

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON MARJİNAL AZALTIM MALİYET YÖNTEMİNİN
KONUT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğçe ÇİNGAY

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ARALIK 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON MARJİNAL AZALTIM MALİYET YÖNTEMİNİN
KONUT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tuğçe ÇİNGAY
(301111026)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sermin ONAYGİL

ARALIK 2015

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301111026 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tuğçe ÇINGAY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KARBON MARJİNAL AZALTIM MALİYET YÖNTEMİNİN KONUT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Sermin ONAYGİL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nilgün KARATEPE YAVUZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Güven KÖMÜRGÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **27 Kasım 2015**
Savunma Tarihi : **18 Aralık 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Tez yazma sürecimde bilgisi, desteği ve yol göstericiliği ile yanımda olan tez danışmanım değerli hocam Prof. Dr. Sermin ONAYGİL'e, yardımları için sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Burak Barutçu'ya, Y. Müh. Berker Yurtseven'e, ve Sayın Arda Moltay'a, her zaman yanımda olan aileme ve manevi destekleri için arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Kasım 2015

Tuğçe Çıngay
(Enerji Sistemleri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	1
2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA GAZI AZALTIM SÜRECİ	5
2.1 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)	5
2.2 Kyoto Protokolü	7
2.3 Emisyon Ticareti Mekanizmaları	8
2.3.1 Zorunlu karbon piyasaları	8
2.3.2 Gönüllü karbon piyasaları	9
3. MARJİNAL AZALTIM MALİYET EĞRİLERİ (MAC EĞRİLERİ).....	11
3.1 MAC Eğrileri Oluşturulurken Dikkate Alınması Gereken Bileşenler	16
3.1.1 Uygulama bariyerleri	16
3.1.1.1 Ayrık teşvikler.....	16
3.1.1.2 Bilgi yetersizliği	17
3.1.1.3 Finansal engeller	17
3.1.1.4 Eylemsizlik.....	17
3.1.1.5 Yol bağımlılığı	17
3.1.2 İskonto oranı	18
3.1.3 Zamanlararası sorunlar.....	18
3.1.4 Etkileşimler	18
3.1.5 Davranışsal bakış açısı	20
3.1.6 Teknolojik sorunlar	21
3.1.7 İkincil yararlar	21
3.1.8 Belirsizliklerin iyileştirilmesi.....	21
3.2 MAC Eğrileri Oluşturma.....	22
3.3 MAC Eğrisi Türleri	28
3.3.1 Uzman bazlı MAC eğrileri.....	29
3.3.2 Model türevli MAC eğrileri	33
3.3.3 MAC eğrileri ile iklim politikası değerlendirmesi	36
3.3.3.1 Teşvik temelli enstrümanlar	36
3.3.3.2 Teşvikten bağımsız enstrümanlar.....	38
3.4 MAC Eğrisi Kullanımı, Zorlukları ve Yararları.....	40
4. TÜRKİYE’NİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELESİ VE KARBON SEKTÖRÜNDEKİ DURUMU	43

4.1 Türkiye'nin Sera Gazı Salım Verileri ve Konut Sektörü	43
4.2 Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi.....	48
4.3 Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ndeki Konumu	48
4.4 Sera Gazı Emisyon Azaltımı Sağlayan Projelere İlişkin Sicil İşlemleri Tebliği	49
4.5 Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik.....	50
4.6 Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2012-2023)	50
4.6.1 SA-02 (Stratejik Amaç-02)	51
4.6.2 SA-03 (Stratejik Amaç -03)	52
4.6.3 SA-07 (Stratejik Amaç -07)	53
4.7 Türkiye'de Karbon Piyasası Oluşturulması.....	53
5. BİNA SEKTÖRÜ İÇİN MAC EĞRİSİ HESAPLAMALARI	55
5.1 Bina Isı Yalıtımı	56
5.2 Pencereilerin Değiştirilmesi	60
5.3 Buzdolabında İyileştirme.....	62
5.4 Aydınlatma Sisteminde İyileştirme	68
5.5 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Yararlanma.....	73
5.6 Klimada İyileştirme	76
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ	91

KISALTMALAR

BMİDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
CDM	: Temiz Kalkınma Mekanizması
CER	: Certified Emission Reduction
CIE	: International Commission on Illumination
COP	: Taraflar Konferansı
ET	: Emission Trade
ERU	: Emission Reduction Unit
EU ETS	: Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi
İDEP	: İklim Değişikliği Eylem Planı
JI	: Joint Implementation Mechanism
KP	: Kyoto Protokolü
MAC Eğrisi	: Marjinal Azaltım Maliyet Eğrisi
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
UNFCCC	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
VER	: Voluntary Emission Reduction

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : MAC eğrilerinin üstünlükleri ve sakıncaları.	27
Çizelge 3.2 : Uzman bazlı eğrilerin üstünlükleri ve sakıncaları	32
Çizelge 3.3 : Model türevli eğrilerin güçlü ve zayıf yönleri.....	35
Çizelge 4.1 : Türkiye seragazı emisyonları	45
Çizelge 4.2 : Türkiye'nin 1990-2013 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları	45
Çizelge 5.1 : Varsayılan pencere boyutları ve güneş alma yönleri.....	56
Çizelge 5.2 : Bina yapı bileşenleri için seçilen malzeme ve λ h değerleri.	57
Çizelge 5.3 : Binada kullanıldığı varsayılan ısı yalıtım malzemesi özellikleri.	58
Çizelge 5.4 : 2010-2015 Doğalgaz fiyatları (KDV hariç)	58
Çizelge 5.5 : 2015-2025 Doğalgaz fiyat tahminleri (KDV hariç)	59
Çizelge 5.6 : Binanın yalıtımsız ve yalıtımlı olduğu durumda TS 825 hesap sonuçları	59
Çizelge 5.7 : Bazı pencere sistemlerinin Up değerleri.	61
Çizelge 5.8 : Pencere değişimi sonrası gerçekleşen tasarruf.	61
Çizelge 5.9 : Bir evde tüketilen elektrik enerjisinin oransal dağılımı	63
Çizelge 5.10 : Türkiye’de enerji sınıfına göre buzdolabı oranları.....	64
Çizelge 5.11 : Türkiye’de beyaz eşya satışlarının yıllara göre dağılımı.....	64
Çizelge 5.12 : Regresyon analizi ile 2010 yılına kadar hesaplanan Türkiye’de enerji sınıfına göre buzdolabı oranları.....	65
Çizelge 5.13 : Piyasadaki buzdolaplarının enerji sınıflarına göre piyasada bulunma oranları varsayımı.	65
Çizelge 5.14 : Enerji sınıfına göre tahmini oranlar.....	65
Çizelge 5.15 : Varsayılan buzdolabı verileri.	66
Çizelge 5.16 : Elektrik fiyat tahminleri(KDV Hariç).	67
Çizelge 5.17 : Buzdolabı değişimi sonrası gerçekleşen tasarruf.	68
Çizelge 5.18 : Varsayılan oda boyutları.	69
Çizelge 5.19 : CIE’nin önerdiği genel ve yerel aydınlık düzeyleri.	69
Çizelge 5.20 : Enkandesan, kompakt flüoresan ve LED lamba özellikleri.	69
Çizelge 5.21 : Dialüx programında varsayılan armatür özellikleri.....	70
Çizelge 5.22 : Gerekli ışık akısının sağlanması için gereken lamba/armatür sayıları, gücü ve yatırım maliyetleri.....	71
Çizelge 5.23 : Konutların saatlik kullanım oranları.....	71
Çizelge 5.24 : Lamba değişimi sonrası hesaplanan tasarruflar.....	72
Çizelge 5.25 : İstanbul için günlük ortalama güneşlenme süresi.	75
Çizelge 5.26 : Güneş paneli kurulumu ile yapılan tasarruf.	76
Çizelge 5.27 : Güneş paneli kurulum masrafı.	76
Çizelge 5.28 : Klima değişimi ile yapılan tasarruf.	77
Çizelge 6.1 : MAC veri varsayımları özet tablosu – mevcut durum.	80
Çizelge 6.2 : MAC varsayımları özet tablosu – yapılacak değişiklikler.	80

Çizelge 6.3 : Karbon azaltım projelerinin özet verileri.81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : McKinsey'nin 2007 yılında hazırladığı karbondioksit eşdeğeri küresel seragazi azaltım maliyet eğrisi.	13
Şekil 3.2 : McKinsey'nin 2009 yılında hazırladığı 2030 yılı için küresel maliyet eğrisi	14
Şekil 3.3 : McKinsey'nin İngiltere ekonomisi için hesapladığı MAC eğrisi	16
Şekil 3.4 : Örnek MAC eğrisi.	23
Şekil 3.5 : Sütun grafiği MAC eğrisi örneği.....	24
Şekil 3.6 : Çizgi grafiği MAC eğrisi örneği	25
Şekil 3.7 : Uzman bazlı MAC eğrisi.....	28
Şekil 3.8 : Model bazlı MAC eğrisi.....	28
Şekil 3.9 : MAC eğrileri ile karbon vergisine göre azaltım seçenekleri belirleme....	37
Şekil 3.10 : Toplam salım limitine göre karbon fiyatı belirlemede MAC eğrilerinin kullanımı.....	37
Şekil 3.11 : MAC eğrileri ve iklim politikaları enstrümanları.....	40
Şekil 4.1 : Türkiye kişi başı seragazi emisyonu 1990-2013	44
Şekil 4.2 : Türkiye'de geçmiş dönem emisyon eğilimleri.....	46
Şekil 4.3 : Binalarda ve konutlarda enerji tüketimi	47
Şekil 4.4 : Enerji türlerine göre Türkiye 2009 yılı bina sektörü enerji tüketiminde kaynakların payı	48
Şekil 5.1 : Türkiye'de enerji sınıfına göre buzdolabı oranlar	63
Şekil 5.2 : TEDAŞ son 10 yıla ait elektrik fiyatları.....	67
Şekil 5.3 : Varsayılan armatür ve fotometrik diyagramı	70
Şekil 5.4 : Dialux programında salon aydınlatması için gereken örnek armatür sayısı hesaplamaları.	70
Şekil 5.5 : İstanbul güneşlenme süreleri (saat).	75
Şekil 6.1 : Varsayılan dairenin binadaki konumu.....	79
Şekil 6.2 : Varsayılan konut için karbon azaltım projeleri MAC eğrisi (klima hariç).	82
Şekil 6.3 : Varsayılan konut için karbon azaltım projeleri MAC eğrisi.	83

KARBON MARJİNAL AZALTIM MALİYET YÖNTEMİNİN KONUT SEKTÖRÜNDE UYGULANMASI

ÖZET

Sera gazı emisyonlarının hızlı artışı ve iklim değişikliği, ülkeleri emisyonları azaltmaya sevk etmiştir. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 3. Taraflar konferansı olan Kyoto'da, Kyoto Protokü imzalanmış ve taraf olan ülkeler sera gazları için sayısal azaltım emisyon sınırları belirlemişlerdir.

Sera gazı emisyonlarını azaltma hedefleri ve yasal taahhütler, birçok ülkedeki karar vericileri düşük maliyetli karbon salım azaltım yolları bulmaya itmiş ve bu amaçla, Marjinal Azaltım Maliyet Eğrileri, iklim değişimindeki etkileri azaltmak amacıyla ekonomik ve teknolojik fizibiliteyi görselleştirmek adına sıkça kullanılmaya başlamıştır.

Türkiye'nin, Kyoto Protokülü'ne taraf olmuş olsa bile, özel konumu itibariyle herhangi bir sayısal salım azaltım hedefi yoktur. Ancak Türkiye, geliştirdiği politikalar, yönetmelikler ve stratejiler ile enerji verimliliği ve dolayısıyla karbon azaltım hedeflerini de belirlemektedir.

İleride Türkiye'nin zorunlu bir karbon azaltım hedefi olması durumunda, toplam enerji tüketiminde %35 gibi büyük bir yüzdeye ve dolayısıyla enerji tasarrufunda geniş olanaklara sahip bina sektöründeki uygulamalar önemli olacaktır. Bu uygulamalarda, MAC eğrilerini kullanmak azaltım teknolojilerinin seçiminde karar vericilere kolaylık sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, öncelikle MAC eğrilerinin kullanım alanları ve oluşturulma yöntemleri açıklanmıştır. Model türevli ve uzman bazlı MAC eğrisi oluşturulma yöntemleri, bunların oluşturulması sürecinde karşılaşılan zorluklar ve birbirlerine göre üstünlükleri ve sakıncaları açıklanmıştır.

Son olarak bina sektöründe konut bazında uzman bazlı MAC eğrisi hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle İstanbul'da ortalama büyüklükte varsayılan mevcut bir daire için, belirli enerji tüketim noktaları belirlenmiştir. Belirli bir enerji tüketim seviyesinde belirlenen referans noktasına göre, binada EPS ve taşıyıcı ile yalıtım uygulaması yapılması, buzdolabı, klima gibi enerji tüketimi yüksek elektrikli ev aletlerinde enerji tüketimi düşük olan tasarruflu cihaz kullanımına geçilmesi, aydınlatmanın LED ve kompakt flüoresan lambalar ile sağlanması, ısı geçirgenlik değeri düşük pencere kullanımına geçilmesi, elektrik ihtiyacının bir kısmının güneş panellerinden karşılanması gibi durumlarda sağlanacak enerji tasarrufu ve dolayısı ile alınan her bir önlem başına azaltılan eşdeğer CO₂ salım miktarı hesaplanarak, varsayılan bir konut için karbon marjinal azaltım eğrisi oluşturulmuştur. Bu oluşturulan eğri, salım azaltım hedefi olması durumunda, bina sektörüne veya ev sahibine dairesi için yapacağı yatırımları önceliklendirmesi için bir öngörü sağlayacaktır.

IMPLEMENTATION OF CARBON MARGINAL ABATEMENT COST CURVES IN HOUSEHOLD SECTOR

SUMMARY

Rapid rising of greenhouse gas emissions and climate change, has led countries to reduce emissions. According to this, in the scope of UNFCCC, The Kyoto Protocol was adopted at the third session of the Conference of Parties(COP 3) in 1997 in Kyoto, and member states set quantitative goals to reduce and limit the emissions.

These targets and legal commitments to reduce greenhouse gas emissions require policy makers to find cost-efficient ways to meet the obligations. Marginal abatement cost (MAC) curves have frequently been used in this context to illustrate the economics associated with climate change mitigation and to illustrate the technological feasibility.

Although, Turkey is Annex I Parties, because of its special conditions, it does not have first-round Kyoto targets. However, by developing new policies, regulations and strategies, Turkey sets its own targets in order to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions

In the event of Turkey has quantitative international or national emission reduction targets, it will be essential to reduce emissions in building sector, which has %35 share of energy sector, and has essential reduction potential to meet the targets. In such conditions, using MAC curves enables decisions makers to decide most cost-efficient emission reduction technology, easily.

The earliest cost curves are developed after the two oil price shocks in the 1970s with the aim of reducing crude oil consumption and later electricity consumption. Then they became popular with Mc Kinsey&Company's global cost curves. Mc Kinsey published its first MAC curve in 2007. That curve shows the emission abatement technologies and their abatement costs globally. In that study, they assumed three emission limits which of them is the highest limit for their advocates to stop global warming. Later, McKinsey updated their cost curve in 2009 in a more detailed and extended way. In 2010, McKinsey updated the curve to reflect a more realistic reduction in emission according to global financial crisis and higher fuel price expectations. Afterwards, McKinsey published cost curves for 14 different countries.

A MAC curve is a graph which shows the marginal costs of the various emission abatement alternatives. A MAC curve represents the extra (or marginal) carbon reduction (or abatement) potential of these alternative technologies relative to a baseline. Typical technology options in a MAC curve are improvement of energy efficiency and clean energy usage.

To start with, the first important thing in MAC curve desing is to make a decision about the emission baseline. In order to desing a reliable MAC curve, it is essential to indicate the assumptions underlying the calculations.

There exists different kinds of approaches to generate MAC curves with different strengths and weaknesses. They are called expert-based MAC curves and model derived MAC curves.

Expert-based MAC curves assess the cost and reduction potential of each single abatement technology based on educated opinions individually, while model-derived curves are based on the calculation of energy models. They have different advantages and disadvantages because of their different formation approaches. To give an example; expert based MAC curves contain technological detail, while model-based MAC curves don't. Nevertheless, since expert-based MAC curves evaluate the emission reduction technologies individually and are not based on a model, they might not assess the real total reduction potential. Although, both expert-based and model-derived MAC curves possess important disadvantages that limit their usefulness for policy makers, they are very useful tools for policy makers to have vision about carbon abatement technology investments, in the end.

In this study, the design methods, types and advantages-disadvantages of the aforementioned types of MAC curves are explained in details. Also, the positioning of Turkey about emission reduction is described.

Finally, an expert based MAC curve is formed for an assumed residence in order to visualise the emission reduction potentials of possible emission reduction technologies for the so-called residence.

The curve is formed for a residence in İstanbul, Turkey, which has specific conditions, according to assumptions. Primarily, the baseline scenario for the study is determined and energy consumption spots are specified. Later, energy saving potentials of each spot is examined.

The assumptions are suitable to the assumed location of the residence, to the surveys, to the sale rates of the devices and materials. The existing aforementioned residence is located in İstanbul, on the ground floor of an uninsulated building, over basement. The building construction materials are mainly brick on walls and reinforced concrete on post-and-beam. Heating is provided by natural gas. The windows are wooden window. For cooling needs in summer, an air conditioner is located in living room in an energy class of B. No renewable energy system is located for electricity generation. Lighting system is based on incandescent lamps. The refrigerator, which has the highest energy consumption rate of a residence, is chosen as B energy class, according to sale rates and surveys.

Projections are made for year 2015. Therefore, electricity and natural gas price forecasts are made according to the past prices. Monthly electricity prices between 2005-2015 are obtained from TEDAŞ, a firm which is responsible for the distribution of electricity in Turkey. Monthly natural gas prices between 2010-2015 are obtained from İGDAŞ, a local natural gas supplier. Accordingly, price forecasts are made for 2015 by linear regression method. In regard to the predicted prices, the average assumed prices between 2015-2025 are calculated in order to use in MAC curve calculations for ten year period.

For the uninsulated building, the use of EPS (expanded polystyrene) and rock wool is investigated. In accordance with TS 825 Thermal Insulation Requirements in Buildings in Turkey in Terms of Solar Radiation, an insulation board with 5cm board thickness is enough for external thermal insulation application. Also, it is assumed that an insulation of 3cm thickness EPS will be implemented over basement in both

calculations, since the residence is located over basement floor. The assumptions for investment costs such as material costs and implementation costs have been made over market prices. Electricity savings and greenhouse gas reduction potential is calculated accordingly and added in final MAC curve.

For windows, energy savings and emission reductions with the use of PVC frame with double-glazed windows, with a better thermal transmittance value (U value), is investigated. The assumptions for investment costs such as material cost and implementation costs have been made over market prices. Natural gas savings and greenhouse gas reduction of the measure is calculated accordingly and added in final MAC curve.

Refrigerators, lightning systems and air-conditioners are the most energy consuming systems in a residence; therefore improvements are investigated in these systems as well. For refrigerator and air-conditioner, savings from the utilization of a better energy class, hence less energy-consuming devices are calculated. For the lightning system, by using Dialux program electricity savings with the use of compact fluorescent light bulbs and LED lamps instead of incandescent lamps are investigated. Electricity savings and correspondingly greenhouse gas reduction of all the measures are calculated accordingly and added in final MAC curve.

Finally, electricity generation by the implementation of solar panels on the roof of the building is investigated. It is assumed that a part of the consumed energy will be supplied from these mentioned panels. Investment costs such as device costs and implementation costs are assumed according to market prices. Natural gas savings and correspondingly greenhouse gas reduction of the measure is calculated accordingly and added in final MAC curve.

In the formed curve, KFL and LED usage, exterior insulation and window changing practices stayed on the left side and negative part of the curve which means by reduction of one unit of emission saves the investor money in the determined projection time with these abatement technologies. Other technologies such as, change of refrigeration and air-conditioner and solar panel implementation, are the projects in which one unit of emission abatement is expensive, relatively.

As a conclusion, it is important to remark once more that, the aforementioned formed expert-based MAC curve, does not give the total emission reduction potential since it is an expert-based MAC curve and does not based on energy models. In the event of emission reduction limits exists, this final MAC curve will give the householder –or building sector- a broad perspective to limit the emissions in an economically efficient way.

1. GİRİŞ

Dünyada sera gazı emisyonlarının hızlı artışının, insanlara, hayvan ve bitki alemine zararlı sonuçları olan iklim değişikliğine sebep olduğu kanıtlanmıştır. Bu da birçok ülkede politika belirleyicileri ulusal emisyonları durdurmaya sevk etmiştir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin farklı kaynakları, imkanları ve sorumlulukları olması, diğer yandan eğer iklim değişikliğinin tehlikeli sonuçlarını engellemek istiyorlar ise yine de ortak hareket etme zorunlulukları, emisyon azaltım girişimlerini güçleştirmektedir. Tüm güçlüklerle rağmen, karar vericilere yardımcı olabilmek adına bazı kararlar verilmesi ve araçlar geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen araçlardan biri de Marjinal Azaltım Maliyet Eğrileri'dir (Marjinal Abatement Cost Curves, MACC) [1].

Sera gazı emisyonlarını azaltma bağlamındaki hedefler ve CO₂ salımlarını azaltmak üzerine olan yasal taahhütler, birçok ülkedeki karar vericileri düşük maliyetli karbon salım azaltım yolları bulmada zorluklarla karşı karşıya bırakmıştır. Bu engellere çözüm önerileri sunan MAC eğrileri, iklim değişimindeki etkileri azaltmak için ekonomik ve teknolojik fizibilitiyi görselleştirmek adına sıkça kullanılmaya başlanmıştır [2,3].

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı marjinal azaltım maliyet eğrileri hakkında bilgi vermek ve bu eğrilerin enerji tüketimi ve dolayısıyla karbon salımı yüksek olan konut sektöründe ileride olabilecek yasal yükümlülükler doğrultusunda, önlem teknolojilerine yapılabilecek yatırımların analizlerinde kullanılabilirliklerinin örneklerle irdelenmesi olarak belirlenmiştir.

1.2 Literatür Özeti

Marjinal Azaltım Maliyet Eğrileri bugüne kadar farklı amaçlar için kullanılmıştır. Örneğin, karbon ticareti ile uğraşanlar MAC eğrilerini, karbon fiyatı belirlemek için

arz fonksiyonu türetmede kullanmışlardır. Enerji şirketlerine ise, uzun vadeli yatırım planlama stratejileri için çeşitli enerji türetim ve verimlilik seçenekleri arasında karar verme aşamasında yol gösterici araç olarak hizmet verebilmektedir. Ekonomistler MAC eğrilerini bölgeler arası karbon ticaretinin ekonomisini belirleme amaçlı, politika belirleyiciler ise, emisyon azaltım maliyetinin hesaplanmasında ve bu emisyon azaltımlarının sağlanması için politikaların hangi tarafa yönlendirilmesi gerektiğinin analiz edilmesinde kullanmaktadır [4].

MAC eğrileri, 2007 yılında McKinsey&Company'nin küresel sera gazı azaltım maliyet analizleri konusunda farklı sektörler için karbon azaltım eğrilerini yayınlamasından sonra daha da popüler olmaya başlamıştır [5,6]. McKinsey'nin çalışmaları sonucu, MAC eğrileri iklim değişikliğini azaltma konusunda çalışan araştırmacıların ve karar vericilerin çalışma odağına yerleşmiştir. McKinsey, 2007 ve 2009 yılları arasında farklı ülkeler için 14, küresel bazda da bir adet maliyet eğrisi yayınlamıştır [3].

McKinsey küresel MAC eğrisini, küresel mali krizden dolayı oluşacak güncel emisyon azaltımlarını ve daha yüksek fosil yakıt fiyatlarını yansıtabilmek amaçıyla 2010 yılında güncellemiştir [3].

McKinsey&Company, küresel ve ulusal bazda karbon azaltım hedeflerinin hangi düşük-karbon teknolojisi ile tutturulabileceği ve bu projelerin uygulanabilir olması için karbon fiyatının ne kadar olması gerektiği konusunda çalışmalar yapmıştır [7].

Fabian Kesicki (2011) alışmasında farklı MAC eğrisi oluşturma yaklaşımlarının kullanılabilirliklerini ve eksikliklerini değerlendirmiştir [2].

Paul Ekins, Fabian Kesicki, Andrew Z.P.Smith tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmada, marjinal azaltım eğrilerinin eksik ve sorunlu girdileri ve ıktıları McKinsey alışmaları da örnek gösterilerek incelenmiştir [3].

