).
- Güven S, Kalkan, S., Afyonoğlu, B. Kuş S., Bengisu Vural, B (2008),. *Pilot Etki Analizi Çalışması: Termik Santrallerde AB Büyük Yakma Tesisleri Direktifi'ne Uyum*, TEPAV, Ankara, s:1-128.
- Hainoun, A. Almoustafa, A. Seif Aldin, M (2010).Estimating the health damage costs of Syrian electricity generation system using impact pathway approach, *Energy* 35, 628–638.
- Herman, Van Langenhove, (2014). Health external costs associated to the integration of solid oxide fuel cell in a sugar–ethanol factory, *Applied Energy*, v 113, s.1283-1292.
- Liun, E. Kuncoro, A.H. Sartono, E. (2007) Environmental impacts assessment of Java's electricity generation using SimPacts Model. In: International Conference on *Advances in Nuclear Science and Engineering in Conjunction with LKSTN*, Bandung, s 379-384.
- Macías, P., J. Islas J. (2010)., Damage costs produced by electric power plants: An externality valuation in the Mexico City Metropolitan Area, *Science of the Total Environment*,v 408,s. 4511-4523.
- Müezzinoğlu, A. (2000) *Hava Kirlenmesi ve Kontrolunun Esasları*, Eylül Yayıncılık, İzmir.328 s.
- NEEDS, New Energy Externalities Development for sustainability.
- Omer, A.M., (2008). Power, people and pollutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 1864–1889.
- Rabl, A., Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS, Uncertainty Analysis. *International Atomic Energy Agency*, Vienna.
- Sakulniyomporn, S. Kubaha, K. Chullabodhi C. (2011). External costs of fossil electricity generation: Health-based assessment in Thailand, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3470–3479, (2011).
- Sarıca,K. Or, İ., (2007). Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis, *Energy* 32, 1484–1499.



- Say, N.P. (2006)., Lignite-fired thermal power plants and SO<sub>2</sub> pollution in Turkey, *Energy Policy* 34, 2690-2701.
- Schlesinger, L., Nielsen P.S. (1997) External costs related to power production technologies External national implementation for Denmark Risø *National Laboratory*, Copenhagen s. 2–13.
- Shrestha, S., LefevreT., (2000). Estimation of external cost associated with electricity generating options in Thailand using Simplified methodologies, The Joint Seventh APEC Coal Flow Seminar.
- Spadaro, J. V 2004. SIMPACTS computer code. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS input data: exposure response functions. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS input data: Input Data: Meteorological Data. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS input data: Input Data: Pollutant Inventory. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS input data: Input Data: Receptor Data. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS input data: Input Data: Source Characteristics. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS input data: monetary unit costs. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. AIRPACTS, Sensitivity Analysis. *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. Airpacts impacts methodology (Version 1.0). *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Spadaro, J. V. 2002. Airpacts manual (Version 1.0). *International Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Streimikiene, D. Roos, I. Rekis, J. (2009). External cost of electricity generation in Baltic States, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 863–870.
- Streimikiene, D. Alisauskaite-Seskiene, I. (2014) External costs of electricity generation options in Lithuania *Renewable Energy* v64 s.215-224.

- Thanh, B.D. Lefevre, T. (2000). Assessing health impacts of air pollution from electricity generation: the case of Thailand, *Environmental Impact Assessment Review* 20, 137-158.
- Thanh, B.D., Lefevre, T. 2001. Assessing health benefits of controlling air pollution from power generation: the case of a lignite-fired power plant in Thailand. *Environmental Management* sayı:27:s. 303–317.
- Todaro, P.M (2000). *Economic Development*. Addison Wesley, Boston, (2000).
- Vardar N. Yumurtacı, Z., (2010). Emissions estimation for lignite-fired power plants in Turkey. *Energy Policy* 38, 243–252.
- Vrhovcak, M.B. Tomsic, Z. Debrecin, N. (2005). External costs of electricity production: case study Croatia, *Energy Policy* 33, 1385–1395.
- Yücel E. (1997). Türkiye’de Başlıca Sanayi Sektörlerinin Hava Kalitesine Etkilerinin Belirlenmesi (Çayırhan Termik Santrali), *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: YDABÇAG-276/A, (1997).
- Zhang, Q. Weili, T., Yumei, W., Yingxu, C. (2007). External costs from electricity generation of China up to 2030 in energy and abatement scenarios, *Energy Policy* 35, 4295–4304.
- Zinaida, Dimitrijevic’, KasimTatic’, AleksandarKnez’evic’, IrisSalihbegovic’, (2011).External costs from coal-fired thermal plants an sulphur dioxide emission limit values for new plants in Bosnia and Herzegovina, *Energy Policy* v.39 s.3036–3041.
- 2001/80/EC, Directive of the European Parliament and of the Council on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, Brussels.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Ad Soyad : Burak Köleoğlu  
Uyruk : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi: 09/11/1982  
Medeni Hali : Bekar  
Telefon : 0 555 623 23 51  
E-posta : burakkoleoglu@hotmail.com

### Eğitim

Alınan Derece	Aldığı Kurum/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lise	Muğla Turgut Reis Lisesi	2002
Lisans	Pamukkale Üniversitesi	2009
Yüksek Lisans	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi	2014

### Yabancı Dil(ler)

Dil (İngilizce, vs)	Başlangıç	Orta	İleri
Yazma		X	
Konuşma			X
Anlama			X
Okuma			X

### Bilimsel Faaliyetler

1.Köleoğlu B;2009 *Fourier Serisi Ve Dönüşümü* Lisans Tezi Pamukkale Üniversitesi  
Denizli 35s