Nera Consulting, Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) için “Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Potansiyeli: Türkiye'deki Yatırımcılar İçin Marjinal Azaltma Maliyet Eğrisi” çalışmasını hazırlamıştır. Bu rapor, 2010–2030 döneminde, Türkiye'nin sera gazı emisyonlarını azaltma olanaklarını incelemekte ve emisyon azaltımının ekonominin çeşitli sektörleri için maliyetini tahmin etmektedir. Bu türdeki başka çalışmalardan farklı olarak mevcut analiz, kar getiren ve aynı zamanda da emisyonları azaltan yatırım fırsatlarına ilgi duyan özel sektör yatırımcısının bakış

açısıyla ele alınmıştır. Çalışma, farklı yatırım fırsatlarının maliyet ve faydalarına ilişkin tahminleri içermekte ve bu yatırımlarda emisyon azaltılmasının maliyet ve faydalarını bir özel sektör yatırımcısının bakış açısından hesaplamaktadır [8].

MAC eğrileri Meksika, Polonya, İrlanda, Birleşik Krallık ve Nikaragua gibi ülkeler ile Dünya Bankası, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü gibi kuruluşlar için de oluşturulmuştur. Her bir ülkede, iklim değişikliği politikaları için bilgilendirme amaçlı geliştirilmişlerdir.

Örneğin Birleşik Krallık (BK)'da MAC eğrileri hükümetin iklim değişikliği politikalarını belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. BK Düşük Karbonlu Ekonomiye Geçiş Planı (UK Low Carbon Transition Plan, 2009) ve Birleşik Krallığa sera gazı emisyonlarının azaltımında öneriler vermek adına kurulan bağımsız bir kurum olan İklim Değişikliği Komitesi'nin çalışmalarında MAC eğrilerinin öneminin büyük olduğu da belirtilmektedir [3].

1998'de Ellerman ve Decaux ve 2012'de Spalding-Fecher ve diğ. çalışmalarında, MAC eğrilerini Kyoto Protokolünün emisyon ticaret sisteminin ve temiz kalkınma mekanizmasının (Clean Development Mechanism, CDM) yararlarının analizi için geliştirmişlerdir [1].

MAC eğrileri yalnızca CO₂ azaltım analizi için kullanılmamaktadır. İlk maliyet eğrileri 1970'lerde petrol fiyatlarındaki ciddi artışın üzerine, ham petrol tüketimini düşürmek (\$/kt) ve daha sonra da elektrik tüketimini azaltmak için kullanılmıştır (\$/kWh). O zamanlar, bu eğriler MAC eğrisi yerine, tasarruf ya da korunum eğrisi (conservation supply curves) olarak adlandırılmıştır. Daha sonra, ulaşım sektöründe, endüstride ve binalarda enerji verimliliğini artırma amaçlı değerlendirme yapmada analitik araç olarak geniş çapta kullanılmaya başlanmışlardır [3]. Bu eğriler, 1994'de Silverman 1985, Rentz'in yaptığı çalışmada SO₂ gibi hava kirleticilerin azaltım potansiyeli ve maliyetlerini değerlendirme, 2004'de Beaumont and Tinch'in yaptığı çalışmada atık azaltımı ve 2009'da Adams ve diğ'nin yaptığı çalışmada su bulunabilirliği (water availability; yüzey kaynağı, yeraltı kaynağı ve şebeke suyu gibi su kaynaklarının ek su taleplerini sürdürebileceği hidrolojik kapasitesi) gibi konularda kullanılmışlardır [2,3].

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE SERA GAZI AZALTIM SÜRECİ

Birçok ülkedeki politika belirleyiciler ileriki yıllarda karbon salımını önemli düzeyde azaltma konusunda uzlaşmışlardır. Sera gazı salımlarını azaltma adına ilk toplu ve çok taraflı girişim Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında 1998 yılındaki üçüncü taraflar konferansı olan Kyoto Protokolü ile gerçekleşmiştir [2].

2.1 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (ing. United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC), Birleşmiş Milletler öncülüğünde imzalanan küresel ısınmaya yönelik hükümetlerarası ilk çevre sözleşmesidir. Sözleşme, 1992 yılında “Rio Çevre ve Kalkınma Konferansı”nda imzaya açılmış ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girmiştir [9].

Sözleşmenin 2. maddesinde, Sözleşme’nin amacı “Sözleşme’nin ilgili hükümlerine göre, atmosferdeki sera gazı birikimlerini, iklim sistemi üzerindeki tehlikeli insan kaynaklı etkiyi önleyecek bir düzeyde tutmayı, ekosistemlerin iklim değişikliğine doğal bir şekilde uyum sağlamasına, gıda üretimini tehdit etmeyecek ve ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir şekilde devamına izin verecek bir zamanda başarmak” olarak tanımlanmıştır [10].

Bu doğrultuda sözleşmenin genel ilkeleri, eylem stratejilerini ve ülkelerin yükümlülüklerini düzenlemektedir. Sözleşme; hükümetlerarası düzeyde iklim değişikliğine yönelik ilk çevre mutabakatı olması açısından önemli olsa da yaptırım gücü zayıftır ve taraf ülkeler sadece iyi niyet düzeyinde sözleşmeyi desteklemişlerdir [9].

Sözleşme’de yer alan temel ilkeler şunlardır [10];

- Eşitlik ilkesi,
- Ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesi,

- İhtiyatlılık ilkesi,
- Sürdürülebilir kalkınmayı destekleme hakkı ve yükümlülüğü.

Sözleşme kapsamında, tüm taraflar sera gazı salımları, ulusal politikalar ve en iyi uygulamalar ile ilgili bilgileri toplamak ve paylaşmakla yükümlüdür. Sözleşme, tarafların ulusal salım envanterleri geliştirmelerini, iklim değişikliği azaltım ve uyumu kolaylaştırma önlemleri içeren ulusal programlar hazırlamalarını ve uygulamalarını, uygulama ile ilgili bilgileri Taraflar Konferansı'na bildirmelerini gerektirmektedir [10].

“Ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar” ilkesi, sanayi devriminden sonra gelişmiş ülkelerin, atmosfere diğer ülkelerden daha çok sera gazı salımı yapmalarından dolayı azaltım konusunda daha fazla sorumluluk almaları gerektiği düşüncesine dayanmaktadır [11].

Bu ilkeye göre sözleşme, farklı yükümlülükler göre ülkeleri üç gruba ayırmıştır [10]. Bunlar;

Ek-I Ülkeleri: Sözleşme'de EK-I'de listelenen gelişmiş ülke tarafları için azaltım yükümlülükleri belirlenmiştir. EK-I tarafları salımlarını sınırlamakla ve yutaklarını iyileştirmeye yönelik politika ve önlemler geliştirmekle yükümlüdür [10]. Bu grup iki ülke kümesinden oluşmaktadır. Birinci grupta 1992 yılı itibarıyla OECD üyesi olan ülkeler (bunların içinde Türkiye de bulunmaktadır) ve AB, ikinci grupta ise Pazar Ekonomisi'ne geçiş sürecindeki ülkeler yer almaktadır. Sözleşme ayrıca bu tarafların 2000 yılına kadar sera gazı salımlarını 1990 yılı düzeylerine getirmeleri için yasal olarak bağlayıcı olmayan bir hedef koymuştur, ancak zorunlu bir yükümlülük yoktur.

EK-II Ülkeleri: EK-II, aslında EK-I'in alt kümesidir. EK-II'de yer alan gelişmiş ülke tarafları, birinci grupta üstlendikleri yükümlülükler ilaveten gelişmekte olan ülkelere Sözleşme'den kaynaklanan yükümlülüklerini yerine getirmelerinde yardımcı olmak, uyum için mali kaynak sağlamak ve teknoloji transferi için adımlar atmakla yükümlüdür.

Ek Dışı Ülkeler: Bu ülkeler, sera gazı salımlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji üzerinde işbirliği yapmaya ve sera gazı yutaklarını korumaya teşvik edilmekte, ancak belirli bir yükümlülük altına alınmamaktadırlar [11].

2.2 Kyoto Protokolü

Japonya'nın Kyoto kentinde 11 Aralık 1997 yılında yapılan 3. Taraflar Konferansı'nda (COP 3), dünya çapında sera gazlarının azaltılması için bağlayıcı hedefler içeren "Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne İlişkin Kyoto Protokolü" imzalanmıştır [10]. Kyoto Protokolü (KP) sözleşmeye göre daha somut hedefler içermektedir ve iklim değişikliği konusunda mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası tek çerçevedir [9,12].

Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe girebilmesi için, 1990 yılı toplam CO₂ emisyonlarının en az %55'inden sorumlu olan Ek-I taraflarının protokolü onaylaması gerekliliği nedeniyle, ancak son olarak 18 Kasım 2004 tarihinde Rusya Federasyonu'nun da onayıyla Kyoto Protokolü 16 Şubat 2005 tarihinde fiilen yürürlüğe girmiştir [13].

Kyoto Protokolü, hükümlerinin yer aldığı 28 maddeye ilave olarak iki ek liste içermektedir. EK-A sınırlanan sera gazları ve kaynaklandığı sektörlerin yer aldığı listedir. Protokol'e taraf olan ülkelerden salım azaltımı ya da kontrollü artış yükümlülüğü olan Sözleşme'nin Ek-I ülkeleri, Protokol'ün Ek-B listesini oluşturmaktadır ve ülke bazında 1990 yılına oranla 2008–2012 yılları arasında hangi oranlarda azaltım sağlayacaklarına dair sayısal emisyon azaltım hedefleri yer almaktadır [11].

Bu protokolde, Ek-I'de yer alan taraflar; 2008-2012 yıllarını kapsayan taahhüt döneminde insan faaliyetlerinin neden olduğu CO₂ eşdeğeri toplam sera gazı emisyonlarını, 1990 yılı seviyelerinin en az %5 aşağısına çekmek zorundadır [14]. Kyoto Protokolündeki hedeflerine uymayan herhangi bir Ek-I ülkesi bir sonraki dönem azaltma hedeflerinin %30 daha artırılması ile cezalandırılacaktır.

Bu protokolü imzalayan ülkeler, karbon dioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salımını azaltmaya söz vermişlerdir. KP, Ek-I ülkelerinin sera gazı salımı hedeflerine ulaşmak için başka ülkelerden salım azalması satın alabilmeleri esnekliğine de olanak tanımıştır [12].

BMİDÇS ve KP dışında, ayrıca Avrupa Birliği'ndeki üye ülkeler 2020 yılındaki sera gazı salımlarını, 1990 yılındaki değerlerin %20 altına indirecekleri konusunda anlaşmaya varmışlardır [15]. Örneğin, ulusal düzeyde Birleşik Krallık 2050 yılında 1990 yılındaki sera gazı salım seviyesinin %80 altında olmayı hedeflemektedir [2].

2.3 Emisyon Ticareti Mekanizmaları

KP kapsamındaki EK-I ülkelerinin salım hedeflerine ulaşabilmeleri amacıyla kendi aralarında salım azalması satın alma esnekliğine olanak tanıyan Emisyon Ticareti Mekanizmaları geliştirilmiştir.

Karbon piyasalarını zorunlu (KP esneklik mekanizmaları) ve gönüllü olmak üzere iki sınıf altında incelemek mümkündür.

2.3.1 Zorunlu karbon piyasaları

Kyoto Protokolü'nde tanımlanan esneklik mekanizmaları ile ülkelerin düşük maliyetle salım azaltımı yapabilmelerine olanak tanınmaktadır. Protokolde tanımlanan esneklik mekanizmaları Salım Ticareti (ET), Ortak Yürütme (JI), Temiz Kalkınma Mekanizması'dır (CDM) [16]. Salım ticareti bütünüyle piyasa tabanlı bir araç iken, Ortak Yürütme ve Temiz Kalkınma Mekanizması karbon piyasasını besleyen proje tabanlı mekanizmalardır [17].

Salım Ticareti mekanizması ile Ek-I listesinde yer alan herhangi bir taraf ülke, Ek-B'de belirlenmiş olan salım azaltım miktarının bir bölümünün ticaretini yapabilir. Taahhüt edilen salım miktarından daha fazla azaltım yapan taraf ülke, salımındaki bu ilave azaltımı bir başka Ek-I ülkesine satabilir [16]. Piyasa tabanlı olan bu mekanizma salım azaltım birimlerinin ülkeler arasında güvenli bir şekilde transferini sağlamak amacıyla, yazılım tabanlı bir muhasebe sistemi olan, Uluslararası Kayıt Sistemi (ITL) oluşturulmuştur [17].

Ortak Uygulama mekanizması proje tabanlı bir mekanizmadır. EK-I taraflarının, diğer EK-I ülkelerinde salım azaltım projeleri yapmalarına olanak sağlar [17]. Bu mekanizma ile Ek-I ülkeleri arasında gerekli şartların sağlanması koşuluyla, insan kaynaklı sera gazı salımlarının azaltılmasını veya sera gazlarının yutaklar yoluyla uzaklaştırılmasını amaçlayan projelerden elde edilen "Salım Azaltma Kredisi" (ERU) kazanılır ve kazanılan bu krediler toplam hedeften düşürülür [16].

Temiz Kalkınma Mekanizması ile Ek-I dışı ülkelerin sürdürülebilir kalkınma ilkesi doğrultusunda sera gazı azaltımına katkı sağlamaları amaçlanmaktadır. Ek-I'de yer alan taraflar, salım azaltım taahhüdünü gerçekleştirmek için Ek-I dışı ülkelerde yapacakları proje faaliyetleri sonucunda 'Sertifikalendirilmiş Salım Azaltım Kredisi" (CER) elde edeceklerdir [16].

2.3.2 Gönüllü karbon piyasaları

Gönüllü Karbon Piyasaları, bireylerin, kurum ve kuruluşların, firmaların, sivil toplum örgütlerinin faaliyetleri sonucu oluşan sera gazı salımlarının gönüllü olarak azaltımını ve dengelenebilmesini kolaylaştırmak amacıyla, uluslararası hukuki bir taahhütten bağımsız, çevresel ve sosyal sorumluluk ilkesi çerçevesinde oluşturulan bir pazardır.

Bu süreç, KP kapsamında zorunlu olarak uygulanan Esneklik Mekanizmaları'na benzer bir süreçtir. Kamunun bu sürece ulusal yükümlülükler kapsamında dahil olmaması, gönüllü karbon piyasalarını KP kapsamındaki zorunlu süreçlerden ayıran en önemli farklılıkların başında gelmektedir.

Gönüllü piyasadan alınan emisyon sertifikaları, ülkelerin KP kapsamındaki taahhütlerini karşılama amaçlı kullanılmamaktadır. Bu tercih, gönüllü emisyon sertifikalarının (VER) birim fiyatının, KP altındaki CER ve ERU sertifikalarına göre daha düşük olmasına neden olmaktadır [18].

3. MARJİNAL AZALTIM MALİYET EĞRİLERİ (MAC EĞRİLERİ)

Karbon salım azaltım hedefleri doğrultusunda tüm bu yasal bağlayıcı yükümlülükler göz önünde bulundurulduğunda, karbon emisyon azaltımının maliyet etkin bir şekilde nasıl yapılacağı sorusu ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, marjinal azaltım maliyetini ve toplam emisyon azaltımını karşılaştıran Marjinal Azaltım Maliyet Eğrileri, ya da kısaca MAC eğrileri, iklim değişikliğini azaltmanın ekonomisini görselleştirmek için kullanılmaya başlamıştır. Karbon azaltım eğrisi yöntemi 1990'ların başından beri karbon azaltım maliyetlerini görselleştirmek için kullanılmaktadır [2]. Son yıllarda ise, politika belirleyiciler tarafından benimsenmiş ve birçok ülkede kullanılmaya başlanmıştır [2].

Özellikle azaltım taahhütü olan ülkelerde, şirketlerin karbon emisyonları için ödeyeceği maliyet, birim karbon fiyatına ve şirketin ne kadar karbon yoğun faaliyet gösterdiğine bağlıdır. Karbon fiyatları şirketin kontrolü dışında belirlendiğinden tek çözüm karbon yoğunluğunu azaltmaktır. Karbon yoğunluğunu düşürmenin enerji ve kaynak verimliliğini iyileştirmek, düşük karbonlu hammadde ve yakıt kullanmak, yenilenebilir enerjiye geçmek gibi birçok farklı yöntemi vardır. Bu seçimlerde hangi yöntem öncelik verileceği önemlidir ve MAC eğrileri bu amaçla yardımcı olabilmektedir [19]. MAC eğrileri karbon ticareti, birim karbon salımını fiyatlandırmak için tahminlerde bulunma, yatırım olanaklarını önceliklendirme ve politik tartışmaları şekillendirme konusunda da önemli yol gösterici araçlardır [20]. MAC eğrisi, olağan (business-as-usual) ekonomiye düşük karbon alternatifleri sunmak için kullanılan bir yöntemdir [21].

MAC eğrileri, bir bölge veya ülke için emisyon azaltım önlemlerini, bu önlemlerin emisyon azaltım potansiyelini ve önlemlerin uygulanması ile oluşacak marjinal azaltım maliyetlerini analiz eder. 2008'de Morris, Paltsev ve Reilly'nin çalışmasına göre marjinal azaltım maliyeti bir birim emisyonun bertaraf edilmesi için gerekli harcama tutarıdır [1].

MAC eğrisi, karbon azaltım projelerini, birim ton karbon azaltım maliyetine göre sıralamak için kullanılan görsel bir araçtır [5]. Önlemler ucuzdan pahalıya olacak

şekilde sıralandığından, emisyon azaltım fırsatlarının ekonomik önceliklerini de göstermektedir [22]. MAC eğrileri farklı azaltım önlemlerinin maliyet etkinliklerinin karşılaştırması için kullanılır. Bu eğriler yüksek emisyon azaltım seviyelerine ulaşmak için, uygulanabilecek emisyon azaltım önlemlerini bir arada gösterir. Morris Paltsev ve Reilly'e göre MAC eğrisi, azaltılan emisyon ve CO₂ fiyatı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. McKinsey, MAC eğrilerini, belirli bir azaltım önlemi ile ne kadar emisyon azaltılabileceğinin ve buna bağlı olarak ton başına azaltılan CO₂ maliyetinin veya kazancının ne kadar olacağını gösterildiği eğriler olarak tanımlamaktadır. McKinsey, bir önlemin maliyetini ve potansiyel CO₂ tasarrufunu hesaplamaktadır. Maliyet, yıllık ilave işletme maliyeti ile potansiyel maliyet tasarrufu arasındaki farkın engellenen emisyon miktarına bölünmesi ile bulunur. CO₂ azaltım potansiyeli teknolojik potansiyeldir, yani örneğin enerji arzı için teknolojinin potansiyeli; teknolojinin kapasitesi, verimi, işletmesi ve bulunabilirliği kavramları ile açıklanabilmektedir [1].

MAC eğrileri, belli bir sektör veya tüm ekonomi için potansiyel düşük karbon teknolojilerini ve bu teknolojilerin muhtemel etkilerini göstermek, bu teknolojilerin maliyetleri hakkında genel bir bakış açısı sağlamak için kullanılırlar. MAC eğrisi bu seçeneklerin belirlenen bir başlangıç noktasına göre (marjinal) maliyetlerini ve karbon azaltım potansiyellerini sunmaktadır [21].

Karbon tasarrufu projelerinin göreceli yararlarını karşılaştırmak için kullanışlı araçlardır. Karbon azaltım seçenekleri arasında; birim ton karbon azaltımı başına maliyeti net bugünkü değer üzerinden gösterirler ve her seçeneğin yararlarını görselleştirmeye yardımcı olurlar [7]. Karbon azaltımı yatırım projeleri, net bugünkü değer dışında, geri ödeme veya iç karlılık oranı gibi bilinen finansal yöntemlerle değerlendirilebilir [5].

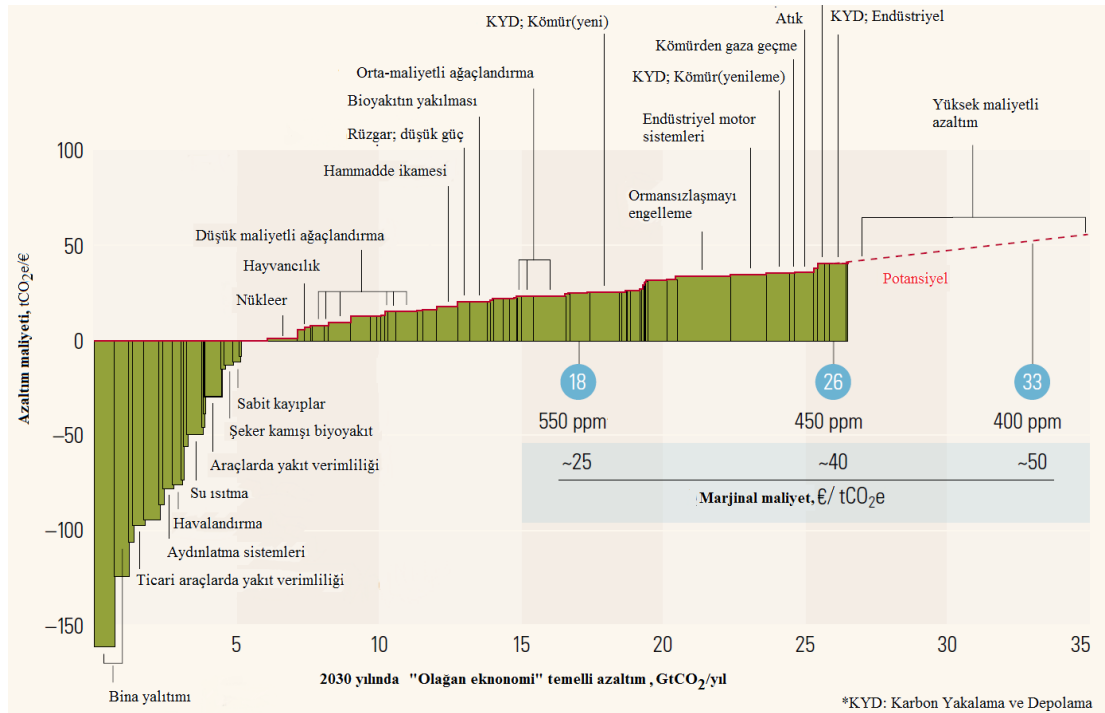
Genellikle MAC eğrileri ekonomide; enerji, endüstri, atık, binalar, ulaşım, tarım ve ormancılık gibi birçok farklı sektörde emisyon azaltım olanakları, temiz enerjiye geçiş, enerji verimliliğini iyileştirme, ormansızlaşmayı engelleme, tarımsal uygulamaları iyileştirme ve atık gazın yakılması (ham petrolün çıkarılması sırasında oluşan) gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [20,21].

2007 yılında McKinsey&Company'nin küresel sera gazı azaltım maliyet analizleri konusunda farklı sektörler için karbon azaltım eğrilerini yayınlamasından sonra

popüler olmaya başlamışlardır [5,6]. McKinsey'nin çalışmaları sonucu, iklim değişikliğini azaltma konusunda çalışan araştırmacıların ve karar vericilerin çalışma odağına yerleşmişlerdir. McKinsey, 2007 ve 2009 yılları arasında farklı ülkeler için 14, küresel bazda da bir adet maliyet eğrisi yayınlamıştır.

Şekil 3.1'deki eğri 2007 yılında McKinsey tarafından 2030 yılı için hesaplanmış küresel seragazi azaltım maliyet eğrisidir. Çalışmada atmosferdeki emisyon konsantrasyonunun 550 ppm, 450 ppm ve 400 ppm olacağı esasına dayalı olarak üç farklı emisyon azaltım hedefi seçilmiştir. Ppm (parts per million) konsantrasyon tanımlamak için kullanılan bir birim olup, milyonda bir birimi ifade etmektedir. Örneğin; 400 ppm'lik hedef, 1 milyon molekül havada en fazla 400 molekül karbondioksit olması hedefini belirtmektedir.

Bu üç hedef, savunucularına göre hava sıcaklığının 2°C'den fazla artmasını engelleyecek olan emisyon konsantrasyonuna göre belirlenmiş değerlerdir [23].



Şekil 3.1 : McKinsey'nin 2007 yılında hazırladığı karbondioksit eşdeğeri küresel seragazi azaltım maliyet eğrisi [23].

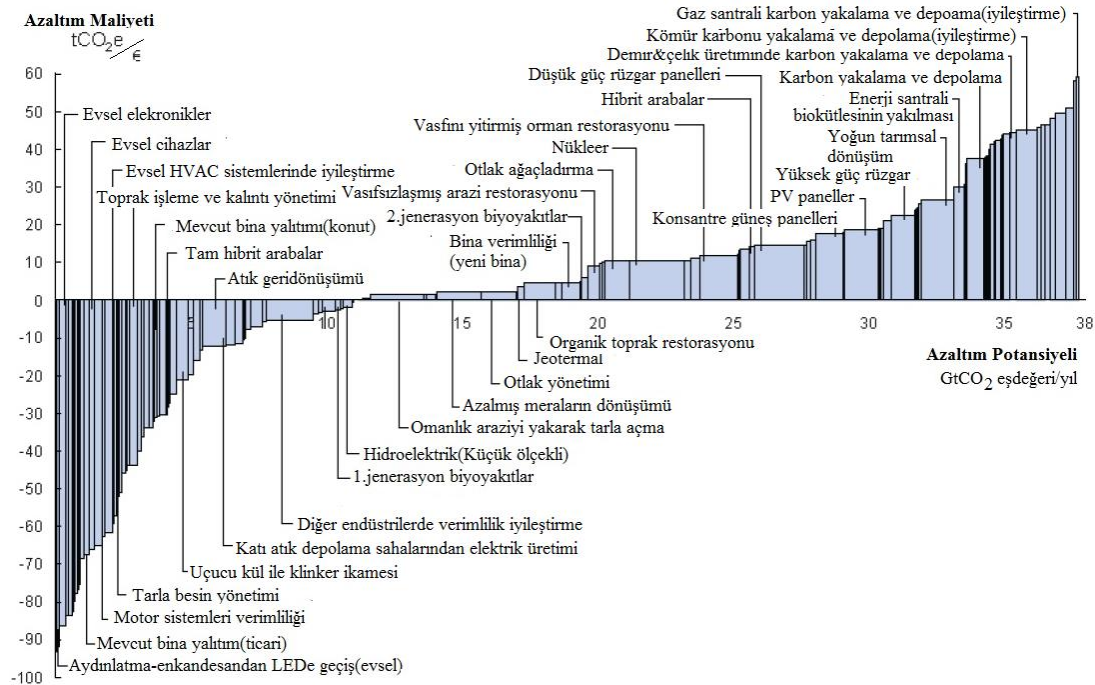
Eğrinin en sol tarafında çoğunlukla enerji verimliliği projeleri yer almaktadır. Binalarda ısı yalıtımı uygulaması gibi önlemler, enerji talebini düşürerek emisyon azaltımı sağlayacaklardır. Yani grafiğin altında kalan azaltım önlemleri için, birim karbon azaltımının maliyeti değil kazancı olacaktır. Eğrinin sağ tarafında bulunan

projeler ise, enerji üretimi ve üretim endüstrisinde kullanılacak rüzgar enerjisi, karbon yakalama ve depolama gibi daha az seragazi salımı olan buna karşılık maliyetleri yüksek yeni teknolojilerdir [23].

Şekil 3.1'den de görüleceği üzere, örneğin 450 ppm konsantrasyonu sağlamak için, 2030 yılına kadar toplamda 26 gigaton CO₂ salım azaltımı yapılması gerekmektedir. Şekil, bu hedefin tutturulabilmesi için, x ekseninde 26 gigatonluk azaltım potansiyeline kadar sıralanmış olan tüm önlemlerin maliyet etkin bir sıra ile uygulanabilirliğini göstermektedir. Bu senaryoda, eğride belirtilen son teknoloji olan endüstriyel karbon yakalama ve depolama teknolojisinde karbonun marjinal azaltım maliyeti ton başına 40 €'dur [23].

Sınırın 550 ppm olduğu diğer bir azaltım senaryosunda ise, 2030 yılına kadar toplamda 18 gigaton CO₂ salım azaltımı yapılması gerekir, ve son teknolojinin karbon marjinal azaltım maliyeti bu durumda ton başına 25 € olmaktadır.

Şekil 3.2'de McKinsey'nin 2009'da hazırlanan 2030 yılı projeksiyonlu küresel MAC eğrisi gösterilmiştir [3]. 2009'da hazırlanan eğri, 2007'de hazırlanan eğrinin daha kapsamlı bir güncellemesidir.



Şekil 3.2 : McKinsey'nin 2009 yılında hazırladığı 2030 yılı için küresel maliyet eğrisi [3].

Şekilde küresel bazda gigaton (Gt) cinsinden karbondioksit eşdeğeri azaltım önlemleri azaltım potansiyeline göre sıralanmıştır. Bunlara karşılık her önlemin ton CO₂ azaltım başına birim azaltım maliyeti (Euro cinsinden) verilmiştir. Örneğin grafikte en solda yer alan azaltım önerisi olan evsel kullanımda enkandesen lambadan LED kullanımına geçilmesinde toplam azaltım potansiyeli sütunun alanından hesaplanabileceği üzere düşüktür, ancak burada azaltılan birim CO₂'in yıllık tasarrufu diğer projelere göre çok yüksektir.

McKinsey 2009 yılında hazırladığı küresel MAC eğrisini, küresel mali krizden dolayı oluşacak güncel emisyon azaltımlarını ve daha yüksek fosil yakıt fiyatlarını yansıtılabilmek amacıyla 2010 yılında güncellemiştir [3].

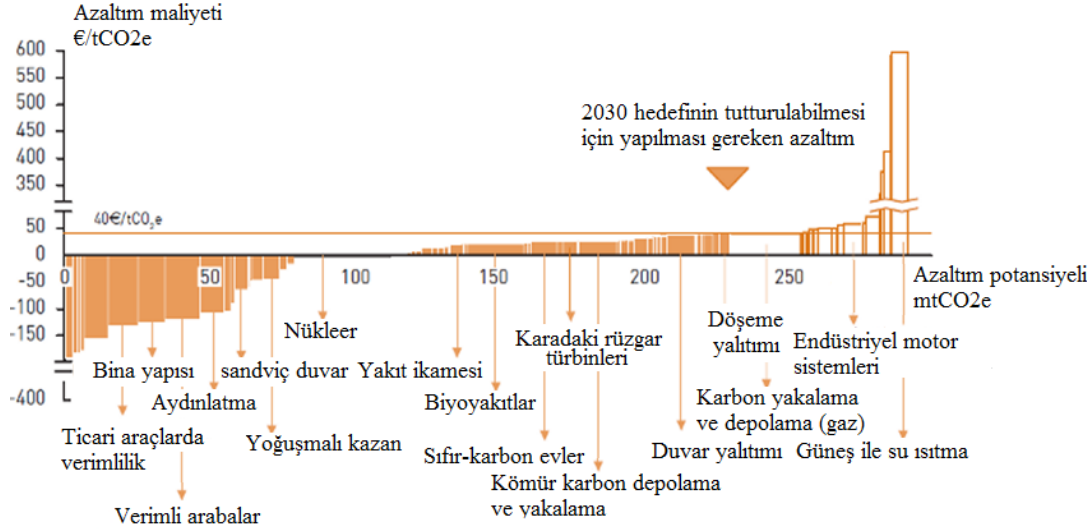
McKinsey&Company, küresel ve ulusal bazda karbon azaltım hedeflerinin hangi düşük-karbon teknolojisi ile tutturulabileceği ve bu projelerin uygulanabilir olması için karbon fiyatının ne kadar olması gerektiği konusunda çalışmalar yapmaktadır [7].

Eğriler, genellikle iklim değişikliği azaltımının teknolojik ve ekonomik zorluklarının farkında olmayan paydaşlar için hazırlanmıştır. Çalışmayı yapanlara göre; bu eğri sera gazı salımlarını azaltmada, küresel bir karar vermeye yardımcı olan bir başlangıç noktası olarak hizmet etmektedir. Bu aşamada farklı sektörlerin, bölgelerin, azaltım önlemlerinin göreceli önemi azaltım maliyeti temellerine dayandırılır.

McKinsey MAC eğrileri, azaltım önlemlerinin bireysel olarak değerlendirilmesine dayanır, yani her bir önlemin maliyeti ve emisyon azaltım potansiyeli kendi içinde diğer azaltım önlemlerinin etkilerinden bağımsız olarak değerlendirilir, daha sonra önlemler maliyetlerine göre ucuzdan pahalıya olacak şekilde sıralanır. Bu gösterim tarzı, karbon vergisi konması durumunda, karbon vergisi maliyetinin altında kalan önlemlerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Şekil 3.3.'deki MAC eğrisi İngiltere ekonomisi için hesaplanmış bir eğridir. Eğri arz bakış açısıyla hazırlanmıştır ve gerçek azaltım talep öngörüsünü dikkate almamaktadır. Bu senaryodaki eğri, düşük karbon teknolojilerinin finansal olarak uygulanabilir olması için karbon fiyatının olması gereken değerlerini göstermektedir. Grafikte İngiltere'nin hedeflerine ulaşmasında yapılması gereken azaltım ve azaltım önlemlerinin marjinal maliyetleri verilmektedir. İngiltere'nin 2030 karbon azaltım

hedefi 230 MtCO₂ eşdeğeridir ve bu noktada karbonun maliyeti 40 euro'dur. [15]. Bu durumda İngiltere'de hedeflere ulaşabilmek için, karbon vergisinin 40 euro olarak belirlenmesi durumunda, bunun altında kalan tüm azaltım önlemleri maliyet etkin olarak uygulanabilir olacaktır.



Şekil 3.3 : McKinsey'nin İngiltere ekonomisi için hesapladığı MAC eğrisi [7].

3.1 MAC Eğrileri Oluşturulurken Dikkate Alınması Gereken Bileşenler

MAC eğrileri oluşturulurken, farklı azaltım önlemleri bir grafik üzerinde gösterildiğinden, özellikle finansal ve teknolojik etmenler olmak üzere, birçok zorlukla karşılaşılabilir. Aşağıda karşılaşılan zorluklar detaylı olarak açıklanacaktır.

3.1.1 Uygulama bariyerleri

Uygulama bariyerleri ayrı teşvikler, bilgi yetersizliği, finansal engeller, eylemsizlik ve yol bağımlılığından oluşur.

3.1.1.1 Ayrı teşvikler

Ayrı teşvikler, enerji tasarrufu yatırımlarında, çoğu durumda düşük enerji giderlerinden yatırımcının faydalanamamasına neden olmaktadır. En önemli örneklerinden biri; kiralanın mülkün ısı yalıtımıdır. Mal sahibi yalıtım masraflarını karşılar ancak düşük enerji faturalarından kiracı yararlanır. Bu durumda, kiracı evin ısı yalıtımına yatırım yapması için teşvik edilebilir, ancak kiracının uzun süreli kalacağına güvencesi olmadığı için teşvik yetersizdir. Buna karşılık, yararların direkt olarak kiracının tarafına olmasından ve daha düşük ısıtım giderlerinin daha yüksek

kira ücretine dönüştürülebileceğinin ya da verimlilik önlemlerinin mülkün satış fiyatını artıracığının garantisi olmadığından dolayı, mülk sahibini özendirici bir yanı da yoktur [3].

3.1.1.2 Bilgi yetersizliği

Bilgi yetersizliği, yetersiz kararlar vermeye neden olur. Bunlar enerji fiyatlarındaki olası artışların bilinmemesi veya enerji verimli önlemlerin gelişiminin tahmin edilememesi dolayısıyla daha çok bina sektöründe gerçekleşir. Ayrıca, potansiyel tasarruf imkanları konusunda da bilinç eksikliği vardır [3].

3.1.1.3 Finansal engeller

Sermaye piyasasındaki finansal engeller, yüksek ön ödeme gerektiren enerji verimlilik önlemlerinin bireyler veya firmalar tarafından uygulanmasına engel olur. Örneğin mantolama, yalnızca azalan enerji faturaları ile kendini birkaç yılda geri ödeyecek görece yüksek bir yatırım maliyeti gerektirir. Her ne kadar önlemin net bugünkü değeri pozitif olsa da, tüm mülk sahipleri bunu sağlayacak ön sermayeye sahip olmayabilir [3].

3.1.1.4 Eylemsizlik

Eylemsizlik (inertia), bireylerin ya da firmaların her potansiyel karar verme noktasında yararları maksimize etmektense alışkanlıkla veya var olan standartlara göre hareket etmeleridir. Özellikle, daha az enerji-yoğun olan işletmelerde, firmalar içyapıları, kültürleri ve stratejileri doğrultusunda daha maliyet etkin enerji verimli önlemlerden yararlanamamaktadır [3].

3.1.1.5 Yol bağımlılığı

Yol bağımlılığı (path dependency), veya var olan ağ dışsallıkları, her ne kadar düşük karbon teknoloji kullanımına geçmek daha yararlı olacaksa bile, işletmenin karbon-yoğun teknolojilere sıkışıp kalmasına neden olabilir. Batık maliyetler (işlemin yapıldığı anda gerçekleşen ve vazgeçilmesi durumunda geri alınması mümkün olmayan maliyetler) ve yerleşmiş teknoloji ağı yüksek karbonlu teknolojilerin kullanımına devam edilmesini zorunlu kılabilir [3].

3.1.2 İskonto oranı

Paranın zaman değerini anlayabilmek için farklı zamanlarda gerçekleşen gelecekteki getirilerin veya maliyetlerin nakit akımlarının her birinin değerinin aynı zaman noktasına getirilmesi ve karşılaştırılabilir olması için iskonto oranı kullanılır. İskonto oranı ne kadar yüksek olursa, proje fazında meydana gelecek maliyetler ve finansal kazançlara görece daha çok ağırlık verilmiş olur. Maliyetinin büyük oranı yatırım maliyeti olan teknolojiler için, proje başlangıcında gerçekleşen iskonto oranı ne kadar düşükse, yatırım o kadar ekonomik olacaktır. Daha yüksek bireysel iskonto oranına sahip piyasa katılımcısı, projeyi meşrulaştırabilmek için daha yüksek karbon fiyatına ihtiyaç duyacaktır [3].

3.1.3 Zamanlararası sorunlar

MAC eğrileri belirli bir zaman periyodunu dikkate almaktadır. Yani azaltım maliyetleri, ilgilenilen periyottaki azaltım potansiyellerine bağlıdır ve öncesinde olanlarla veya sonrasında olacaklarla ilgili bilgi vermemektedir. Düşük karbon teknolojilerinde daha önce yapılan yatırımlar veya var olan politikalar, azaltım maliyetlerini ve potansiyellerini ve gelecek iklim politikaları beklentilerini etkiler. Belirlenen bir yıl ve karbondioksit fiyat seviyesi için toplam azaltım seviyesi ve teknolojiye özgü azaltım seviyesi önceki yatırımlara bağlı olarak önemli derecede değişebilir. Ayrıca, gelecekteki CO₂ vergisi artış beklentisi belirsizlikleri ortadan kaldırılabileceğinden yatırımcıyı azaltım önlemlerine yatırım yapmaya ikna etmek kolaylaşabilir. Yani ilgili periyot öncesini ve sonrasını da dikkate alarak emisyon yolu oluşturmak ve karbon fiyatı senaryosu yapmak azaltım eğrisinde önemli rol oynamaktadır [3].

İklim politikaları bağlamında uzun süreli kararların temeli olduğundan, zamanlararası belirsizlikleri dikkate almak çok önemlidir. Örneğin bir elektrik santrali yapımına karar verildiğinde, kullanım ömrü dikkate alınarak hesap yapılmalıdır. Çünkü bu yatırım 2050 yılında hala azaltım olanaklarını etkiliyor olabilecektir [3].

3.1.4 Etkileşimler

McKinsey'nin ulusal bazda hazırladığı çalışmasında (Şekil 3.2) maliyet ve azaltım tahminleri yapılırken yalıtım, nükleer santraller ve ısı pompaları gibi azaltım

önlemleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ancak, enerji sistemindeki ve emisyon azaltımındaki değişimler birbirbirleri ile etkileşimleri olan dinamik süreçlerdir. Eğer bir azaltım önlemi uygulanırsa, geriye kalan azaltım önemleri için geçerli olacak referans noktası değişir; elektrik üretimindeki karbonsuzlaştırma, elektrikle ısıtılan evlerde yapılacak yalıtımın azaltım potansiyelini düşürecektir. Bir kere azaltılan emisyonlar, ikinci defa hesaba katılamaz. Bu etkileşimleri göz ardı etmek, çifte hesaplamaya (mükerrer sayıma) ve olduğundan yüksek tahmin yapılmasına neden olur. Önlemleri tekil olarak değerlendirmek, referans noktasında tutarsızlıklara neden olur [3].

Referans teknoloji, azaltım maliyetini ve potansiyelini değerlendirmede belirleyici bir değişkendir. Bir rüzgar türbininin azaltımının maliyeti ve büyüklüğü, yerine geçeceği jeneratörün türüne göre değişir, genel bir ifade ile rüzgar türbini doğalgaz değil de kömür santralının yerine geçerse, azaltım daha çok ve maliyet etkin olacaktır [3].

Referans belirleme dışında, etkileşimler başka yollarla da olabilir. Örneğin iyi yalıtılmamış ve fosil yakıtla ısıtılan bir binada emisyonlar yüksek olacaktır, bu emisyonlar yalıtım yapılarak azaltılabilir, ama bunun yanında odun peletli kazanlara geçilirse (ki bunlar sürdürülebilir, yenilenebilir ve karbon nötr kaynaklar olarak değerlendirilmektedir [24]), yapılan yalıtımın maliyet etkinliği ve toplam azaltım potansiyeli azalacaktır [3].

Etkileşimler yalnızca belirli bir sektör içinde değil, sektörler arasında da söz konusudur. Elektrikli ısı pompalarına veya elektrikli araçlara olan talebi elektriğin fiyatı ve ulaşılabilirliği etkilemektedir. Tam tersine elektriğin fiyatı da son tüketicinin mevsimsel veya günlük talebine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, biyokütle binalarda ısıtma, ulaşımda biyoyakıt ve elektrik üretiminde yakıt olarak kullanılabilir, ancak genel olarak biyokütlenin ulaşılabilirliği kısıtlıdır. Eğer biyokütlenin bina ısıtmasında kullanımı yaygınlaşırsa, biyoyakıt olarak araçlarda veya elektrik üretiminde kullanımında eldesi zorlaşacaktır. Bunun sonucunda, bina ısıtması için bu önlemin kullanılması, elektrik veya ulaşım sektörü için kayda değer olumsuz etkilere neden olabilecektir [3].

Sektör içi ve sektörler arası etkileşimlere ek olarak, uluslararası etkileşimler de mevcuttur. Eğer bir bölge, bir azaltım önlemine agresif bir yaklaşımla yatırım

yaparsa, bu o teknolojinin maliyetini düşürebilir, ve teknoloji transferi ile, dünyanın geri kalanında da o teknoloji için marjinal karbon azaltım maliyeti azalabilir. Alternatif olarak, eğer bir bölgenin teknoloji arayışı, o teknoloji için küresel tedarik zincirini kısıtlıyorsa, ve eğer dünyanın geri kalanı daha az ve daha pahalı alternatif seçeneklere sahip ise, bu durum küresel kümülatif azaltım maliyetini artırabilecektir [3].

Enerji fiyatları, bireysel azaltım maliyetlerini etkilediği için, karbonsuzlaştırma amaçlı oluşturulan MAC eğrileri de değişebilecektir. Enerji sistemindeki karbon salım oranları düştükçe, fosil yakıtlara olan talep azalacak ve bu yakıtların maliyetleri de azalacaktır. Bu da fosil yakıtların kullanımı için öngörülen emisyon azaltım önlemlerinin ekonomik olarak daha az rekabetçi olmasına neden olacaktır [3].

3.1.5 Davranışsal bakış açısı

Davranışsal bakış açısına yani hayat tarzı değişimine bağlı kazançları ölçmek ve değerlendirmek zordur. Görece daha kolay değerlendirilebilenler fiyat kaynaklı enerji hizmet talebi ve geri tepme etkisi (rebound effect) olarak sıralanabilir [3].

Fiyat kaynaklı enerji hizmeti talebi, talebin fiyat esnekliği göstermesinden doğmaktadır. Örneğin, benzin ve dizel fiyatları arttığında sürücüler mesafeyi ve dolayısıyla kullanımı azaltır, doğalgaz fiyatları artarsa ısıtılan alan kısıtlanır, elektrik fiyatları yükselirse elektrikli aletlerin kullanımı azalır. Yani, enerji fiyatlarının artması talebin düşmesine sebep olabilir [3].

Geri tepme etkisi ise, enerji verimliliğindeki iyileştirmelerin, ısıtma ve ulaşımda enerji hizmetlerinin daha çok kullanılmasını tetikleyebilme ihtimalidir. Dolayısıyla, birçok enerji verimliliği iyileştirmesi enerji tüketiminde tahmin edildiği kadar düşüşe sebep olamayabilir. Bunun nedeni, enerji verimliliği önlemlerinin enerji hizmetlerini ucuzlaştırması, bu durumun da tüketicileri daha çok enerji tüketmeye özendirilmesi ve dolayısıyla verimlilik ile oluşacak tasarrufun enerji tüketimi ile dengelenmesi olarak açıklanabilir. Enerji hizmetlerinin tüketimi değişmese bile, dolaylı etkiler farklı enerji hizmetlerine talebi artırabilir. Tüketici verimli bir araba kullanmaya ya da uçuş sayısını artırarak araba kullanımını azaltmaya karar verebilir [3].

3.1.6 Teknolojik sorunlar

Teknoloji deęiřtikçe zamanla teknik potansiyel de deęiřebilir; yani maliyetlerin dūřmesi veya daha verimli sistemlerin geliřtirilmesi ile azaltılan birim CO₂ maliyeti dūřecektir. Örneęin, son günlerdeki derin-deniz (offshore) rüzgar teknolojisindeki geliřmeler, bu önlemin teknik potansiyelini arttırmıřtır. Tersine, gizli maliyetler ve piyasa bariyerleri bu teknolojinin gerçek potansiyelini sınırlayabilir ve ekonomik potansiyelin daha dūřük çıkmasına sebep olabilir [3].

Diğer bir nokta ise, bireysel azaltım önlemlerinin kümelenmiş karakteridir. Tüm teknolojiler ortalama maliyet seviyesinde sunulmakta, ancak gerçek maliyetler kuruluma göre değişmektedir. Örneğin, çoğu yenilenebilir enerji teknolojilerinin kapasite faktörü kurulduğu bölgeye göre hassaslık göstermekte, yani teknolojilerin bölgeye göre maliyetleri farklı olmaktadır [3].

3.1.7 İkincil yararlar

MAC eğrileri genellikle seragazı emisyonlarına odaklanır, ancak seragazı emisyon azaltımının sera gazı emisyon seviyesinin ötesinde bir çok farklı etkisi de vardır. Örneęin, arabalar benzin veya dizelden elektrikliye dönüştüğünde, yalnızca sera gazı azaltımı sağlanmış olmayacak, aynı zamanda yerel hava kirliliği de azalacaktır. Hava kirliliğinin azalması ve pozitif sağlık etkileri sera gazlarını azaltmanın yararlarıdır ki, bu da net azaltım maliyetini dūřürür. Sağlık koşullarını iyileştirmesinin yanısıra fosil yakıt tüketimini ve dolayısıyla ham petrol, doğal gaz ve kömür ithalatını dūřürücü – rüzgar ve gel-git enerjisi gibi yerel enerji formlarına geçerek- enerji güvenliğini artırıcı etkileri de olabilecektir [3].

Yalıtımı iyileştirmek ve çift camlı pencereler kullanmak, enerji verimliliği sağlarken bir yandan da yakıt teminindeki sıkıntıyı azaltmaya yardımcı olacaktır. Binalarda enerji verimliliği önlemlerinin iç hava kalitesini iyileştirme ve gürültüyü de önemli derecede engelleme gibi yararları da sayılabilir [3].

Diğer taraftan, yeni bir tesisat gerektirebilecek enerji verimli lamba kullanımına geçiş gibi azaltım teknolojilerinin ikincil maliyetleri de olabilir [3].

3.1.8 Belirsizliklerin iyileştirilmesi

Son metodolojik sorun, teknolojik öğrenme, enerji fiyatları, iskonto ve talep gelişimi gibi belirsizliklerin sunumudur. Birçok eğri önemli ölçüde belirsizlik içerdiği için, bu

belirsizlikler göz önünde bulundurularak, azaltım verisi kesin ölçümler olarak değil tahminler olarak yorumlanmalıdır. Özellikle, 2030 yılı gibi uzak gelecek için hazırlanan eğrilerde, azaltım maliyetini etkileyecek, karşılıklı bağımlılıktan etkileşimlere kadar birçok önemli belirsizlik mevcuttur. Örneğin petrol fiyatlarının hesaplanan süreç içinde iki katına çıkması, karbon fiyatından bağımsız olarak, referans emisyon değerini değiştirecektir ve azaltım potansiyelini de düşürebilecektir [3].

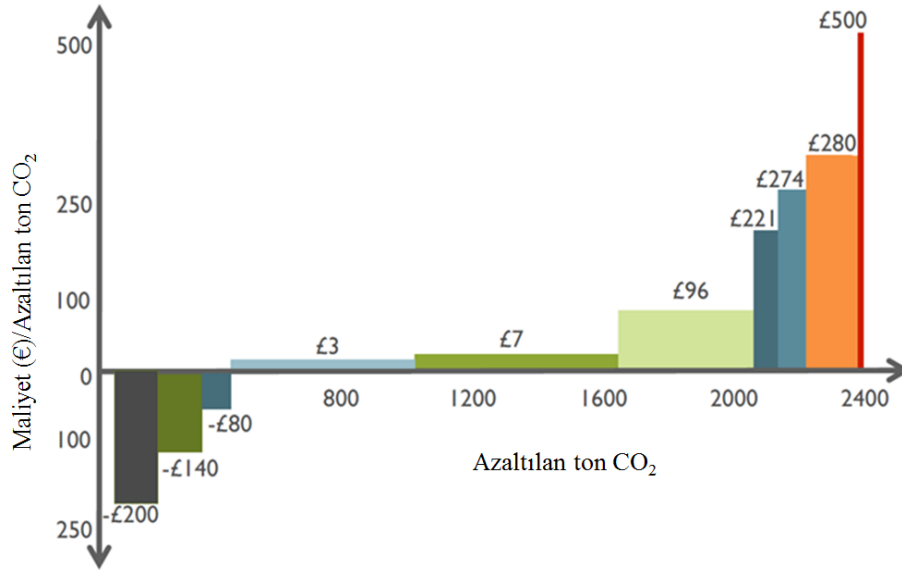
Sonuç olarak, karar vericilere kararlarında bu belirsizlikleri de hesaba katabilmeleri için, maliyet ve azaltım potansiyeli tahminlerinde belirsizliklerin varlığı özellikle vurgulanmalıdır. Bu yaklaşım, belirsizlikleri tolere edebilecek politika araçlarının geliştirilmesini sağlayarak maliyeti ve teknik potansiyeli düşük teknolojilere olan bağımlılığı azaltabilecektir [3]. Bu problemi çözebilmek için, karar vericilere örneğin tek bir MAC eğrisi sunmaktansa, maliyeti etkileyen kilit etkenler için farklı varsayımlar yapılarak farklı MAC eğrilerinin oluşturulması gerekebilir [2].

3.2 MAC Eğrileri Oluşturma

Şekil 3.4'deki örnek MAC eğrisinden de incelenebileceği gibi eğri karbon eşdeğeri emisyon azaltımı için sunduğu teknoloji önerilerini, birim ton eşdeğer karbon başına azaltım maliyeti cinsinden artan bir sıra ile sunmaktadır.

Eğrinin x eksenini projenin ömrü boyunca önerilen teknolojiler ile azaltılabilecek ton eşdeğeri cinsinden karbon miktarını, y eksenini ise her bir teknoloji için azaltılan birim ton karbonun maliyetini gösterir [19]. Eğrideki her bir sütun bir azaltım teknolojisini simgeler.

Marjinal azaltım maliyeti y ekseninde çizilir ve projeler bu maliyet değeri üzerinden düşük olandan yüksek olana doğru sıralanır.



Şekil 3.4 : Örnek MAC eğrisi [25].

Yani grafiğin en sol tarafında kalan öneriler en düşük karbon azaltım maliyetine sahipken grafiğin en sağ tarafındaki teknolojiler en yüksek maliyetli olanlardır. Grafiğin negatif tarafında kalan teknoloji önerileri, negatif azaltım maliyetli projeleri göstermektedir, bu projeler yaşam ömrü boyunca pozitif net bugünkü değer yani tasarruf sağlamaktadır (negatif maliyet); bu projeler karbon eşdeğeri salım azaltımı yaparken enerji tüketimini de düşürmektedir [25,26]. Bu bölümde genellikle enerji verimliliği projeleri yer almaktadır [19]. Negatif MAC değerleri projenin kendi kendini finanse edebildiğini ifade eder [5].

Grafikte y ekseninin pozitif tarafında kalan projeler maliyeti yüksek projelerdir, eğer enerji fiyatları düşerse veya karbon vergileri uygulamaya konulursa uygulanabilir olacaklardır [25]. Pozitif MAC değerleri aksiyon alınıp alınmayacağı ile ilgili yargılama yapılması gerektiğini ifade eder [5]. Bu kısımda yenilenebilir enerji, karbon yakalama ve depolama gibi yeni teknoloji projeleri yer alır [19].

Eğride sağa doğru gidildikçe düşük karbon seçeneklerinin maliyet etkinliği kötüleşir, yani azaltılan her ton karbondioksit başına olan maliyet artar [6]. Grafiğin en sağ tarafında kalan yüksek maliyetli projeler emisyon azaltımında genelde uygulanamaz diye tanımlanıp dikkate alınmamaktadır [25].

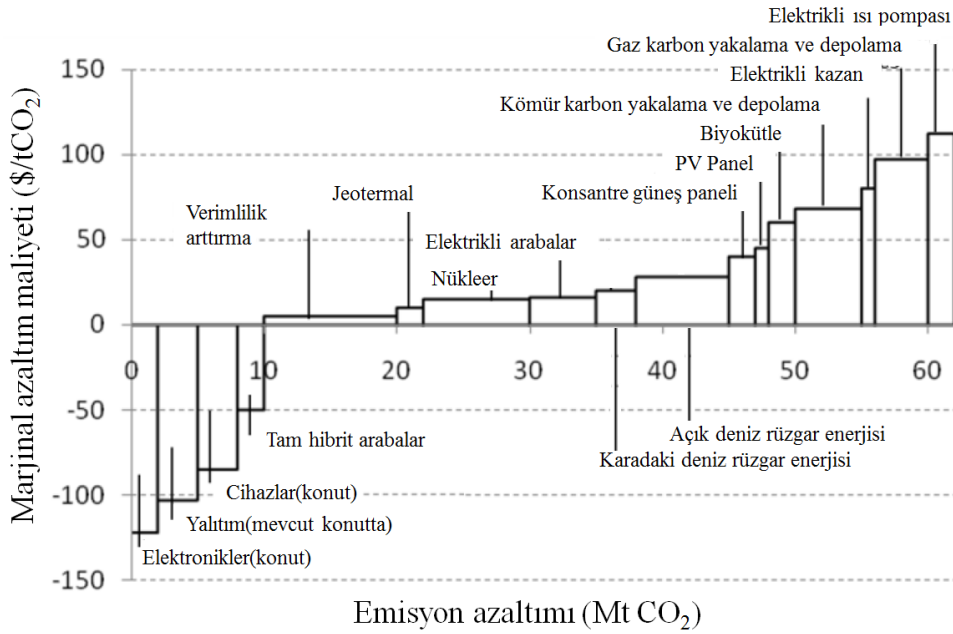
Sütunun genişliği, proje ile engellenebilecek karbon eşdeğeri cinsinden salım azaltım potansiyelinin yıllık toplamına eşittir. Sütunun yüksekliği ise, belli bir azaltım

önleminin ortalama birim maliyetini (pozitif ise) veya ortalama birim kazancını (negatif ise) gösterir [1].

Ayrıca her bir sütunun alanı projenin maliyetini ya da faydasını göstermektedir. [6]

MAC eğrisindeki toplam genişlik tüm azaltım önlemlerinden elde edilebilecek kümülatif CO₂ eşdeğeri emisyon azaltım miktarını verir, alanların toplamı ise tüm önlemler uygulanırsa oluşacak azaltım maliyetini verir.

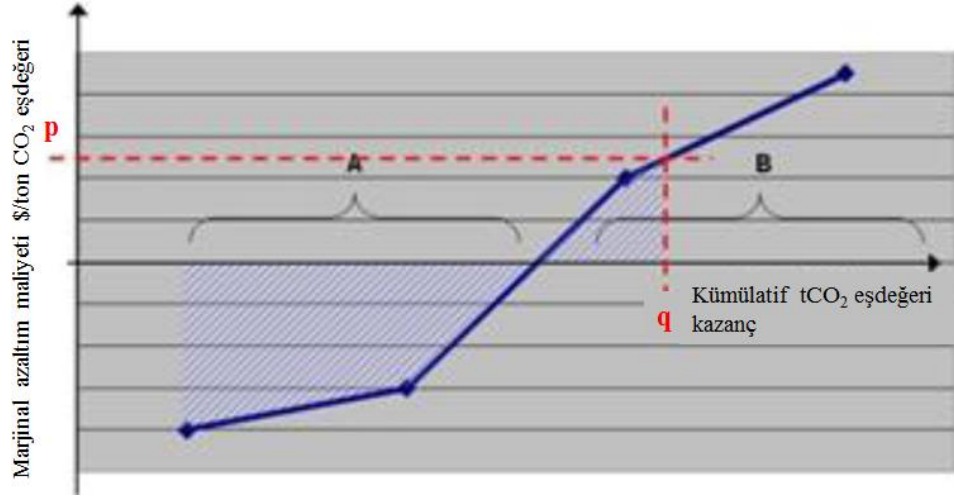
MAC eğrilerini oluştururken farklı güçlü ve zayıf yanları olan çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır [2]. MAC eğrisi, sütun grafik veya çizgi grafiği olarak iki farklı formatta sunulabilir. Şekil 3.5 sütun grafiğe örnektir. İki format da engellenebilecek emisyon potansiyellerini (ve maliyetleri/kazançları) gösterir.



Şekil 3.5 : Sütun grafiği MAC eğrisi örneği [2].

Şekil 3.6 çizgi grafiğe örnektir. Çizgi grafiğinde, çizginin yüksekliği, azaltım önleminin maliyetini, çizginin altında kalan alan da toplam azaltım maliyetini vermektedir [1]. Bu eğriler, ton eşdeğer CO₂ maliyetini son birim emisyon azaltımına göre belirtir.

Belirlenen bir azaltım seviyesi için azaltılan son ilave birim karbondioksitin maliyetini analiz etme olanağı verir. Azaltım eğrisinin integrali (eğrinin altında kalan alan) toplam azaltım maliyetini verir.



Şekil 3.6 : Çizgi grafiği MAC eğrisi örneği [6].

Örneğin Şekil 3.6'da, (q,p) noktaları, q miktarındaki azaltıma karşılık p marjinal maliyetini verir, taralı alan ise toplam azaltım maliyetini göstermektedir [6].

MAC eğrileri, karbon azaltım hedeflerine ulaşmak için olası projeleri görselleştirmede ulusal bazda olduğu kadar şirket bazında da güvenilir ve kullanışlıdır. Hangi projelerin daha çok getirisi olacağını belirlemede ve en hızlı getiriyi yapacak olana göre sıralamada, karara varmada önemli rol oynarlar. Örneğin bir projenin marjinal azaltım maliyet değeri karbon kredisi satın almaktan daha ucuz ise, o zaman bu proje finansal olarak yararlı bir alternatif anlamına gelmektedir [5].

MAC eğrileri farklı şekillerde oluşturulabilir. Kapsadıkları bölgelere, zaman aralığına (time horizon), sektörlerle ve oluşturulma yaklaşımına göre farklılık gösterirler [2].

MAC eğrileri, son birim emisyon azaltımına bağlı maliyeti gösteren grafiklerdir [2]. İzlenen metodolojiden bağımsız olarak başlangıçta, marjinal azaltım maliyetini değerlendirebilmek için CO₂ kısıtlaması olmayan ve hiçbir inisiyatif kullanılmayan bir referans çizgisi belirlenmelidir [1,2]. Hangi azaltım önlemi seçilirse seçilsin, o önlemin sonucu referans noktasına göre değerlendirilir [1].

MAC eğrisi, toplam azaltım maliyetine derinlemesine bir bakış kazandırırken, belirtilen azaltım seviyesi için azaltılan birim CO₂ maliyetini analiz etme imkanı da verir. Ortalama azaltım maliyetleri, toplam azaltım maliyetinin toplam azaltılan emisyon miktarına bölünmesiyle bulunur [2].

İklim değişikliğinin azaltılmasına bağlı ekonomiyi basit bir biçimde sunabilme özellikleri nedeni ile MAC eğrileri genelde politika belirleyiciler tarafından rağbet görmektedir. Politika belirleyiciler eğrilerden toplam azaltım miktarına karşılık marjinal azaltım maliyetini, ayrıca çizgi grafiklerden de CO₂ emisyonu azaltımından sorumlu azaltım önlemlerini görebilmektedir [2].

Diğer taraftan, MAC eğrisi yaklaşımında bazı eksiklikler de mevcuttur. MAC eğrilerinin zayıf yönlerinden biri varsayımların saydamlığı ile ilgilidir. Azaltım teknolojilerinin maliyetleri için yapılan varsayımlar genellikle detaylandırılmamakta ve açıklanmamaktadır. Karar vericilerin güvenini ve verilen kararın doğruluğunu artırmak için, yapılan kilit varsayımları açıklamak yararlı olabilir. Eğrilerin anlaşılması ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için, eğrilerin altında yatan varsayımların ve bu varsayımlara göre değişebilecek sonuçların hassaslığını gösteren analizlerin yayınlanması gereklidir [2].

İkinci olarak, MAC eğrileri azaltım maliyetini belli bir zaman noktası için vermektedir. Bu sunum tarzı yüzünden, emisyon yolu boyunca oluşabilecek maliyet değişimleri hesaba katılamamaktadır. Marjinal azaltım maliyetleri, daha önce denenen azaltım aksiyonlarına ve gelecek periyotlardaki beklentilere bağlı olarak verilmektedir [2].

Ayrıyeten, MAC eğrilerinin Şekil 3.5'deki sütun grafiğinde olduğu gibi teknolojik detay kapsamı durumunda, azaltım miktarı artırılmak istendiği zaman, her tür azaltım önlemi grafiğe eklenebilir. Yani, bu tarz bir görselleştirme teknolojik yapının yol bağımlılığının sunulmasına izin vermez. Örneğin bu tarz bir eğriye, pahalı bir sıfır-karbon teknolojisi önlemi eklenebilmektedir [2].

Ayrıca, bu eğriler genellikle sadece karbon emisyonu azaltımına yoğunlaşmakta ve azaltım ile ilgili tüm maliyetleri karbon emisyonu azaltımına bağlamaktadır. Halbuki çoğu durumda, CO₂ emisyonu azaltımı bir dizi ikincil yararlar da oluşturabilir. Bu ikincil yararlar olarak; iyileştirilmiş enerji güvenliği, CH₄, N₂O gibi sera gazlarının ve hava kirleticilerin azaltılması örnekleri verilebilir [2].

İkincil yararlar, örn: enerji güvenliği ya da hava kirliliğinin azalmasından kaynaklı sağlık gelişimi [3], genellikle MAC eğrilerinde dikkate alınmamaktadır. Çünkü farklı konumsal ve zamansal ölçekler içerdiklerinden ve yapılan araştırmalarda hava kirleticiler ve sera gazlarının azaltılması konusunda çakışmalar olduğundan,

genellikle bunların niceliğini belirlemek çok zordur. İkincil yararlar genel olarak önemsenmemesine rağmen, yine de MAC eğrileri kullanılmaktadır. Çizelge 3.1’de MAC eğrilerinin üstünlükleri ve sakıncaları özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 : MAC eğrilerinin üstünlükleri ve sakıncaları [1,2].

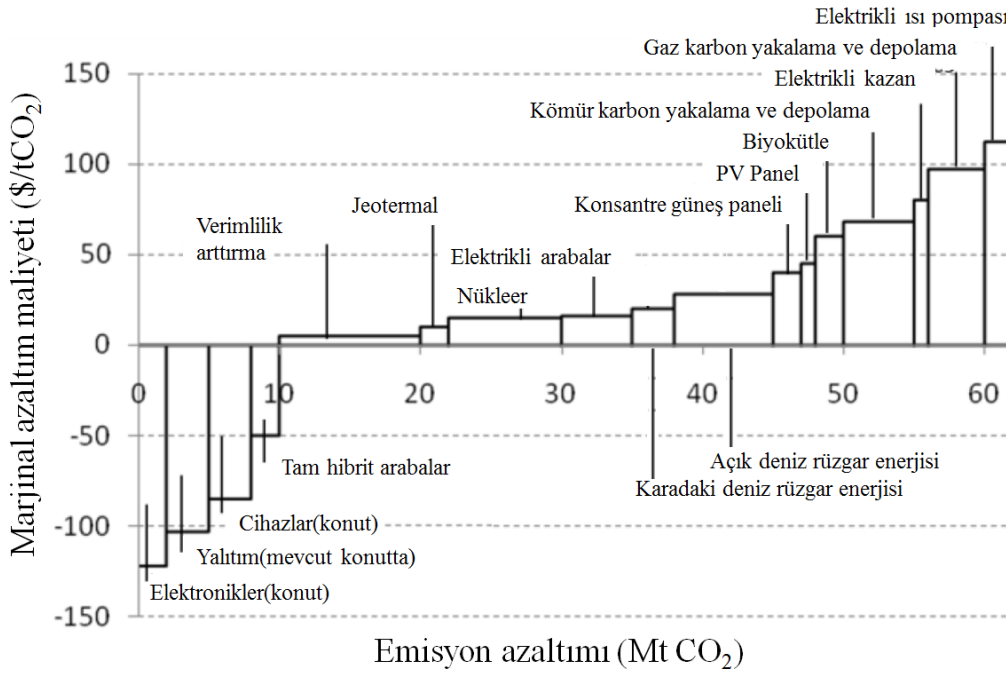
Üstünlükler	Sakıncalar
<ul style="list-style-type: none"> • Belirlenen toplam azaltım miktarına karşılık marjinal azaltım maliyetini sunarlar. • Belirlenen miktarda azaltılması gereken karbon emisyonunun toplam maliyetini verirler. • Ortalama azaltım maliyetlerini hesaplamaya olanak sağlarlar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Belli bir zaman noktasına bağlıdırlar. • Zaman içinde dinamik değildirlir. • Belirsizlikleri sınırlı olarak gösterirler. • Referans noktası varsayımlarına karşı hassastırlar. • Varsayımların saydamlığı konusunda eksiktirler. • İkincil yararları dikkate almazlar.

MAPS’in (2013) yaptığı çalışmaya göre, farklı varsayımlara bağlı olarak farklı MAC eğrileri oluşmaktadır. Yani azaltım önlemlerini gösteren tek bir MAC eğrisi yoktur. Hatta, enerji sistemleri gibi birbirine bağlı sistemlerde eğriler daha da karmaşıklaşmaktadır. Arz tarafındaki emisyon azaltımı, talep tarafındaki emisyon azaltımını etkilemektedir. Enerji sistemleri gibi sistemlerde, azaltım önlemlerinin uygulanma sırası çok önemlidir, çünkü bu sıralama emisyon potansiyelini ve önlemin maliyetini etkileyebilmektedir. Eğer MAC eğrileri politik bir karar için kullanılacaksa, paydaşların, eğrilerin hangi mesajı sunduğu konusunda aynı ortak noktada buluşması gerekir. Eğrileri anlamak için eğrileri oluştururken kullanılan varsayımları da anlamak önemlidir. Paydaşların eğrileri doğru anlayabilip yorumlayabilmesi için bu yapılan varsayımlar olabildiğince açık olmalıdır. Bu açıklık eğrilerin şeffaf, açıklanabilir ve doğru şekilde kullanılabilir olmasını sağlayacaktır. Açıklık ve varsayımların anlaşılabilirliği olmadan, MAC eğrileri politikada veya planlama işlemlerinde yanıltıcı olabilir [1].

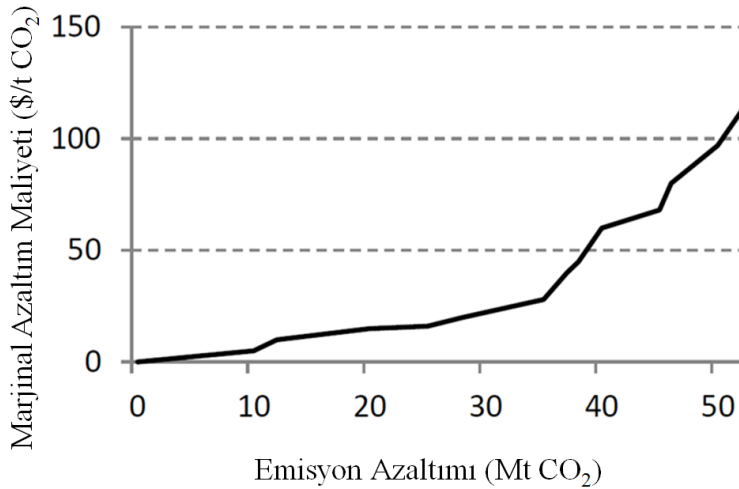
2011’de Ekins ve diğ. ve 2009’da Naucler ve diğ.’nin çalışmalarına göre, MAC eğrileri sera gazlarının nasıl azaltılacağı ile ilgili küresel bir karara varmada, sadece farklı sektörlerin, bölgelerin ve azaltım önlemlerinin göreceli önemini göstermede ve emisyon azaltım maliyetlerine bir temel oluşturmada başlangıç noktası olarak kullanışlıdır [1,3].

3.3 MAC Eğrisi Türleri

2003’de Kesicki’nin çalışmasına göre iki çeşit MAC eğrisi vardır: model türevli (model-derived) ve uzman bazlı (expert-based) eğriler. Uzman bazlı eğriler teknolojik maliyetleri göstermekte ve herhangi bir modele dayanmamaktadır. Şekil 3.7 uzman bazlı MAC eğrisine örnektir. Azaltım önlemlerinin (tekil veya bir grup teknoloji) emisyon azaltım potansiyellerine bağlı varsayımlar üzerine oluşturulurlar. Model türevli MAC eğrileri ise, maliyet ve emisyon azaltım potansiyellerini enerji ve ekonomi modellerinden türetirler [1]. Şekil 3.8 model türevli MAC eğrisine örnektir.



Şekil 3.7 : Uzman bazlı MAC eğrisi [2].



Şekil 3.8 : Model bazlı MAC eğrisi [2].

Uzman bazlı ve model türevli eğriler arasındaki temel fark, uzman bazlı eğrilerin tüm sistemin etkilerini dikkate almamasıdır [1]. Uzman bazlı MAC eğrileri, her azaltım önleminin maliyetini ve azaltım potansiyelini değerlendirmekte, model türevli eğriler ise enerji modellerinin hesaplaması esasına göre oluşturulmaktadır [2]. Model türevli eğrilerde teknolojinin emisyon azaltım potansiyeli enerji sistemi girişindeki oluşumlardan etkilenmektedir. Eğer azaltım aksiyonu talep tarafında ise ve belli bir teknoloji uygulandıysa, uzman bazlı eğriler, elektrik üretim teknikleri değişse bile, aynı emisyon azaltım potansiyelini oluşturur. Model türevli eğriler oluşturulurken ise, analistler, enerji sistemindeki yakıt karışımlarındaki değişikliklere dayanarak emisyon yoğunluğunu otomatik olarak uyarlayan ayrı bir model kullanmaktadır [1].

Uzman bazlı MAC eğrileri ve model türevli MAC eğrileri detaylı olarak incelenmiştir.

3.3.1 Uzman bazlı MAC eğrileri

Uzman bazlı MAC eğrileri, diğer bir deyişle teknoloji maliyet eğrileri, CO₂ eşdeğeri emisyonların referans bir noktaya göre geliştirilmesine, önlemlerin (yeni teknolojiler, yakıt değişimi ve verimlilik iyileştirmeleri gibi) emisyon azaltım potansiyellerinin ve bunların maliyetlerinin belirlenmesi için uzmanlar tarafından yapılan varsayımlara dayanılarak oluşturulur. Önlemler açık bir şekilde, belirlenen emisyon azaltım seviyesine ulaşmanın maliyetini göstererek, en ucuzdan en pahalıya doğru sıralanır [2]. Herhangi bir modele dayanmayan uzman bazlı MAC eğrileri teknolojik maliyetleri sunmaktadır. Emisyon azaltım potansiyelleri ve bunlara bağlı maliyetlerin varsayımları üzerine oluşturulmuşlardır [1].

Bu yöntem ilk kez ham petrol kullanımını ve elektrik tüketimini azaltmak için 1970'li yıllarda uygulanmıştır; ilk karbon odaklı örnekleri ise 1990'lara dayanır. Uzman bazlı MAC eğrileri McKinsey&Company'nin (2010) ülkeler bazında yaptığı detaylı çalışmaları sayesinde son yıllarda dikkat çekmeye başlamıştır. McKinsey öncelikle ülkesel bazda MAC eğrileri çalışmaları yapmıştır, daha sonra da uluslararası bazda bir kaç uzman bazlı marjinal azaltım eğrisi yayınlamıştır [2].

Kullanılan iskonto oranına, devlet teşviklerinin ve vergilerin de göz önünde bulundurulmasına, toplumsal ve özel sektör perspektifine göre, uzman bazlı eğriler azaltım eğrilerinden ayrılmaktadır. Toplumsal perspektifle oluşturulan eğrilerde düşük bir iskonto oranı kullanılmaktadır. Özel sektör perspektifiyle oluşturulan

eğriler, yatırımcıların karar verme aşamasında karşılaşılabilecekleri maliyetleri ölçmek için, teşvikleri, vergileri ve daha yüksek olan faiz oranlarını kullanmaktadır [2].

Uzman bazlı MAC eğrilerinin en önemli üstünlüğü kolay anlaşılabilir olmalarıdır. Marjinal maliyetler ve azaltım potansiyeli tartışmasız bir şekilde belirli bir azaltım önlemi tarafından temsil edilmektedir. Eğer belirli bir azaltım seviyesi hedeflendiyse, bu hedefe ulaşmak için hangi azaltım önleminin uygulanması gerektiği belirlidir. Ayrıca, çalışmanın detayına göre teknolojik detaylar da genişleyebilir [2].

Uzman bazlı MAC eğrileri, genellikle azaltım önlemlerinin teknolojik potansiyelini göstermektedir. Uzman kararına bağlı MAC eğrileri her bir teknolojiyi bireysel olarak değerlendirdikleri için, belirli bir sınıra kadar teknolojiye özgü vergiyi ve teşvik bozulmalarını (örneğin; fosil kaynakların çıkarılmasına izin vererek yenilenebilir enerji sektörünü rekabetçi olarak geride bırakmak gibi) da göz önünde bulundurmaktadır. Diğer yandan, davranışsal bakış açısı ve uygulama bariyerleri dikkate alınmadığı için azaltım potansiyelleri maksimum ölçüde verilmektedir [2].

Davranışsal bakış açısı, (enerji hizmetlerindeki fiyat değişimine göre talepte oluşacak değişimler sonucunda enerji servis hizmetlerine olan talebin artması ya da azalması gibi) ve geri tepme etkisi (rebound effect: tüketici maliyetlerinin düşmesi ile ortaya çıkan tüketimdeki artış- örn: verimlilik iyileştirmeleri gibi) bazen referans talebi ayarlamak için dışsal olarak dikkate alınabilmektedir. Piyasa kusurlarının (hükümetin belirli bir sektöre tavan/tabandan fiyatı veya vergi uygulaması ile diğer sektörlerle arasında rekabetçiliği bozması gibi) dikkate alınmaması azaltım maliyetlerinin negatif (yani kazanç sağlayan projeler) olarak belirlenmesine sebep olabilir. Bu kazançların, ancak piyasa bozulmalarının üstesinden gelindiği zaman farkına varılabilecektir. Piyasa bozulmaları; ayrık teşvikler (split incentive; örneğin bir dairenin mal sahibinin enerji verimliliği ile ilgili yatırımı yapması ancak bundan mal sahibinin değil kiracının yararlanması), bilgi eksikliği ve geri ödemesi uzun süren ön ödemeler şeklinde örneklenebilir [2].

Uzman bazlı eğrilerin sakıncalarından biri gerçek durumu çok fazla basitleştirmeleridir. Bir teknoloji için tek bir fiyat belirlemek her ne kadar mantıksız olsa da, birçok egride bu basitleştirme yapılmaktadır. Bir çok güneş ya da rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynağı için, çevresel koşullara ve güç üretim santrallerinin yerleşimlerine bağlı farklı maliyet basamakları mevcuttur. Dahası, uzman bazlı

çalışmalar en çok bulunan teknoloji seçimlerini göz önünde bulundurmakta–gerçekleştirilebilme ihtimaline bağlı olarak– yani gelecekteki umut vaadeden teknolojileri maalesef dikkate alamamaktadırlar. Sektörel çalışmalar için, azaltım maliyetlerinin farklı karar vericiler tarafından hesaplanması sonucu eksiklikler ortaya çıkabilir [2].

Uzman bazlı MAC eğrilerinin bir diğer sakıncası ise, referans noktası varsayımlarındaki muhtemel tutarsızlıklardır. Bu referans durum için yapılan varsayımlar ile ilgilidir. Azaltım potansiyeli ve marjinal maliyet hesaplamaları belirli bir referans noktası ile karşılaştırılarak yapılır. Bu kapsamda, mükerrer hesaplama yapmamak için, en ucuz maliyetli azaltım seçeneklerinin zaten uygulandığı düşünülerek referans senaryonun belirlenmesi çok önemlidir.

Farklı etkileşimlerin dikkate alınmaması uzman bazlı eğrilerin en önemli eksikliklerindedir. Buna bir örnek emisyon azaltımlarının zamanlararası etkileşimleridir. Emisyon yolunun (emission pathway: emisyon azaltımı için seçilen yol, belirlenen referans noktasının öncesinde izlenmiş olan ve sonrasında izlenecek olan yol) azaltım eğrisinde çok önemli bir etkisi vardır. Bu, teknolojik öğrenmeden ve gelecek koşullar hakkında çeşitli olasılıklardan kaynaklanan muhtemel maliyet azaltımından kaynaklanmaktadır [2].

Ayrıca uzman bazlı MAC eğrileri, azaltım önlemleri arasındaki etkileşimleri, ekonomik bağımlılıkları ve davranışsal bağımlılıkları yeterince kapsayamamaktadır. Örneğin ulaşım sektöründe elektriğin fazla kullanılmasının sonuçları, başka bir önlemin etkilerinin değerlendirilmesini etkileyebilir, ancak bunu o değerlendirmeye katmak oldukça zordur [2].

Son zayıflık da, teknoloji maliyetleri, enerji fiyatları, indirimler, talep gelişimi gibi etkileyici faktörler ile ilgili belirsizliklerin sunulamaması ile ilgilidir. Uzak geleceğe yönelik azaltım maliyetlerini ve potansiyellerini özetleyen eğriler, finansal ve teknolojik parametreler ile ilgili önemli belirsizlikler içermektedir [2]. Çizelge 3.2’de uzman bazlı MAC eğrilerinin üstünlükleri ve sakıncaları özetlenmiştir.

Çizelge 3.2 : Uzman bazlı eğrilerin üstünlükleri ve sakıncaları [2].

Üstünlükler	Sakıncalar
<ul style="list-style-type: none">• Geniş teknolojik detay içermesi• Teknolojiye özgü piyasa bozulmalarını dikkate alabilme ihtimali• Teknolojiye özgü azaltım eğrilerinin kolay anlaşılabilirliği	<ul style="list-style-type: none">• Davranışsal faktörlerin dikkate alınmaması• Azaltım önlemleri arasındaki etkileşimlerin ve bağımlılıkların dikkate alınmaması• Referans emisyon çizgisinin istikrarsız olma ihtimali• Zamanlararası etkileşimlerin sunulmaması• Bazı durumlarda bir ekonomik sektör ile sınırlı kalınması• Belirsizliklerin sınırlı olarak gösterilmesi• Makroekonomik geri bildirimlerin sunulmaması• Basitleştirilmiş teknolojik maliyet yapısı

Uzman bazlı model oluşturulurken analistler, azaltım önlemi veya teknoloji başına teknolojik maliyetleri ve muhtemel emisyon azaltımını hesaba katmaktadır. McKinsey tarafından oluşturulan eğriler, Dünya Bankası'nın Enerji Sektörü Yardımcı Yönetim Programı (Energy Sector Management Assistance Program, ESMAP) uzman bazlı eğrilerine örnek teşkil etmiştir. Uzman bazlı eğriler marjinal azaltım maliyeti hesaplarken basitleştirilmiş bir metodolojiye dayanmaktadır. Her azaltım aksiyonu için aşağıdaki formül kullanılmaktadır [1];

$$c_t = \frac{c_{mi} - c_{bi}}{CO_2e_{bi} - CO_2e_{mi}} \quad (3.1)$$

C_t = azaltım maliyeti (R/T CO_2e_{bi})

C_{mi} = önlem uygulandığında gerçekleşen maliyet

C_{bi} = önlem uygulanmadığında gerçekleşen referans maliyet

CO_2e_{bi} = önlem uygulandığında gerçekleşen eşdeğer karbon emisyonu

CO_2e_{mi} = önlem uygulanmadığında gerçekleşen eşdeğer karbon emisyonu

Azaltım maliyeti, planlama dönemi içerisinde belirli bir yıl için olabildiği gibi, planlama dönemini kapsayan kümülatif maliyet de olabilir. Eğer belirli bir yıl için ise, yatırım maliyeti iskonto oranı ve teknolojilerin kullanım ömrü kullanılarak yıllık hale getirilip yıllık işletme maliyetlerine (bakım ve yakıt) eklenir. Önlemin azaltım maliyeti yıllık hale getirilmiş toplam maliyetin yıllık azaltılan CO₂ maliyetine bölünmesi ile hesaplanmaktadır [1].

3.3.2 Model türevli MAC eğrileri

MAC eğrilerinin diğer bir yaygın oluşturulma yaklaşımı, maliyet ve emisyon azaltım potansiyelini enerji modellerinden üretmektir. Bunun için bir dizi teknik kullanılarak birçok model kullanılmıştır. En çok uygulanan yöntemlerde, ekonomiye yönelik yukarıdan aşağıya (top-down) modeller ve mühendisliğe yönelik aşağıdan yukarı (bottom-up) modeller olarak ayırım yapılabilmektedir. Her iki durumda da, azaltım eğrileri, emisyon limitlerine göre belirlenen CO₂ fiyatına bağlı ya da CO₂ fiyatına göre emisyon limitlerinin belirlenmesi şeklinde oluşturulmaktadır. Bu oluşturulma tarzı sebebiyle model türevli MAC eğrileri genellikle teknolojik detay içerebilmektedir [2].

Model türevli eğriler oluşturulurken, iki yaklaşım göz önünde bulundurulabilir [1];

- Tek önlem: önlemlerin tek tek uygulandığı varsayımı yapılır ve önlemler arasındaki etkileşimler dikkate alınmaz. Metodoloji uzman bazlı eğrilere benzemektedir.
- Kümülatif önlem: her önlem kümülatif olarak uygulanır ve önlemler arasındaki etkileşimler dikkate alınır. Önlemlerin uygulanma sırası sonuçları (emisyon potansiyelini ve azaltım maliyetini) ciddi şekilde değiştirebileceğinden, detaylı çalışmalar gerektirmektedir.

Bottom-up enerji modelleri kısmi denge (partial equilibrium) modelleridir ve iç kaynaklı ekonomik tepkileri de gösteren top-down modellerin tersine, sadece enerji sektörünü işaret etmektedir. Simulasyon veya optimizasyon modelleri olan bottom-up yaklaşımında sistem maliyetlerinin minimize edilmesi ya da tüketici-üretici fazlasının maksimize edilmesi yoluyla kısmi denge hesapları yapılmaktadır. Bottom-up modeller, top-down modellere göre daha fazla enerji teknolojisi içermektedir. Top-down modeller ise, geçmiş oranlara dayanılarak varsayım yapılan ve gelecekte de geçerli olacağı varsayılan ikame esnekliklerine dayanmaktadır. Detaylı

yaklaşımlar gerektirdikleri için, bottom-up modeller top-down modeller kadar çok kullanılmamaktadır [2].

İkame esnekliği üreticiler yönünden üretim faktörleri, tüketiciler yönünden ise malların birbirleri yerine ikame edilebilme kolaylığı veya güçlüğü olarak tanımlanabilmektedir. Esnekliğin artması, iki malın birbirlerinin yerine kullanılabilme imkanının arttığını göstermektedir. Üretim faktörlerinde ise bu esnekliğin artması, farklı teknolojilerin birbirlerinin yerine kullanılabilmesinin göstergesidir.

Top-down modellerin en önemli üstünlüklerinden biri, makroekonomik geribildirimleri ve iklim değişikliği önleme politikalarının gelir ve ticaret üzerindeki etkilerini dikkate almalarıdır. Böylelikle sistem sınırları enerji sektörünün dışına genişletilebilmektedir. Bottom-up modeller enerji sistemleri ile sınırlı kaldığından, makroekonomik geribildirimleri göz önünde bulundurulamamaktadır [2].

Her zaman doğru bir şekilde olmasa da, hem bottom-up hem top-down modeller azaltım önlemleri arasındaki etkileşimleri dikkate almaktadır. Belli bir sistem yaklaşımı izledikleri için tutarsızlıklardan, uzman bazlı modellerin etkilendiği kadar kolay etkilenmezler. Model kapsamında zamanlararası etkileşimler ve tutarlı emisyon yolu (emission pathway) gösterilebilmektedir. Genelde bu modeller belirsizlikleri göstermede daha başarılıdır. Bazı uzman bazlı modellerin aksine, sektörler arası farklı sektörel azaltım eğrilerinin bir araya getirilmesi de zor olmamaktadır. Yani model türevli eğriler yönteminde uzman bazlı MAC eğrilerindeki sorunların birçoğu dikkate alınabilmektedir [2].

Top-down modellerin en önemli zayıflığı olarak teknolojik detayların eksikliği gösterilebilir. Bir çok model türevli MAC eğrisi, hangi teknoloji ya da önlemin emisyon azaltımından sorumlu olduğu detayının anlaşılmasına olanak vermemektedir. Kümelenmiş karakterleri yüzünden, top-down modeller, emisyon azaltımı için kullanılan teknolojileri açık bir şekilde gösterememektedir. Her ne kadar bazı iyileştirmeler yapılmaya çalışılsa da, top-down modeller genellikle yeterli teknolojik detayı içerebilmektedir. Top-down modeller, bottom-up modeller gibi, enerji sistemleri arasındaki ikame imkanlarını, bunların farklı maliyetlerini ve teknik karakteristiklerini de yansıtmamaktadır [2].

Bottom-up modeller, top down modellerin tersine, ikame esnekliğine dayanmamaktadır. Ancak, teknolojik detay gösterilmesi önemli üstünlükleridir. Bu detaylar, teknolojiler ya da teknoloji zincirleri ile gerçekleştirilen emisyon azaltımlarının takip edilmesine olanak vermektedir. Daha ileri ve karmaşık bir analiz gerektiği için, geçmişte, eğrileri farklı önlemlere bölme konusunda da girişimlerde bulunulmuştur [2].

Bottom-up modellerde, talebin fiyat esnekliğinin (talebin fiyat esnekliği; bir mal veya hizmetin fiyatındaki değişmeler karşısında talep miktarının gösterdiği duyarlılığın derecesidir) ya da teknoloji temelli risklerin izin verdiği ölçüde davranışsal bakış açısı da dahil edilebilmektedir. Aynı şekilde, belirsizlikler içeren teknoloji maliyetleri, erişilebilirlik de bu modellerde gösterilebilmektedir [2].

Söz konusu enerji modelleri, maliyetten bağımsız piyasa bozulmaları etkilerinin gösterilmesi konusunda yetersizdir. Bu modellerde negatif azaltım maliyeti gösterilememektedir [2]. Çizelge 3.3’de model türevli MAC eğrilerinin üstünlükleri ve sakıncaları özetlenmiştir.

Çizelge 3.3 : Model türevli eğrilerin güçlü ve zayıf yönleri [1,2].

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
<p>Bottom-up</p> <ul style="list-style-type: none"> Enerji teknolojilerini açıkça işaret eder 	<p>Bottom-up</p> <ul style="list-style-type: none"> Makroekonomik geribildirim yoktur Tüketici maliyetlerinin düşmesi ile ortaya çıkan tüketim artışı dikkate alınmaz Geri tepme etkisini göstermez
<p>Top Down</p> <ul style="list-style-type: none"> Makroekonomik geri bildirimler ve maliyetler dikkate alınır 	<p>Top Down</p> <ul style="list-style-type: none"> Modeller teknolojik detay açısından eksiktir

Çizelge 3.3 (devam) : Model türevli eğrilerin güçlü ve zayıf yönleri [1,2].

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Ortak olarak	Ortak olarak
<ul style="list-style-type: none">• Önlemler arasındaki etkileşimler dahil edilir• Tutarlı bir referans emisyon yolu vardır• Zamanlar arası etkileşimler dahil edilir• Belirsizliklerin gösterilme ihtimali vardır• Davranışsal etmenler dahil edilir• Görece hızlı oluşturulur	<ul style="list-style-type: none">• MAC eğrisinde teknolojik detay gösterilmez• Piyasa bozulması dikkate alınmaz• Varsayılan önlemlerin uygulanma sırası sonucu etkiler.

3.3.3 MAC eğrileri ile iklim politikası değerlendirmesi

MAC eğrilerinin oluşturulmasında farklı yaklaşımlar mevcuttur. Çeşitli iklim politikalarına göre yararlılıkları değerlendirilirken, politika enstrümanları teşvik temelli (incentive-based), ve teşvikten bağımsız (non-incentive based) enstrümanlar olarak ikiye ayrılabilir [2].

3.3.3.1 Teşvik temelli enstrümanlar

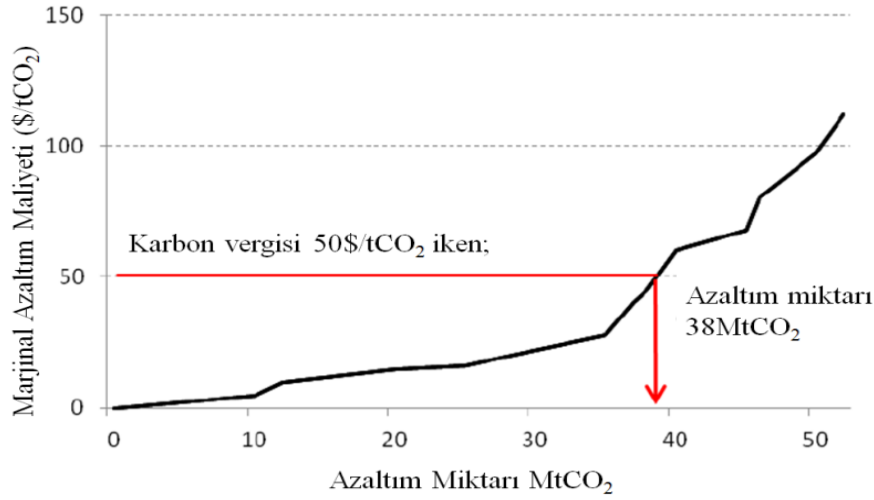
Teşvik temelli olarak adlandırılmalarının sebebi, CO₂ emisyon salımı için bir fiyat oluşturulması ve emitörleri (emisyon yayanları) çevresel etkilerini azaltmak için teşvik etmeleridir. Teşvik temelli enstrümanlar da kendi içinde fiyat temelli (price-based) ve nicelik temelli (quantity-based) olarak ikiye ayrılmaktadır. MAC eğrileri politika belirleyicilere, karbon vergisi (fiyat temelli) ve karbon salım izni (nicelik temelli) konularını kavrama imkanı vermektedir [2].

Bu değerlendirme için piyasa bozulmalarını teşvikler ve vergiler olarak göz önünde bulundurmak gerekir. Bunlar fosil yakıtlar ve düşük karbonlu yakıtlar veya teknolojiler için teşvikleri ve vergileri kapsamaktadır [2].

Genelde birden fazla sektörü içinde barındıran teşvik temelli enstrümanların değerlendirilmesi için, uzman bazlı eğriler yerine sistem boyunca etkileşimleri ve davranışsal bakış açısını da içerdikleri için model türevli maliyet eğrileri tercih edilmelidir. Uzman bazlı maliyet eğrileri her bir önlemi bireysel olarak değerlendirdiğinden, en düşük maliyetli azaltım önlemlerinden oluşan karışımın değerlendirilmesi için uygun olamamaktadır. Top-down modeller bottom-up

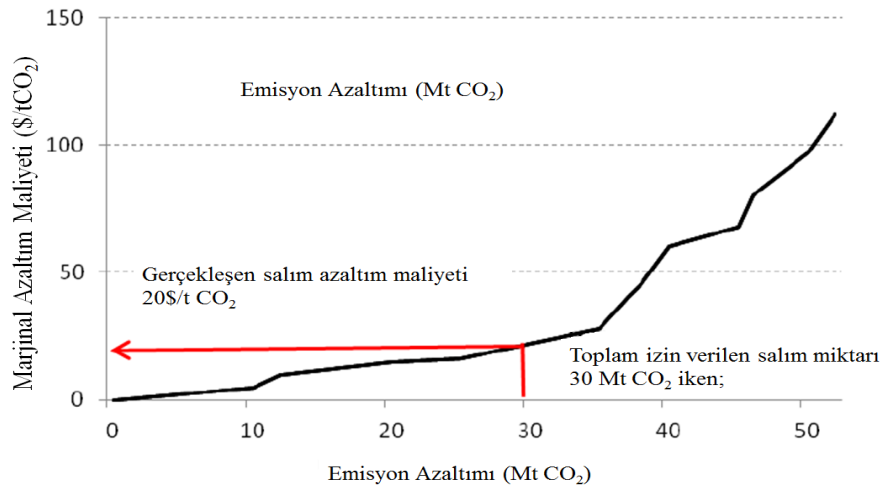
modellere göre, tüm ekonomiyi kapsayabilmeleri açısından (yani istihdam, rekabetçilik ve ekonomik yapı da değerlendirebildiğinden) daha avantajlıdır [2].

Şekil 3.9'daki MAC eğrisi, karbon vergisinin varlığında, azaltılabilecek karbon miktarını göstermektedir. Karbon vergisi sınırına kadar olan tüm azaltım önlemlerinin gerçekleştirilebilir olduğu mantığına dayanmaktadır.



Şekil 3.9 : MAC eğrileri ile karbon vergisine göre azaltım seçenekleri belirleme [2].

Buna karşılık, Şekil 3.10'da ise, toplam salım limiti belli iken, “sınırla ve pazarla” (cap-and-trade) sistemi dahilinde izin verilen CO₂ fiyatı gösterilmektedir. Karbon vergileri 1990'larda ilk olarak İskandinavya ülkelerinde gündeme gelmiştir. Karbon iznine en tipik örnek Avrupa Birliği'nin Emisyon Ticaret Sistemi'dir (ETS) [2].



Şekil 3.10 : Toplam salım limitine göre karbon fiyatı belirlemede MAC eğrilerinin kullanımı [2].

Piyasanın nasıl CO₂ azaltımı yapacağına karar vermesine olanak tanıdıkları için iki enstrüman da, teşvikten bağımsız enstrüman yerine tercih edilir ancak bu yaklaşım ile kesin bir sonuç belirlenmesi mümkün değildir.

3.3.3.2 Teşvikten bağımsız enstrümanlar

Teşvik temelli enstrümanların yanında, bir dizi teşvikten bağımsız enstrüman da bulunmaktadır. Araştırmacılara göre, bunlar piyasaya dayalı enstrümanlara göre daha az maliyet etkin ve ama diğer yandan esnek enstrümanlardır.

Ar-Ge ve Yayılma Politikaları, yüksek marjinal azaltım maliyetine sahip teknolojilerde yenilikleri teşvik ederek teknoloji maliyetlerini azaltmayı hedefler. Araştırma politikaları, diğer taraftan da üniversite Ar-Ge'lerine yeni teknolojiler bulmaları için fon ayırmaya odaklanır. Yayılmacı politikalar, var olan piyasa teknolojilerinin piyasaya girişini kolaylaştırmayı amaçlar. Yayılmacı politikalar; fiyat-temelli ve nicelik-temelli teşvikler olarak ikiye ayrılır. Fiyat-temelli teşvikler mali teşviklerdir; biyoyakıtlara daha az vergi veya tarife garantisi uygulanması gibi. Tarife garantisi (sabit fiyat garantisi), yenilenebilir enerji teknolojilerine yatırımı ivmelendirmek için oluşturulmuş politika mekanizmasıdır. Yenilenebilir enerji üreticilerine, üretim maliyetine göre, uzun vadeli kontrat sunarak gerçekleştirilmektedir. Üretimin güçlüğüne göre yenilenebilir enerji türleri için farklı fiyatlar belirlenmektedir. Örneğin güneş enerjisine veya gel-git enerjisine daha yüksek fiyat verilirken, rüzgar için daha düşük fiyat sunulmaktadır [27]. Bu amaçlarla Türkiye'de de 10/5/2005 tarihli Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda, I Cetveli'nde yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesis tipine göre uygulanacak fiyatlar belirlenmiştir [28].

Teknolojik detay içeren uzman bazlı eğriler, teknolojilerin marjinal azaltım maliyetlerine içgörü sağlayabildiğinden, geniş çaplı yayılmayı sağlayabilmek için, gerekli mali teşvik fiyatının veya sabit fiyatların belirlenebilmesinde yardımcı olabilmektedir. MAC eğrisi ile düşük-karbon teknolojileri için minimum vergi indirimi veya sabit fiyatlar belirlenebilir. Aynı zamanda, uzman bazlı eğriler teknolojilerin azaltım potansiyellerine ve göreceli maliyet etkinliklerine içgörü de sağlayabilir. Bu bulguların sistemdeki politikanın benimsenmesini sınırlayacak bariyerler dikkate alınmadan elde edildiği akıldan çıkarılmamalıdır [2].

Komuta ve Kontrol Politikaları, CO₂ emisyon azaltımı için son enstrüman kategorisidir. Bunlar piyasaya seçim şansı sunmaksızın sadece belli teknoloji ve sektörler için regülasyonlar empoze ederler. Teoride, piyasa mekanizmalarına göre daha az verimli olmalarına rağmen, sabit veya engellenemez piyasa kusurlarının varlığı durumunda gerekli de olabilirler. Bu piyasa kusurları, ayrı teşvikler, bilgi eksikliği ve gizli maliyetler olarak sıralanabilir [2].

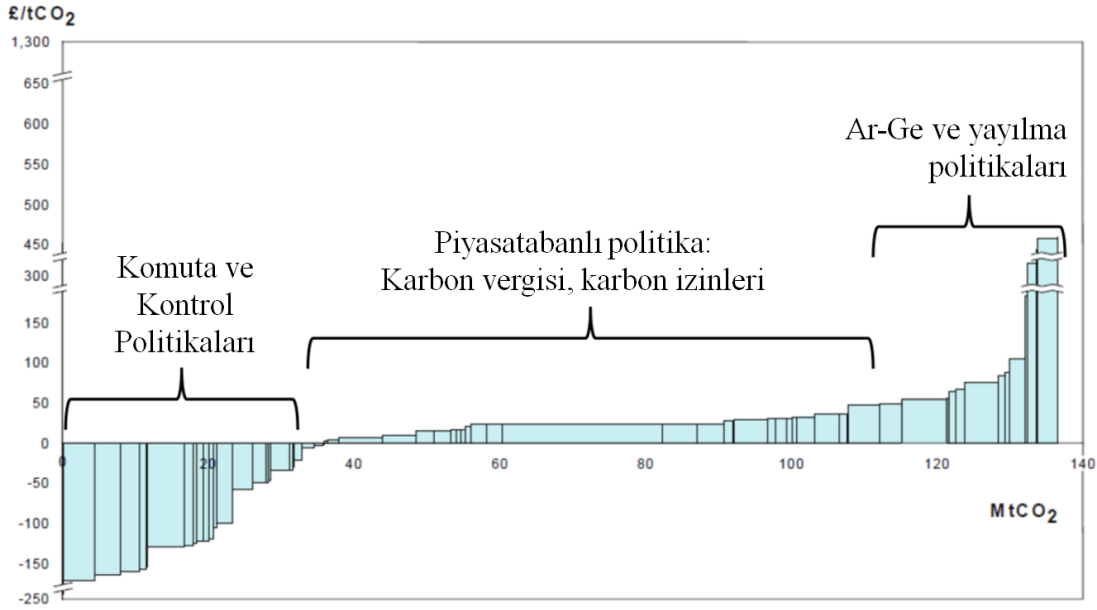
Bu problemlere karşı koyabilmek için, verimsiz teknolojilerin kullanımı yasalar ile sınırlanabilir veya engellenebilir. Standartlar, eski teknolojilerin kaldırılmasını ve daha iyi performanslı olanlarla değiştirilmelerini zorlamaktadır. Bina sektöründe, ev sahibi-kiracı arasındaki ayrı teşvikler gibi var olan market bozulmaları yüzünden önemli rol oynarlar. Konut ve ticari bina sektöründe bina standartları, enerji verimliliği önlemlerinin kavranmasını ivmelendirmektedir. Standartlar ayrıca elektrikli aletler ve ulaşım sektöründe de önemli rol oynamaktadır [2].

Komuta ve kontrol politikalarından biri de gönüllü endüstriyel anlaşmalardır. Bunlar bilgilendirme kampanyaları, sertifikasyon ya da beyaz eşyalarda olduğu gibi zorunlu belgelendirmelerdir. Son olarak teknoloji temelli krediler, devlet yardımları, vergi indirimleri de örnek olarak gösterilebilir. Komuta ve kontrol politikaları piyasa bazlı enstrümanların eksik kaldığı noktalarda CO₂ emisyon azaltımında önemli rol oynarlar [2].

Özetle, politika enstrümanlarına göre düzenlenmiş eğriler aşağıdaki bilgilerin belirlenmesinde yardımcı olabilirler;

1. Uzman bazlı eğriler;
 - a. Biyoyakıtlara yapılacak devlet yardımının seviyesinin değerlendirilmesinde,
 - b. Bina standartlarının emisyon azaltım potansiyellerinin belirlenmesinde,
 - c. Elektrik tarife garantisinin seviyesi ve kapsamının belirlenmesinde.
2. Model türevli eğriler
 - a. CO₂ vergisinin uygulanmasında,
 - b. Sınırla-ve-pazarla sisteminin uygulanmasında.

Şekil 3.11 iklim politikalarının oluşturulmasında MAC eğrilerinin kullanılmasını göstermektedir. Grafiğin sol tarafı, özellikle endüstri, binalar ve ulaşım gibi nihai sektörler için, piyasa bariyerlerinin üstesinden gelindiğinde oluşacak muhtemel emisyon azaltımları hakkında bilgi vermektedir. Grafiğin sağ tarafı, inovasyonu teşvik etmek amaçlı, yayılım politikaları ve araştırma politikalarının kurulumu ile ilgili bilgiyi belirtmektedir. Grafiğin orta kısmı, piyasa temelli politikaların (karbon vergisi, karbon izinleri vb.) uygulanması, azaltma potansiyelinin ya da karbon fiyatının belirlenmesi için en ilgi çekici bölümdür [2].



Şekil 3.11 : MAC eğrileri ve iklim politikaları enstrümanları [2].

3.4 MAC Eğrisi Kullanımı, Zorlukları ve Yararları

MAC eğrileri belirli bir emisyon azaltım hedefine ulaşmak için kullanılmamalıdır [20]. MAC eğrileri tek başına politik kararlar almada yeterli değildir ve enerji verimliliği yatırımlarında tek başına karar verici araç olarak da kullanılmamalıdır [21,29]. Hazırlanan MAC eğrisi, bazen beklenilenin aksine uygulama süresi çok uzun ve yüksek maliyetli yatırım önerilerini öncelikli olarak da sunabilir [30].

MAC eğrileri, hesaplama sürecinde veri olarak girilen bilgilerin doğruluğu ölçüsünde doğru sonuçlar verebilecektir [29].

MAC eğrileri enerji verimliliği ve emisyon azaltım projeleri ile ilgili, ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve bakım maliyetlerini de kapsayacak şekilde, direkt (doğrudan) maliyetleri dikkate almaktadır. Projenin uygulanması sırasında olası

normal ticari faaliyetlerde oluşabilecek potansiyel bozulmalar gibi ek maliyetleri genellikle göz ardı etmektedir. Girilen verinin kalitesi ilgili projenin maliyeti ve potansiyel yararı üzerinde çok kritiktir. Eğer girdilerde belirsizlikler var ise, çıktılar dikkatle değerlendirilmelidir. Enerji verimliliği teknolojilerinin sürekli geliştiği unutulmamalıdır ve tahmin edilen maliyetler ve yararlar düzenli olarak güncellenmelidir. MAC eğrilerinin dinamik ve geçerli olabilmeleri için, emisyon faktörleri, elektrik ve gaz fiyatları, yeni ürünlerin kullanımının potansiyel kazanımları, diğer finansal teşvikler ve teknoloji fiyatları güncel tutulmalıdır.

Stratejik ve operasyonel sebepler yüzünden, daha ucuz ve hızlı kazanım getiren projeler yerine daha pahalı ve uzun vadeli projelerin uygulanması tercih sebebi olabilir.

İki farklı azaltım seçeneği arasındaki etkileşimler de dikkate alınmalıdır. Örneğin, LED lambaların kullanımı lamba sayısını veya toplam elektriksel gücü düşürerek azaltım potansiyelini artırırken, LED'ler ile birlikte otomasyon sistemlerinin kullanılması yüksek maliyetleri nedeni ile azaltım potansiyelini azaltabilecektir.

MAC eğrisi analizleri, bir hizmetin, prosesin, binanın enerji performansını yükseltecek çeşitli varlık yönetim stratejileri sunmaktadır [25]. Analizler farklı enerji verimlilik projelerinin çevresel yararlarının niceliğini belirlemektedir.

Sonuç olarak, en büyük çevresel etkiye sahip, en fazla ve hızlı yatırım geri dönüşü sağlayan projelere öncelik verilerek bunların yönetim planları oluşturulmaktadır.

Marjinal Azaltım Maliyet Eğrisi, mali geri dönüşüm ve emisyon azaltımının yararlarının bölümlere ayrılmış formlarda ayrı ayrı gözlemlenmesine olanak sağlar.

Tahminlerin,

- Enerji fiyatlarındaki artış
- Bakım ve tesis yönetiminde malzeme fiyatlarının değişimi,
- Bina sahiplerine ek maliyet getiren çevre yasalarının geliştirilmesi

gibi faktörlere bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren farklı analizler kullanılır.

Sonuçta bir dizi çözüm ve bulunan her çözüm için, yaşam ömrü süresince beklenen yatırım geri dönüş önerileri belirlenir [25].

4. TÜRKİYE’NİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELESİ VE KARBON SEKTÖRÜNDEKİ DURUMU

Türkiye’de, öncelikle 2001 yılında İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu (İDKK) oluşturulmuştur. Bu kurulda, iklim değişikliği alanında izlenecek politikaların, alınacak önlemlerin ve yapılacak çalışmaların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunu takiben Türkiye 2004 yılında BMİDÇS’ye taraf olmuştur [31].

Türkiye, enerji verimliliğini yaygınlaştırmayı ve bu vesileyle karbon yoğunluğunu düşürmeyi; temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmayı hedeflemektedir. Bu yaklaşım ile de, Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010-2020)’nin uygulanmasına yönelik olarak Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı (İDEP) 2011 Temmuz ayında yayınlanmıştır [32].

Türkiye’nin İklim Değişikliği ile mücadele alanında ulusal girişimlerinden ilki 2009 yılında Kyoto’ya taraf olmasıdır [31].

2010 yılı Ağustos ayında Sera Gazı Emisyon Azaltımı Sağlayan Projelere İlişkin Sicil İşlemleri Tebliği yayınlanmıştır ve sonrasında da 25 Nisan 2012 tarihinde Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik yürürlüğe girmiştir [31].

2012 yılında Enerji Verimliliği Strateji Belgesi yayınlanmıştır ve bu belgede karbon salım azaltımı ile ilgili bazı hedefler belirlenmiştir. Aynı zamanda karbon borsasının oluşturulması ile ilgili de bir hedef konmuştur [33].

4.1 Türkiye’nin Sera Gazı Salım Verileri ve Konut Sektörü

Türkiye nüfus artış hızı en yüksek olan ülkelerden birisidir. Türkiye’de 2007 yılında gerçekleşen nüfus artış hızı yüzde 1,24 olarak açıklanmıştır. Bu artış oranı yüzde 0,68 ortalamaya sahip OECD ülkelerinin oldukça üzerindedir [31].

EK-I ve EK-I dışı ülkeler ile karşılaştırıldığında Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla bazında Türkiye’nin refah seviyesi daha düşüktür [31].

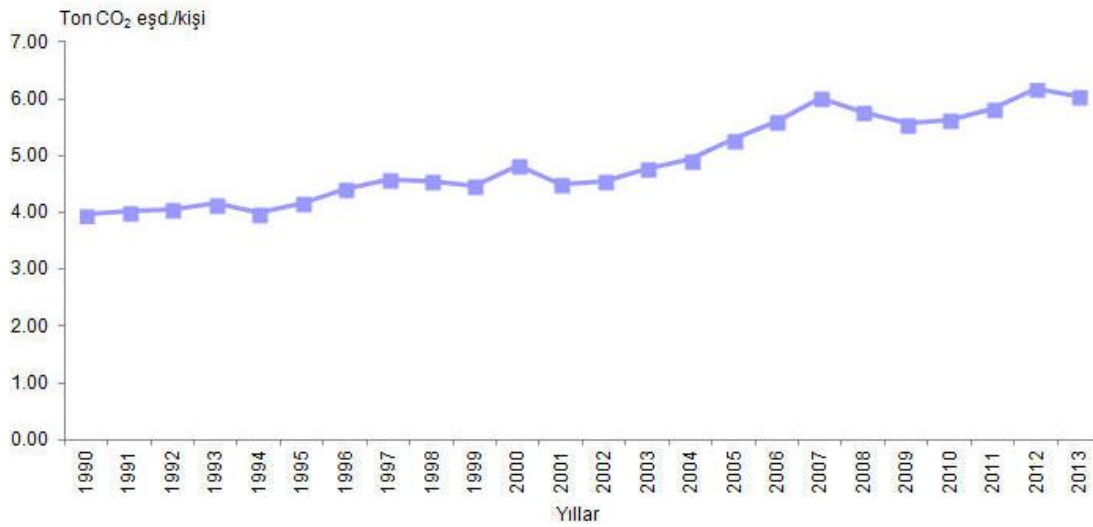
Türkiye'nin 1990 yılı toplam sera gazı emisyonu miktarı 170 milyon ton CO₂ eşdeğeri iken, 2007 yılında bu değer 372 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir [31].

2007 yılı Uluslararası Enerji Ajansı (UEA) göstergelerine göre; Türkiye kişi başı birincil enerji tüketimi 1,35 ton eşdeğer petrol olarak açıklanmıştır (TEP). Aynı yıl Dünya ortalaması 1,82 TEP, OECD ortalaması ise 4,64 TEP olarak gerçekleşmiştir. Kişi başı birincil enerji tüketimi incelendiğinde nüfusa ve nüfus artış hızına rağmen, Türkiye dünya ortalamasının ve özellikle OECD ortalamasının oldukça altındadır [31].

2012 yılında yutak alanlar da dahil edilerek yapılan hesaplara göre, toplam sera gazı emisyonu miktarı 440 milyon ton CO₂ eşdeğerine yükselmiştir [34].

TÜİK'in yayınladığı 2013 Seragazı Emisyon Envanterine göre de, 2013 yılında toplam seragazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 459,1 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır. Kişi başı CO₂ eşdeğer emisyonu ise 6,04 ton/kişi olarak açıklanmaktadır [35]. Şekil 4.1'de Türkiye'de 1990 – 2013 yılları arasında kişi başı CO₂ eşdeğer emisyon değeri değişimi gösterilmektedir.

Envanter sonuçlarına göre, 2013 yılı toplam seragazı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak enerji kaynaklı emisyonlar %67,8 oran ile en büyük paya sahiptir. Endüstriyel işlemler %15,7; tarımsal faaliyetler %10,8; atıklar ise %5,7'lik paya sahip olmuştur [35].



Şekil 4.1 : Türkiye kişi başı seragazı emisyonu 1990-2013 [35].

Çizelge 4.1’de 1990 – 2013 yılları arasında Türkiye seragazı emisyonları salım miktarları ve yüzde değişimleri verilmiştir. 2013 yılında toplam CO₂ emisyonlarının %82,2’si enerjiden, %17,6’sı endüstriyel işlemler ve ürün kullanımından, %0,2’si tarımsal faaliyetler ve atıktan kaynaklanmıştır [35].

Çizelge 4.1 : Türkiye seragazı emisyonları [34,35].

	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
Toplam milyon ton CO ₂ eşdeğeri	188,5	238,9	298,1	330,7	403,5	424,1	439,9	459,1
1990 yılına göre (%) değişim	-	26,7	58,2	75,5	114,1	125,0	133,4	143,5

Türkiye, OECD ve Ek-I listesi ülkeleri arasında kişi başı sera gazı emisyonu miktarında da en düşük değere sahiptir. Türkiye 2007 yılı kişi başı sera gazı emisyonu değeri 5,3 ton CO₂ eşdeğeridir. OECD kişi başı emisyonu 15,0 ton CO₂ iken bu değer ve AB’ye üye 27 ülkede 10,2 ton CO₂ eşdeğeridir [31].

Türkiye’nin 1990-2013 yılları arasındaki Sera Gazı Emisyon Envanteri sektörler göre Çizelge 4.2’de verilmektedir [35].

Enerji sektörü %70 payı ile toplam emisyonlar içinde en büyük paya sahiptir. Enerji sektörü enerji üretimi ile sanayi, ulaştırma ve diğer sektörlerde (binalar, tarım, ormancılık ve balıkçılık faaliyetlerinde) yakılan yakıtlardan kaynaklanan emisyonları kapsamaktadır [32].

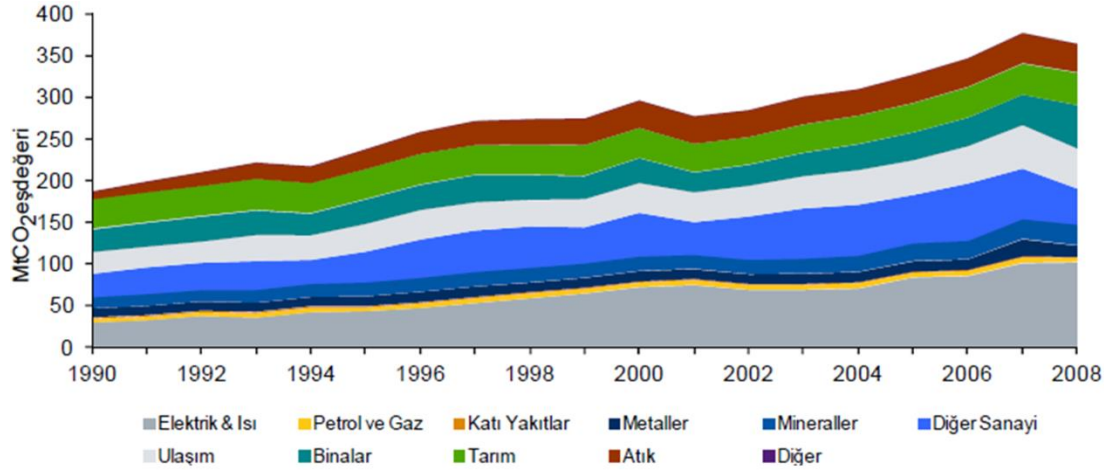
Çizelge 4.2 : Türkiye'nin 1990-2013 yılları arası sektörler göre toplam sera gazı emisyonları [35].

Yıl	Enerji	Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	Tarımsal faaliyetler	Atık	Toplam	1990 yılına göre değişim (%)
1990	131,6	31,1	41,6	13,9	218,2	-
1991	135,6	32,5	42,3	14,5	224,9	3,1
1992	141,3	31,9	42,5	15,1	230,8	5,8
1993	149,1	32,3	43,4	15,7	240,5	10,2
1994	145,6	32,0	40,7	16,3	234,6	7,5
1995	158,8	33,7	40,2	16,9	249,5	14,4
1996	173,9	35,4	41,2	17,5	268,0	22,9
1997	187,0	37,3	39,5	18,3	282,1	29,3
1998	186,6	37,1	41,3	18,9	283,8	30,1

Çizelge 4.2 (devam) : Türkiye'nin 1990-2013 yılları arası sektörlere göre toplam sera gazı emisyonları [35].

Yıl	Enerji	Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı	Tarımsal faaliyetler	Atık	Toplam	1990 yılına göre değişim (%)
1999	186,3	35,8	41,7	19,8	283,7	30,0
2000	213,8	36,2	40,1	20,7	310,8	42,5
2001	197,2	36,6	37,4	21,5	292,7	34,1
2002	205,2	37,8	36,2	22,2	301,3	38,1
2003	218,2	41,0	37,6	22,8	319,7	46,5
2004	228,5	43,4	37,5	23,7	333,1	52,7
2005	251,8	46,9	38,5	24,6	361,7	65,8
2006	275,1	48,4	39,5	25,6	388,6	78,1
2007	306,4	50,2	39,0	26,2	421,8	93,4
2008	294,2	52,6	36,9	26,6	410,4	88,1
2009	280,5	54,9	38,5	26,9	400,7	83,7
2010	284,8	60,0	39,8	27,2	411,7	88,7
2011	297,6	65,6	41,6	27,7	432,5	98,2
2012	320,8	69,6	46,3	27,6	464,2	112,8
2013	311,2	72,0	49,8	26,0	459,1	110,4

Şekil 4.2'de Türkiye'de 1990 yılından itibaren sektörlere göre emisyonların dağılımlarının değişimi gösterilmiştir.

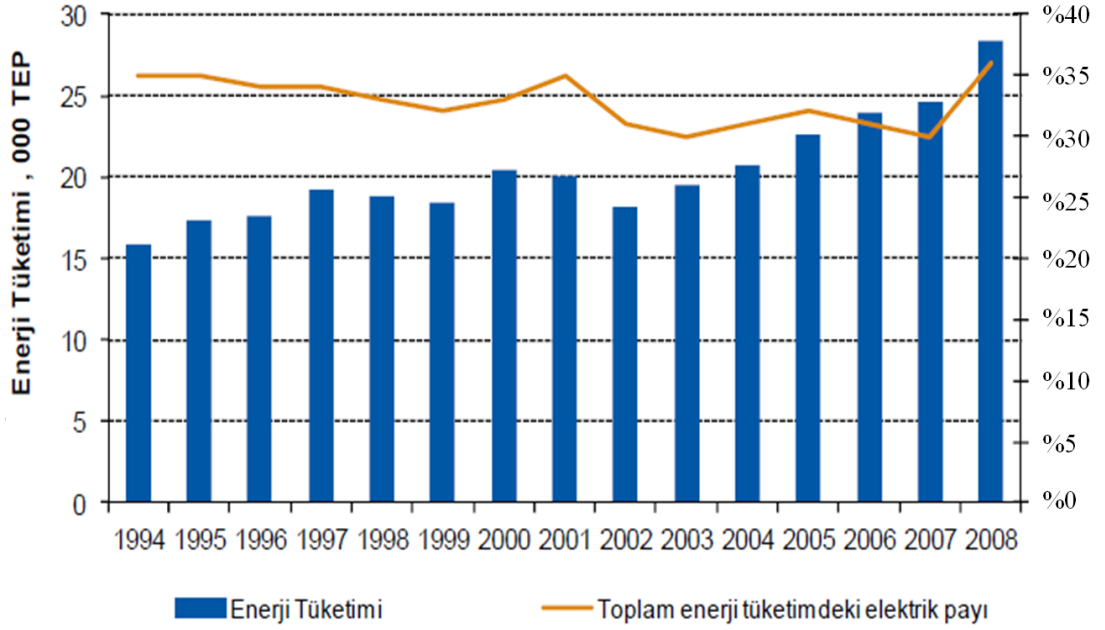


Şekil 4.2 : Türkiye'de geçmiş dönem emisyon eğilimleri [8].

2013 yılında konut ve hizmet sektörü, nihai enerji tüketiminin %35'ini gerçekleştirerek en fazla enerji tüketen sektör olmuştur. Nihai enerji tüketiminin %27'si konut sektöründe, %8'i hizmetler sektöründe gerçekleşmiştir [36]. Toplam karbondioksit emisyonununun %32'si bina sektörü kaynaklıdır [37].

Türkiye’de bina stoku ve bina sayısı ile ilgili veriler eksiktir. TÜİK’in 2000 yılında yaptığı bina sayımı en güncel ve önemli veri kaynağıdır. Nera Consulting’in çalışmasında yaptığı tahminlere göre Türkiye’de 2009 yılsonu itibarı ile 8,4 milyon konut binası, ticari bina ve kamu binası bulunmaktadır [8].

Şekil 4.3’den görüldüğü üzere binaların enerji tüketimi 1994’te 16 MTEP seviyesinden 2008’de 28 MTEP seviyesine yükselmiştir [8].

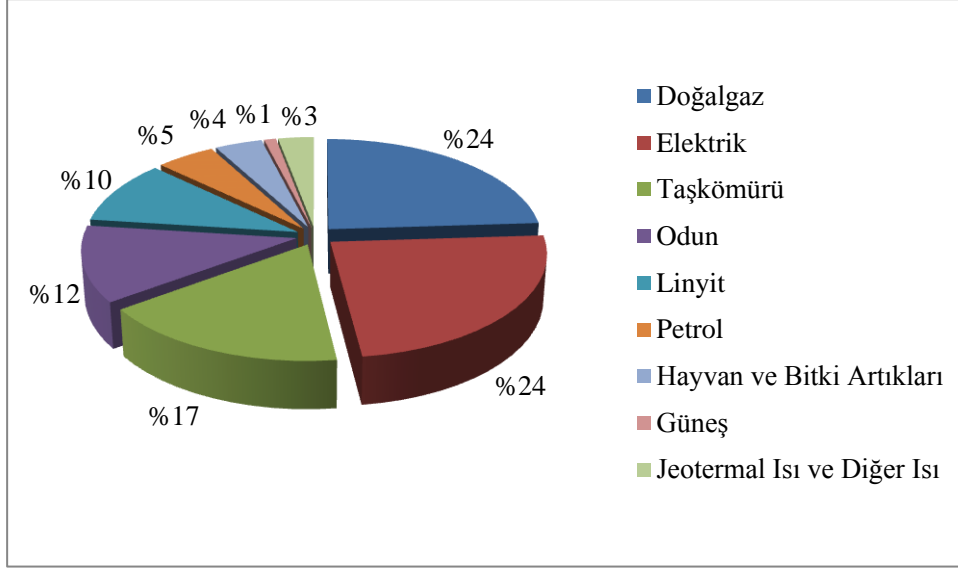


Şekil 4.3 : Binalarda ve konutlarda enerji tüketimi [8].

Konut ve hizmet sektörleri, sanayi ve ulaştırma sektörlerinin önünde yer alan, başlıca nihai enerji tüketim grubudur. Bu grubun enerji karışımı genel olarak doğal gaz (2013’te %33,0), katı yakıtlar (2013’te %32,5) ve elektrik (2013’te %26,2) şeklindedir [36].

Binalarda elektrik, soğutma ve elektrikli cihazlarda, aydınlatma ve diğer hizmetlerde kullanılmaktadır. Doğal gaz (%22), elektrik tüketiminden (%26) sonra en yüksek paya sahiptir [38].

Şekil 4.4’den görüldüğü üzere bina sektöründe enerji tüketiminin %20’si güneş, jeotermal, odun, bitki ve hayvan artıklarından oluşan yenilenebilir enerjidir [39]. Kırsal kesimde bitki ve hayvan atıkları ısınma amacıyla kullanılmaktadır [38].



Şekil 4.4 : Enerji türlerine göre Türkiye 2009 yılı bina sektörü enerji tüketiminde kaynakların payı [39].

4.2 Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi

Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010-2020), iklim değişikliğine yönelik olarak hazırlanan en temel belgedir. 3 Mayıs 2010 tarihinde yayınlanmıştır.

İklim değişikliği ile mücadele kapsamında ilgili sektörlerde öncelikli olarak yapılması gereken çalışmaları ve iklim değişikliğine uyuma yönelik önlemleri tanımlamaktadır [32].

4.3 Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ndeki Konumu

Türkiye, bir OECD üyesi olarak, BMİDÇS 1992 yılında kabul edildiğinde gelişmiş ülkeler ile birlikte Sözleşme'nin EK-I (tarihsel sorumluluk) ve EK-II (maddi sorumluluk) listelerine dâhil edilmiştir.

2001'de Marakeş'te gerçekleştirilen 7. Taraflar Konferansı'nda (COP7) alınan kararla Türkiye'nin diğer EK-I taraflarından farklı konumu tanınmış, EK-II listesinden çıkarılmış fakat EK-I listesinde kalmıştır. Türkiye 24 Mayıs 2004'te 189. taraf olarak BMİDÇS'ne katılmıştır [10].

Türkiye 26 Ağustos 2009 tarihinde Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur [10].

2010 yılında Cancun'da düzenlenen 16. Taraflar Konferansı'nda, Türkiye'nin diğer Ek-I ülkelerinden farklı bir konumda bulunduğu ve özel koşullarının mevcut olduğu

kabul edilmiştir. Ayrıca, finansman ve teknoloji transferi sağlama yükümlülüğünün bulunmadığı ve ülkenin finansman, kapasite geliştirme ve teknoloji transferi imkanlarından yararlanması konusunun tekrar değerlendirilmesi de kararlaştırılmıştır [11].

Türkiye'nin gelişmekte olan ülke olduğu kabul edilmiş ve özel koşul olarak protokol kabul edildiğinde, EK-I taraflarının sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüklerinin tanımlandığı EK-B listesine dâhil edilmemiştir. Dolayısıyla, Protokol'ün 2008-2012 yıllarını kapsayan birinci yükümlülük döneminde Türkiye'nin herhangi bir sayısallaştırılmış salım sınırlama veya azaltım yükümlülüğü olmamıştır [10].

Türkiye, özel konumu nedeniyle Kyoto Protokolü'nün emisyon ticaretine konu olan esneklik mekanizmalarından yararlanamamaktadır. Ancak bu mekanizmalardan bağımsız olarak işleyen, çevresel ve sosyal sorumluluk ilkesi çerçevesinde kurulmuş Gönüllü Karbon Piyasası'na yönelik projeler 2005 yılından beri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır [16].

4.4 Sera Gazı Emisyon Azaltımı Sağlayan Projelere İlişkin Sicil İşlemleri Tebliği

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryası raporuna göre, sosyo-ekonomik göstergeler, sera gazı emisyon profili, tarihsel sorumluluk, kişi başı emisyon miktarı, kişi başı Gayri Safi Yurtiçi Hasıla ve kişi başı enerji tüketim göstergelerine göre Türkiye "orta gelirli gelişmekte olan ülkeler" kategorisindedir. Bu da Türkiye'nin diğer Ek-I ülkelerinden farklı bir kategoride olduğunun göstergesidir [31].

Türkiye Kyoto Protokolü'nün esneklik mekanizmalarından protokolda bulunduğu koşullar sebebiyle yararlanamamaktadır. Ancak karbon salım azaltım kredilerini diğer bir seçenek olan gönüllü karbon piyasalarında kullanabilmektedir.

Bu nedenle, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 07.08.2010 tarihinde yayınladığı Sera Gazı Emisyon Azaltımı Sağlayan Projelere İlişkin Sicil İşlemleri Tebliği yürürlüğe girmiştir. Bu tebliğ ile gönüllü karbon piyasalarının daha etkin işlemesi ve proje geliştiricilere yol göstermesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda sicile kayıt yapılması ile

Türkiye’de üretilen karbon sertifikalarının güvenilirliğinin artırılması amaçlanmaktadır [32].

Bu tebliğin amacı; iklim değişikliği ile mücadele kapsamında sera gazı emisyonlarının azaltılması, sınırlandırılması ve yutak alanların artırılması için yürütülen projelerin kayıt altına alınmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemektir [40].

Bu tebliğ, Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde yapılacak ve yapılmış olan projelerin Sera Gazı Azaltım Proje Sicili’ne kayıt edilmelerinde izlenecek yöntemi ve kamuoyunun bilgilendirilmesine dair usul ve esasları kapsamaktadır [40].

4.5 Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2012 yılında “Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik” yayınlanmıştır ve 17 Mayıs 2014 tarihinde revize edilmiştir. Bu yönetmelik EU ETS direktif ve kılavuzlarını esas almaktadır. Bu yönetmeliğe göre büyük emisyon salımına sebep olan sektörler (elektrik ve buhar üretimi, petrol rafinasyonu, petrokimya, çimento, demir-çelik, alüminyum, tuğla, seramik, kireç, kağıt ve cam üretimi gibi) sera gazı emisyonlarını Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na raporlamakla yükümlüdür. Yönetmelik farklı sektörlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tesis seviyesinde izlenmesi, doğrulanması ve raporlanmasına dair yöntem ve başlıca hususları düzenlemektedir.

Bu yönetmelik Türkiye’de bir ulusal karbon ticaret sistemi kurulmasının önünü açmıştır. Böylece, hem ülke genelinde sera gazı emisyonlarının salım hesapları ve takibi yapılabilecektir, hem de elde edilen sera gazı salım azaltım kredilerinin iç piyasada alıcı bulmasına katkıda bulunulacaktır. Yönetmeliğe göre raporlamalar 2016 yılında başlayacaktır ve raporlar 1 Ocak – 31 Aralık 2015 tarihleri arasında gerçekleşen emisyonları içerecektir [41,42].

4.6 Enerji Verimliliği Strateji Belgesi (2012-2023)

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ile hedeflenen, 2023 yılında Türkiye’nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılmasıdır [33].

Enerji verimliliği strateji belgesinde binaları ve konut sektörünü direkt ilgilendiren stratejik amaçlar bulunmaktadır. Aynı zamanda karbon azaltım hedefleri ve karbon borsası kurulması ile ilgili hedefler de belirlenmiştir.

Aşağıda strateji belgesinin karbon azaltımıyla ilgili hedefleri yer almaktadır [33].

4.6.1 SA-02 (Stratejik Amaç-02)

2. stratejik amaç (SA-02), binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak; yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmaktır.

2. stratejik amaç 1. hedefi (SA-02/SH-01) 2023 yılında, yapı grup sınıfı 3 üncü sınıf veya üzeri olan konutlar ile birlikte, toplam kullanım alanı onbin metrekarenin (10.000 m²) üzerindeki ticari ve hizmet binalarının tamamında, yürürlükteki standartları sağlayan ısı yalıtımı ve enerji verimli ısıtma sistemleri bulunmasıdır.

2. stratejik amaç 1. hedefin 1. eylemi SA-02/SH-01/E-01) binalara azami enerji ihtiyacı ve azami emisyon sınırlaması getirilmesidir.

Bu eylem kapsamında yürürlükteki mevzuatın AB uygulamaları paralelinde revize edilmesi ile binanın fonksiyonuna (otel, hastane, mesken, okul, AVM vb.), bulunduğu bölgenin iklim koşullarına (sıcaklık, rüzgâr etkisi vb.), mimari tasarımına (yönlendirme vb) ve yürürlükteki zorunlu standartlara (TS 825 Isı Yalıtım Standardı vb.) uygun inşaa edilme durumuna göre ısıtma, soğutma ve aydınlatma gibi konuları kapsayan azami yıllık enerji talebi belirlenecek, söz konusu enerji talebinin enerji verimli ve/veya temiz enerji kaynaklarından ve teknolojilerinden karşılanması esas alınmak suretiyle atmosfere salımına müsaade edilecek azami CO₂ emisyon miktarı belirlenecek ve bu sınır değerleri aşan yeni bina yapımına izin verilmeyecektir. Mevcut binaların iyileştirilmesi suretiyle bu sınır değerlere yaklaştırılması özendirilecektir.

Belgenin yayınlanma tarihinden itibaren Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin bu hedefe yönelik 36 ay içinde güncellenmesi hedeflenmiştir.

2. stratejik amaç 1.hedefin 2. eylemi (SA-02/SH-01/E-02) 2017 yılından itibaren, karbondioksit salınım miktarları ilgili mevzuatta tanımlanan asgari değerlerin üzerinde olanlara idarî yaptırım uygulanmasıdır. Buna göre ilgili mevzuatın revizyonu ile SA-02/SH-01/E-01'de tanımlanan usullere göre düzenlenen Enerji

Kimlik Belgesi'nde karbondioksit miktarı, tanımlanan asgari değerin üzerinde olan binalara idarî yaptırım uygulanacak ve. 2010 yılındaki yapı stoğunun en az dörtte birinin (1/4) 2023 yılına kadar, sürdürülebilir yapı haline getirecektir.

2. stratejik amaç 2. hedefi (SA-02/SH-02) 2010 yılındaki yapı stoğunun en az dörtte biri (1/4) 2023 yılına kadar, sürdürülebilir yapı haline getirilmesidir.

2. stratejik amaç 2.hedefin 1. eylemi (SA-02/SH-02/E-01): Kullanım alanı on bin metrekarenin (10.000 m²) üzerindeki ticari binalarda ve müstakil lüks konutlarda ve entegre konutlarda (residans) sürdürülebilir nitelik aranmasıdır.

Bu eylem kapsamında ilgili mevzuat revize edilecektir. Bu kapsamda yeni yapılan binaların, buldukları belediyelerin kalkınmışlık düzeyleri, imar planları, arsa değerleri ve çevredeki doğal enerji imkânları dikkate alınmak suretiyle, sürdürülebilir olduklarını gösteren, ulusal veya uluslararası düzeyde uygulanan kriterler çerçevesinde karşılaştırılabilir özelliğe sahip sertifikalara sahip olmaları istenecektir.

2. stratejik amaç 2.hedefin 2. eylemi (SA-02/SH-02/E-02) toplu konutlarda yerinden üretim uygulamalarının yaygınlaştırılmasıdır.

Bu eylem kapsamında toplu konut projelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından, kojenerasyon veya mikrokojenerasyon, merkezi ve bölgesel ısıtma ve soğutma ve ısı pompası sistemlerinden yararlanma imkânları analiz edilecek ve Bakanlık tarafından belirlenecek kriterler çerçevesinde özendirilecektir.

4.6.2 SA-03 (Stratejik Amaç -03)

3. stratejik amaç (SA-03), enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümünü sağlamaktır.

3. stratejik amaç 1. hedefi (SA-03/SH-01) asgari enerji verimlilik sınıfının üzerindeki lambaların, buzdolaplarının ve elektrik motorlarının piyasa dönüşümünün 2012 yılı sonuna kadar, ısıtma/soğutma sistemlerinin ve diğer enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümünün ise AB uygulamalarına paralel olarak tamamlanmasıdır.

3. stratejik amaç 3. hedefin 1. eylemi (SA-03/SH-03/E-01) enerjiyi verimsiz kullanan ürünlerin satışının sınırlandırılması ve piyasa denetiminin etkinleştirilmesidir.

Bu eylem ile AB'nin 2010/30/EU sayılı "Enerji İle İlgili Ürünlerin Enerji Etiketlemesi" direktifi uyumlaştırılarak Resmi Gazete'de çerçeve yönetmelik olarak

yayımlanacak ve yayımlanacak olan çerçeve yönetmelik (2010/30/EU) ve 7 Ekim 2010 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanmış olan Enerji ile ilgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik (2009/125/EC) altında ürün grupları bazında uygulama düzenlemeleri (buzdolabı, lamba, televizyon, harici güç kaynağı ve elektrik motorları öncelikli olmak üzere) AB’nin uygulamaları ile paralellik arzedecek şekilde yapılacak, ürün satışlarındaki gelişimin izlenmesine ve piyasa denetiminin etkin şekilde yapılmasına imkân sağlayacak kurumsal kapasite geliştirilecektir. AB’nin yürürlüğe koyduğu düzenlemeler belgenin yayım tarihinden itibaren üç (3) ay içinde, diğerleri ise AB ile eşzamanlı olarak yapılacaktır.

4.6.3 SA-07 (Stratejik Amaç -07)

7. stratejik amaç (SA-07), kurumsal yapıları, kapasiteleri ve işbirliklerini güçlendirmek, ileri teknoloji kullanımını ve bilinçlendirme etkinliklerini artırmak, kamu dışında finansman ortamları oluşturmaktır.

7. stratejik amaç 5. hedefi (SA-07/SH-05), belgenin yayım tarihinden itibaren onsekiz (18) ay içerisinde enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili uygulamalar için kamu dışında sürdürülebilir finansman ortamları bağlamında, Türkiye’de karbon ticareti ve karbon borsası alt yapısını geliştirme çalışmaları tamamlanmasıdır.

7. stratejik amaç 5. hedefin 1. eylemi ile (SA-07/SH-05/E-01) ilgili paydaşların katıldığı seri çalıştaylar ile karbon borsası oluşturulmasına yönelik bir yol haritası çıkarılacak veya strateji belgesi hazırlanacaktır.

4.7 Türkiye’de Karbon Piyasası Oluşturulması

Türkiye’de son yıllarda Karbon Piyasalarının oluşturulmasına dair planlar yapılmakta ve strateji ve eylem planlarına bu konu da dahil edilmektedir [43].

İklim değişikliği Eylem Planı’nda, 2013 yılına kadar mevcut ve yeni küresel ve bölgesel karbon pazarlarına Türkiye’nin en avantajlı şekilde katılımının sağlanmasına yönelik müzakerelerin yürütülmesi ve 2015 yılına kadar Türkiye’de karbon piyasasının kurulmasına yönelik çalışmaların yapılmasına dair iki tane hedef bulunmaktadır [43].

İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Stratejisi ve Eylem Planı'nda da 2012-2015 yılları arasında bir karbon piyasası oluşturulması hedefi vardır [43].

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde Madde 7.5.1.3'de de yine bahsedilen karbon piyasasının oluşturulması amaçlı bir hedef yer almaktadır.

5. BİNA SEKTÖRÜ İÇİN MAC EĞRİSİ HESAPLAMALARI

Türkiye’de bina sektöründe büyük bir enerji tasarruf potansiyeli mevcuttur. Bu kapsamda Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü koordinasyonunda ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) aracılığıyla, Küresel Çevre Fonu (GEF) finansal desteği ile 2011 yılında Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi başlatılmıştır. Projenin amacı; Türkiye’de binalarda tüketilen enerjinin ve buna bağlı sera gazı salımlarının azaltılmasıdır. Projenin 2016 yılı sonunda bitmesi hedeflenmektedir [44].

Bu tez çalışmasında, bina sektöründe varsayılan bir konut için belli noktalarda enerji tüketim ve karbon salım değerleri bulunacak, konutlarda enerji verimliliği ve karbon azaltımı için teknolojiler önerilecek ve konutlar için karbon salım azaltımında önceliklerin belirlenebilmesi adına referans senaryoya göre bir MAC eğrisi oluşturulacaktır.

TÜİK’in 2011 yılında yaptığı Nüfus ve Konut Araştırması’na göre hane halklarının %20’si tek katlı binalardaki, %31,4’ü 2-3 katlı binalardaki, %25,5’i 4-5 katlı binalardaki, %23,1’i de 6 ve daha üzeri katlı binalardaki konutlarda yaşamaktadır [45].

Bu çalışmada, Türkiye’de çoğunluğu apartmanlarda ikamet eden daire sahipleri göz önünde bulundurularak, apartmanda yer alan tek bir konut için MAC eğrisinin hazırlanması amaçlanmıştır.

Çalışmada konutun İstanbul ilinde bulunduğu (2. Bölge) ve konuttaki ısıtmanın merkezi sistem doğalgaz ile sağlandığı kabul edilecektir.

Enerji verimliliği ve CO₂ salım azaltımı için en çok azaltım sağlanacağı öngörülen teknoloji seçilecek ve azaltılan karbon için, 2025 yılı projeksiyonlu uzman bazlı marjinal azaltım maliyet eğrisi çizilecektir.

5.1 Bina Isı Yalıtımı

Binalarda ısı kayıplarının oranı binanın mimarisine ve durumuna göre değişmektedir. Ancak genel olarak çok katlı binalar için, toplam ısı kayıplarının %40'ı dış duvarlardan, %30'u pencerelerden, %7'si çatılardan, %6'sı bodrum döşemesinden, %17'si hava kaçaklarından oluşmaktadır [46]. Bu nedenle bina kabuğunda yapılacak ısı yalıtım uygulaması, binanın enerji kayıplarını azaltacak ve CO₂ salım azaltımına katkıda bulunacaktır. Bina ısı kayıpları TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı kullanılarak hesaplanacaktır.

Binalarda ısı kayıplarının olduğu en önemli noktalardan biri dış duvarlardır. U-değeri (ısı geçirgenlik katsayısı) bir yapıda iç ve dış sıcaklık arasındaki farka bağlı olarak birim alan başına oluşacak ısı kaybını tanımlamaktadır. U-değerinin düşük olması, yapı bileşeninde oluşacak enerji transferinin düşük olduğunun göstergesidir ve enerji verimliliği açısından amaçlanan önemli bir kriterdir.

TÜİK Yapı İzin İstatistikleri ve Değişim Oranları 2002-2015 yılları arası verilerine göre ortalama konut alanı yıllara göre 180 m² ila 220 m² arasında değişmektedir [47]. Konut alanı doğu illerinde daha yüksek, batıya doğru ve özellikle tek kişilik yaşamın arttığı büyük şehirlerde daha düşük olmaktadır. Bu verilere göre konut alanının 150 m² olduğu varsayılmıştır. Konutun, katta iki daire bulunan bir binada yer aldığı ve bodrum kat üzerinde olduğu varsayılmıştır. Pencere boyutları ve yerleşimleri Çizelge 5.1'de verilmektedir. Konutun kuzey-güney-doğu yönlerine bakan cepheleri olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 5.1 : Varsayılan pencere boyutları ve güneş alma yönleri.

Oda	Pencere	Alan (m ²)	K	G	D	B
Salon	1,0m x 2,2m	2		X		
	2,0m x 1,8m	3,6			X	
1. Oda	2,0m x 1,8m	3,6				X
2. Oda	2,0m x 1,8m	3,6	X			
Mutfak	1,5m x 1,8m	2,7		X		
Banyo	0,5m x 0,7m	0,35	X			

Bina iskeletinin betonarme ve dolgu malzemesinin tuğla olduğu kabul edilmiştir. Betonarme yüzey alanın (kolon-kiriş-döşeme) binanın toplam yüzey alanına oranının %15 olduğu varsayımı yapılmıştır. Bileşen özellikleri TS 825'den alınmıştır ve Çizelge 5.2'de varsayılan bina bileşenlerinin ısı iletkenlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Bina yapı bileşenleri için seçilen malzeme ve λ_h değerleri [48].

Malzeme veya bileşenin çeşidi	Isıl iletkenlik katsayısı λ_h (W/mK)
Yatay delikli tuğlalarla yapılan duvarlar (TS EN 771-1)	0,33
Normal beton (TS 500'e uygun), doğal agrega veya mırcır kullanılarak yapılmış betonlar (Donatılı)	2,5

Isı yalıtım ürünlerinin ısı iletkenlik katsayısı çok düşüktür. Bir binada bina yapı bileşenlerine ısı yalıtımı uygulaması yapılması ile bileşenin toplam ısı geçirgenlik değeri düşecektir ve dolayısıyla bina dış duvarlarında oluşan ısı kaçakları azalacaktır.

Günümüzde genellikle bina ısı yalıtımı için kullanılan ürünler EPS (expande polistiren), XPS (extrüde polistiren) ve taşyünüdür. Türkiye'de bina mantolamasında ağırlıklı olarak EPS malzemesi kullanılmaktadır.

Dairenin yıllık ısı kaybı TS 825 Bina Isı Yalıtım Kuralları Standardı'na göre hesaplanmıştır. Yalıtım uygulaması için EPS ve taşyünü olmak üzere iki farklı ürün seçilmiştir.

EPS malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı çeşitli üreticilere göre değişmekle birlikte ağırlıklı olarak 0,030-0,035 W/mK aralığındadır. Çalışmada kullanılan EPS'nin ısı iletkenlik katsayısı değeri 0,035 W/mK olarak kabul edilmiştir. Piyasada mevcut taşyünü malzemelerin ısı iletkenlik değeri genellikle 0,040 W/mK civarındadır ve bu çalışmada da bu değer kullanılmıştır.

EPS ve Taşyünü'nün birbirlerine göre üstün ve sakıncalı yönleri vardır. EPS taşyününe göre daha yanıcı bir maddedir. Diğer yandan daha hafiftir ve uygulanması, montajı kolaydır. Bu işçilik maliyetlerinin düşük olmasını sağlar. Taşyünü EPS'ye göre daha güvenli olmakla birlikte yoğun bir malzeme olduğundan ağırdır, uygulaması EPS'ye göre daha zordur ve uygulama maliyetleri bu sebeple yüksek olmaktadır. Aynı zamanda mevcut eski binalara fazla yük bindireceğinden genellikle tercih edilmemektedir.

Çizelge 5.3'de binanın yalıtımında kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin özellikleri listelenmiştir. TS 825 standardındaki amaç, mevcut binalarda net ısıtma enerjisi tüketimlerini belirlemek ve bir yenileme projesi uygulanmadan önce uygulanabilecek enerji tasarruf önlemlerinin sağlayacağı enerji tasarruf potansiyelini belirlemektir. TS 825 standardında Türkiye'deki belirli bölgeler için duvar bileşenlerinin maksimum sahip olabileceği ısı geçirgenlik değerleri verilmiştir. Bu değeri İstanbul gibi 2.

Bölge’de yer alan şehirlerde sağlamak için kullanılması uygun görülen ortalama optimum ısı yalıtım levhası kalınlığı 5 cm’dir.

Çizelge 5.3 : Binada kullanıldığı varsayılan ısı yalıtım malzemesi özellikleri.

Kullanılan Isı Yalıtım Malzemesi	Isı Yalıtım Malzemesinin Isıl İletkenlik Değeri (W/mK) λ_h	Kullanıldığı Yer	Isı Yalıtım Malzemesi Levha Kalınlığı
EPS	0,035	Dış Duvar	5 cm
Taşyünü	0,040	Dış Duvar	5 cm
EPS	0,035	Bodrum Tavanı	3 cm

Çalışmada, her iki ürünle de dış cephede ısı yalıtımı yapıldığı, ayrıca bodrum tavanına da 3 cm EPS ile ısı yalıtımı uygulandığı varsayılmıştır.

İleriye dönük doğalgaz fiyatı belirlenirken, İGDAŞ’ın son 5 yıl için aylık olarak yayınladığı veriler kullanılmıştır [49]. Çizelge 5.4’de bilgilendirme amaçlı İGDAŞ’ın yalnızca ocak aylarına ait doğalgaz fiyatları gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : 2010-2015 Doğalgaz fiyatları (KDV hariç).

Tarih	TL/m ³	TL/kWh
01.08.2010	0,623	0,0586
01.01.2011	0,626	0,0588
01.01.2012	0,715	0,0672
01.01.2013	0,915	0,0860
01.01.2014	0,922	0,0866
01.01.2015	1,002	0,0942
01.08.2015	1,008	0,0948

Aylık veriler üzerinden lineer regresyon yöntemi kullanılarak gelecek 10 yıl için fiyat artış tahmini yapılmıştır. Buna göre 2025 yılı için yapılan fiyat tahminlerinde gelecek 10 yılın ortalama kWh başına birim doğalgaz fiyatı 0,143 TL/kWh olarak belirlenmiştir. Tüketiciler için bu fiyat üzerine KDV eklenerek hesaplar yapılmıştır. KDV dahil fiyat 0,169TL/kWh olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5’te elde edilen kWh doğalgaz başına birim fiyat tahminleri verilmektedir.

Çizelge 5.5 : 2015-2025 Doğalgaz fiyat tahminleri (KDV hariç).

Tarih	Lineer Regresyon TL/kWh
01.08.2015	0,0948
01.01.2016	0,1042
01.01.2017	0,1127
01.01.2018	0,1210
01.01.2019	0,1294
01.01.2020	0,1378
01.01.2021	0,1462
01.01.2022	0,1546
01.01.2023	0,1630
01.01.2024	0,1714
01.01.2025	0,1798
01.08.2025	0,1847

İGDAŞ'ın TL/m³ ila TL/kWh olarak sunduğu birim fiyatlardan Doğalgaz (kWh/m³) birim dönüşümü 10,64 kWh/m³ olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'de ısınma için kullanılan doğalgazın emisyon faktörü 1.922 (kg/m³)'dür [50]. Buna göre iki farklı yalıtım malzemesi kullanımı üzerinden, TS825 standardı temel alınarak salım azaltımları hesaplanmış ve tüm bilgilerle Çizelge 5.6 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.6 : Binanın yalıtımsız ve yalıtımlı olduğu durumda TS 825 hesap sonuçları.

	Yalıtımsız	EPS	Taşyünü
Enerji Tüketimi (kJ/yıl)	92.059.967,7	48.103.769,7	49.045.331
Enerji Tüketimi (kWh/yıl) ¹	25.572,2	13.362,2	13.623,7
Tasarruf Edilen Doğalgaz (kWh/yıl) ²		12.210,1	11.948,5
2025 Yılı Odaklı Ortalama Doğalgaz Fiyatı (TL/kWh) (KDV Dahil)	0,169	0,169	0,169
Tüketilen Doğalgaz Maliyeti (TL/yıl) ³	4.316,56	2.255,52	2.299,67
Tasarruf Edilen Doğalgaz Maliyeti (TL/daire.yıl) ⁴		2.061,05	2.016,90

¹ TS825 ile 1 daire için hesaplanmıştır.

² Yalıtımsız durum ile yalıtımlı durum arasındaki farktır.

³ Mevcut durumda tüketilen doğalgaz miktarıdır.

⁴ Yalıtımsız durum ile yalıtımlı durum arasındaki farktır.

Çizelge 5.6 (devam) : Binanın yalıtımsız ve yalıtımlı olduğu durumda TS 825 hesap sonuçları.

	Yalıtımsız	EPS	Taşıyünü
Birim Alana Isı Yalıtımı Uygulama Maliyeti (TL/m ²)		45	65
Konut Toplam Dış Cephe Yalıtım Metrajı (m ²) ⁵		95,95	95,95
Bodrum Tavanı Yalıtım Maliyeti (TL/daire)		675	675
Yalıtım Yatırım Maliyeti (TL/daire)		4.992,75	6911,75
Geri Ödeme Süresi (yıl) ⁶		2,42	3,43
Doğalgaz Birim Dönüşümü (kWh/m ³)	10,64	10,64	10,64
Tasarruf Edilen Doğalgaz Miktarı (m ³ /yıl)		1.147,56	1.122,98
Türkiye için Doğalgaz Emisyon Faktörü (kg eq CO ₂ /m ³)	1,922	1,922	1,922
Azaltılan eq CO ₂ Salımı (kg eq CO ₂ /yıl)		2.205,61	2.158,36

Bu çizelgede verilen hesap sonuç verileri MAC eğrisine aktarılmıştır.

5.2 Pencereilerin Değiştirilmesi

Binalarda oluşan ısı kaçaklarının bir kısmı da ısıl geçirgenlik katsayısı yüksek olan pencerelerde meydana gelmektedir.

Çok katlı binalarda iç ısının %30'u pencerelerden dış ortama kaçmaktadır [46]. Bu nedenle ısı geçirgenliği düşük pencere kullanımı enerjiden tasarruf etmeye ve dolayısıyla karbon salımlarının azaltılmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Pencere ısı kayıplarının hesaplanmasında da yine TS 825 standardından yararlanılmıştır. İlk durumda konut pencerelerinin ahşap çerçevesi ve tek camlı olduğu varsayılmıştır. Bu pencerelerin PVC doğrama ve çift camlı (ara boşluk 16 mm) pencereler ile değiştirilmesi sonucu elde edilen verilerle karbon marjinal maliyet azaltım grafiği oluşturulmuştur. Binanın cephelerinde yer alan pencere alanları Çizelge 5.1'de belirtilmiştir.

⁵ Daire duvar alanı pencere alanları çıkarılarak varsayılmıştır.

⁶ Basit geri ödeme yöntemi ile hesaplanmıştır. Yatırım maliyetinin tasarruf edilen doğalgaz maliyetine oranıdır.

Buna göre TS 825 EK.A'da bulunan bazı pencere tiplerinin ısıl geçirgenlik değerleri Çizelge 5.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.7 : Bazı pencere sistemlerinin Up değerleri [48].

Türkiye'deki ısı bölgelerine uygun cam seçiminde kullanılmak üzere hazırlanmış pencere ısıl geçirgenlik (U_p) katsayıları W/m^2K	Tek Camlı Pencere	Çift Camlı Pencere (kaplamasız cam)				
		Ara Boşluk (mm)				
		6	9	12	16	
Doğrama Tipi	Ahşap Doğrama (meşe, dişbudak/sert ağaçlar)	5,1	3,3	3,1	3,0	2,8
	Plastik Doğrama (2 odacıklı)	5,2	3,4	3,2	3,0	2,9

Bu çalışmada, eski tip ahşap-tek cam pencerenin piyasadaki Isıcam Konfor (4+16+4) tip pencere ile değiştirildiği varsayılacaktır. Bu tip bir pencerenin katalog U değeri: $1,3 W/m^2K$ 'dır ve piyasadaki işçilik dahil m^2 fiyatı 95 TL olarak kabul edilmiştir. Pencere fiyatları PVC kasa ve cam olarak ayrı ayrı hesaplanmaktadır. PVC kasalarda kanatlı/kanatsız pencereler gözönünde bulundurulur ve metretül (mtül) hesabı yapılır. Piyasadaki PVC fiyatlarına göre PVC fiyatı işçilik dahil 25 TL/mtül olarak varsayılmıştır.

PVC pencere ve kapıların tespit ve ilan edilen kullanım ömrü 10 yıldır [51]. Buna göre pencerelerin 2025 yılına kadar tekrar değiştirilmeyeceği kabul edilmiştir. Bu hesaplamada da yine Çizelge 5.5'deki doğalgaz fiyat tahmininden yararlanılmıştır.

Bu değişim sonrası TS 825 üzerinden yapılan hesaplar sonucu Çizelge 5.8 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.8 : Pencere değişimi sonrası gerçekleşen tasarruf.

	Mevcut Durum Pencere $U:5,1W/m^2K$	Yenileme Sonrası Pencere $U:1,3W/m^2K$
Enerji Tüketimi (kJ/yıl)	92.059.967,72	79.996.801,00
Enerji Tüketimi (kWh/yıl)	25.572,21	22.221,33
Tasarruf Edilen Doğalgaz (kWh/yıl)		3.350,88
2025 Yılı Odaklı Ortalama Doğalgaz Fiyatı (TL/kWh)	0,169	0,169
Tüketilen Doğalgaz Maliyeti (TL/yıl)	4.316,56	3.750,94

Çizelge 5.8 (devam) : Pencere değişimi sonrası gerçekleşen tasarruf.

	Mevcut Durum Pencere U:5,1W/m ² K	Yenileme Sonrası Pencere U:1,3W/m ² K
PVC Kasa + Isıcam Konfor Uygulama Dahil Maliyeti (TL/daire)		3.634,75
Geri Ödeme Süresi (yıl)		6,426
Doğalgaz Birim Dönüşümü (kWh/m ³)	10,64	10,64
Tasarruf Edilen Doğalgaz miktarı (m ³ /yıl)		314,932
Türkiye için Doğalgaz Emisyon Faktörü (kg eq CO ₂ /m ³)	1,922	1,922
Azaltılan Eşdeğer CO ₂ Salımı (kg eq CO ₂ /yıl)		605,300

Bu çizelgedeki hesap sonuç verileri MAC eğrisine aktarılmıştır.

5.3 Buzdolabında İyileştirme

Konutlarda elektrik tüketim noktalarından biri de evde kullanılan beyaz eşyalar (buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi vs.) ve elektrikli ev aletleridir. Marjinal karbon azaltım maliyeti hesabı için bunların arasından 24 saat boyunca kesintisiz çalışmaları sebebiyle buzdolapları incelenmiştir. Enerji tüketimi yüksek düşük sınıflı buzdolabından elektrik tüketimi daha az olan yüksek sınıflı buzdolaplarına geçilmesi ile azaltılacak elektrik enerjisi tüketimi ve dolayısıyla karbon salımının hesaplanarak MAC eğrisine eklenmesi amaçlanmıştır.

Makine Mühendisleri Odası tarafından gerçekleştirilen bir çalışmaya göre, buzdolapları 24 saat çalışmaları sebebiyle tüketilen toplam elektrik enerjisi içinde %31,1'lik oranları ile evlerde enerji tüketim oranı en yüksek olan cihazlardandır [52].

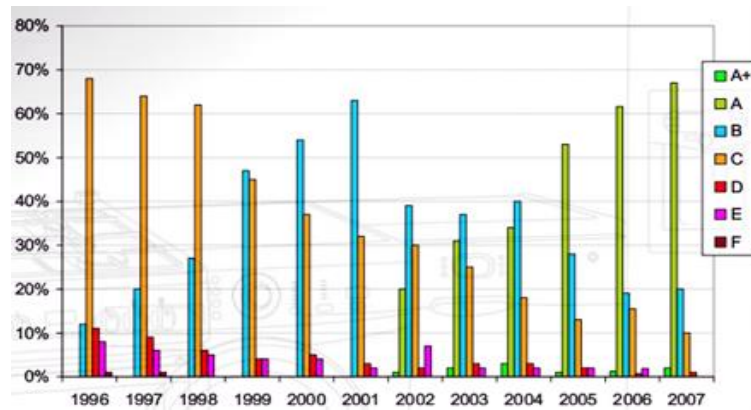
Çizelge 5.9'a göre, enerji sınıfı yüksek buzdolabı kullanımı, elektrik tüketimini ve dolayısıyla karbon salımının azaltılmasında etkili olacaktır. Enerji tüketim oranının diğer kalemlere göre yüksek olduğu dikkate alındığında, bir konut için yapılacak karbon marjinal azaltım maliyeti hesabı için belirleyici olarak buzdolabı seçilmiştir.

Çizelge 5.9 : Bir evde tüketilen elektrik enerjisinin oransal dağılımı [52].

Cihaz	Elektrik Tüketim Oranı (%)
Buzdolabı	31,1
Klima	15,0
Aydınlatma	11,7
Isıtıcılar	9,3
Çamaşır Makinesi	8,5
Televizyon	6,7
Bulaşık Makinesi	3,5
Kurutma Makinesi	3,2
Diğer	10,9

Türkiye’de buzdolaplarının enerji sınıfı oranı hakkında elde edilebilen veriler ve bu veriler temel alınarak yapılan tahminler üzerinden hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu verilere göre Türkiye’de mevcut durumda en çok kullanılan bir buzdolabı sınıfından enerji verimli buzdolabına geçilmesi ile yapılacak tasarruflar araştırılmıştır. Buzdolaplarının yaklaşık enerji tüketimlerinin hesaplanmasında, enerji sınıflandırmasında kullanılan 30 Ocak 2010 yılında, 27488 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Ev Tipi Buzdolapları, Derin Dondurucular, Buzdolabı Derin Dondurucular ve Bunların Bileşimlerinin Enerji Etiketlemesine Dair Yönetmelik’in de referansı olan “Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to Energy Labelling of Household Refrigerating Appliances” direktifi referans alınmıştır [53].

Arçelik’in 1996-2007 yılları arasındaki satış yüzdelerini gösteren Şekil 5.1’deki oranların Türkiye iç satışlarını yansıtabildiği varsayılmış ve Çizelge 5.10’da bu oranlar yüzdesel olarak belirtilmiştir [54].



Şekil 5.1 : Türkiye’de enerji sınıfına göre buzdolabı oranları [54].

Çizelge 5.10 : Türkiye’de enerji sınıfına göre buzdolabı oranları [54].

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
A+	%0,0	%0,0	%1,0	%2,0	%3,0	%1,0	%1,0	%2,0
A	%0,0	%0,0	%20,0	%31,0	%34,0	%54,0	%62,0	%67,0
B	%54,0	%63,0	%39,0	%37,0	%40,0	%28,0	%18,0	%20,0
C	%37,0	%32,0	%30,0	%25,0	%18,0	%13,0	%17,0	%10,0
D	%5,0	%3,0	%2,0	%3,0	%3,0	%2,0	%1,0	%1,0
E	%4,0	%2,0	%8,0	%2,0	%2,0	%2,0	%2,0	%0,0

Çizelge 5.11’de ise belirtilen toplam satış rakamları üzerinden [55] 2007 yılına kadar enerji sınıflarına göre satışı yapılan buzdolapları sayısal olarak hesaplanmıştır. 2007 yılına kadar hesaplanan enerji sınıfına göre sayısal satış tahminleri üzerinden artış/azalışa göre regresyon analizi yapılmış ve 2008-2009-2010 yılına yönelik enerji sınıfına göre sayısal satış tahminleri bulunmuştur.

Hesaplamalarda Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün 2011 yılında yapılan “Hane Halkına Yönelik Enerji Verimliliği Araştırma Raporu” verileri temel alınacağı için, ileriye dönük hesapların doğru sonuç verebilmesi açısından öncelikle 2010 yılına kadar olan oransal tahminler yapılmıştır.

Çizelge 5.11 : Türkiye’de beyaz eşya satışlarının yıllara göre dağılımı [55].

Buzdolabı	Yıl
2003	1.361.000
2004	2.015.000
2005	2.094.000
2006	2.066.000
2007	1.933.000
2008	1.822.000
2009	1.800.000
2010	1.933.000

2007 yılına kadar hesaplanan enerji sınıfına göre sayısal satış tahminleri üzerinden artış/azalışa göre regresyon analizi yapılarak 2008-2009-2010 yılına yönelik enerji sınıfına göre sayısal satış tahminleri bulunmuştur.

2008-2009-2010 enerji sınıfına göre sayısal satış tahmini verilerine göre, yapılan tahminler toplam sayısal satışa oranlanmıştır ve buradan oransal tahmine geçilerek Çizelge 5.12 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.12 : Regresyon analizi ile 2010 yılına kadar hesaplanan Türkiye’de enerji sınıfına göre buzdolabı oranları.

	2008	2009	2010
A+	%2,1	%2,3	%2,2
A	%72,7	%77,4	%75,3
B	%21,0	%20,5	%17,7
C	%12,2	%11,3	%9,6
D	%1,4	%1,3	%1,1
E	%0,9	%0,0	%0,0

Çizelge 5.12’deki tüm bu oranlar üzerinden 2010 yılına göre 1-5 yıllık (2006-2010 yılları oransal ortalaması), 6-10 yıllık (2001-2010 yılları oransal ortalaması) ve 11-15 yıllık (1996-2010 yılları oransal ortalaması) yüzdesel ortalamalar alınmış ve Çizelge 5.13 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.13 : Piyasadaki buzdolaplarının enerji sınıflarına göre piyasada bulunma oranları varsayımı.

Enerji sınıfı	1-5	6-10	11-15
A+	%1,8	%1,4	%0,0
A	%66,8	%27,8	%0,0
B	%18,4	%41,4	%32,0
C	%11,4	%23,6	%55,2
D	%1,1	%2,6	%7,0
E	%0,5	%3,2	%5,8

Bu oransal tahminlerde son olarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’nün “Hane Halkına Yönelik Enerji Verimliliği Araştırma Raporu’ndan yararlanılmıştır [56]. Bu araştırmaya göre Türkiye’de kullanılan buzdolaplarının %39,5’i 1-5 yıllık(2006-2010), %32,8’i 6-10 yıllık(2001-2005) ve %27,7’si 11-15 yıllıktır(1996-2000).

Tahminlerin gerçekçi olabilmesi için, Çizelge 5.13 verileri ile Bakanlık araştırma verileri çarpılarak yeni oranlar oluşturulmuştur ve Çizelge 5.14’deki tahminlere ulaşılmıştır.

Çizelge 5.14 : Enerji sınıfına göre tahmini oranlar.

Enerji Sınıfı	1-5	6-10	11-15	Toplam
A+	%0,72	%0,46	%0,0	%1,18
A	%26,42	%9,12	%0,0	%35,54
B	%7,52	%13,58	%8,86	%29,96
C	%4,48	%7,74	%15,29	%27,51
D	%0,43	%0,85	%1,94	%3,22
E	%0,21	%1,05	%1,61	%2,87

Bu tahminsel hesaplamalar sonunda ulaşılan en çok bulunma oranlarına göre bu konutta B sınıfı bir buzdolabı kullanıldığı varsayılacak ve A+++ enerji sınıfına geçilirse oluşacak karbon marjinal maliyet azaltım hesabı yapılacaktır.

2010/30/EU direktifine göre izelge 5.15’de verilen teknik özellikler ve ortalama Enerji Verimlilik Endeksi verilerine göre enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.15 : Varsayılan buzdolabı verileri.

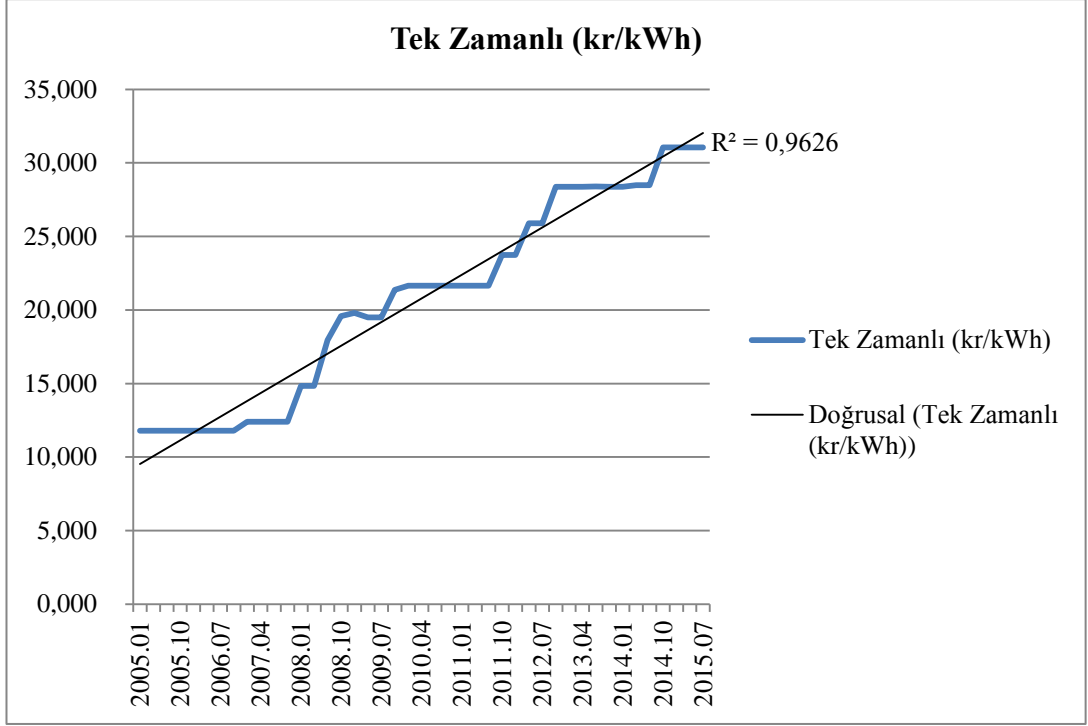
	B	A+++
Soğutucu Bölme Hacmi	400 lt	400 lt
Soğutucu Bölme Sıcaklığı	5°C	5°C
Dondurucu Bölme Hacmi	100 lt	100 lt
Dondurucu Bölme Sıcaklığı	-18°C	-18°C
Enerji Tüketimi (kWh/yıl)	628,237	212,634

Bu durumda 2010/30/EU direktifine göre; yukarıdaki özelliklere ait bir buzdolabının B enerji sınıfına ait olabilmesi için ortalama yıllık enerji tüketimi 628.237 kWh/yıl ve A+++ enerji sınıfına dahil olabilmesi için de 212,634 kW/yıl olmalıdır. B sınıfından A+++ enerji sınıfına ait bir buzdolabı kullanımına geçildiğinde yıllık elektrik enerjisinden tasarruf edilecek miktar 415,603 kWh/yıl olacaktır.

Ekonomi ve Dış Politika Araştırma Merkezi’nin çalışmasına göre, Elektrik Emisyon Faktörü (CO₂-eq kg/kWh) 2008-2010 dönemi için üretime göre ağırlıklandırılmış ortalama emisyon katsayısı 0,6603 tCO₂/MWh olarak bulunmuştur [57].

Piyasadaki buzdolabı markalarının A+++ buzdolabı fiyatları araştırılmıştır. Buna göre A+++ enerji sınıfına ait bu özelliklerde bir buzdolabı fiyat aralığı 2.500-3.500 TL arasında değişmektedir. Buzdolabı değiştirme yatırım fiyatının 3.000TL olduğu varsayılacaktır.

şekil 5.2’de de belirtilen TEDAş’ın 2005-2015 arasında tek zamanlı elektrik tarifesi üzerinden geçmiş 10 yıllık elektik fiyatları incelenmiş ve ortalama artış oranı bulunmuştur. Sonrasında regresyon analizi ile lineer artış olduğu varsayılarak (R²’nin 0,96 çıkması sebebiyle) 2025 yılı için tahmini elektrik fiyatı belirlenmiştir. Çizelge 5.16’da belirtilen fiyat tahminleri üzerinden gelecek on senenin ortalama elektrik fiyatı belirlenmiştir.



Şekil 5.2 : TEDAŞ son 10 yıla ait elektrik fiyatları.

Çizelge 5.16 : Elektrik fiyat tahminleri(KDV Hariç).

Tarih	kr/kWh
2015.07	32,031
2015.10	32,567
2016.01	33,102
2017.01	35,245
2018.01	37,387
2019.01	39,530
2020.01	41,672
2021.01	43,814
2022.01	45,957
2023.01	48,099
2024.01	50,242
2025.01	52,384

10 yıllık tahminler yapılacağından, 2015-2025 yılları arasında ortalama elektrik fiyatı 0,43 TL/kWh olarak hesaplanmıştır ve sonraki hesaplamalar bu fiyata KDV dahil edilerek yapılmıştır. KDV dahil fiyat 0,507 TL/kWh olmaktadır. Buna göre yıllık getirisi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Yıllık\ getiri = 415,603 \frac{kWh}{yıl} \times 0,507 \frac{TL}{kWh} \quad (5.1)$$

$$Yıllık\ getiri = 210,88 \frac{TL}{yıl} \quad (5.1a)$$

$$Yıllık\ tasarruf\ edilen\ CO_2\ miktarı = 0,6603 \frac{tonCO_2}{MWh} \times 415,603 \frac{kWh}{yıl} \times \frac{1MWh}{1000kWh} \quad (5.2)$$

$$Yıllık\ tasarruf\ edilen\ CO_2\ miktarı = 0,274 \frac{ton}{yıl} \quad (5.2a)$$

Buzdolabı değişimi ile yapılan tasarruf ve hesap sonuçları Çizelge 5.17’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.17 : Buzdolabı değişimi sonrası gerçekleşen tasarruf.

Ortalama Yıllık Tasarruf	415,603	kWh/yıl
Elektrik Fiyatı (10 yıllık ortalama)	0,507	TL/kWh
Ortalama Yıllık Tasarruf	210,877	TL/yıl
Yatırım Maliyeti	3000	TL
Elektrik Emisyon Faktörü	0,660	ton eq CO ₂ /MWh
Salım Azaltımı	0,274	ton eq CO ₂ /yıl
Geri Ödeme Süresi	7,21	yıl

Buradaki hesap sonuçları da MAC eğrisine eklenecektir.

5.4 Aydınlatma Sisteminde İyileştirme

Çizelge 5.9’den de görüleceği üzere bir konuttaki elektrik tüketiminde aydınlatmanın oranı yaklaşık %12’dir. Bu oran birçok kaynakta %20 olarak da açıklanmaktadır. Aydınlatma elemanlarında tasarruflu lambalara geçilmesi elektrik tüketimini düşürerek CO₂ salımının azaltılmasını sağlayacaktır.

En iyi koşula ulaşabilmek için, evdeki aydınlatmanın enerji tüketimi yüksek etkinlik faktörleri (lm/W) düşük enkandesan lambalarla yapıldığı ve bu lambaların yerine yüksek etkinlik faktörlü LED veya kompakt flüoresan ışık kaynaklarının kullanılması düşünülmüştür.

Evde kullanılan enkandesan lambaların kompakt flüoresan ve LED lambalar ile değiştirilmesi durumunda oluşacak tasarruf ve birim karbon azaltımının maliyeti bulunacaktır.

Başlangıçta 150 m² olduğu varsayılan konut için yaklaşık oda boyutları Çizelge 5.18’de belirtilmiştir. Kullanım amaçlarına göre odalarda sağlanması gereken aydınlık düzeyleri farklı olmaktadır. Odalarda sağlanacak aydınlık seviyeleri ise Çizelge 5.19’da belirtilmiştir.

Çizelge 5.18 : Varsayılan oda boyutları.

Oda	Oda Alanları (m ²)	Genişlik*Uzunluk (m*m)	Oda Yüksekliği (m)
Salon	45	5*9	
1 Oda	35	5*7	
1 Oda	35	5*7	2,7
Mutfak	20	5*4	
Banyo	15	3*5	

Çizelge 5.19 : CIE’nin önerdiği genel ve yerel aydınlık düzeyleri [58].

Mahal	Aydınlık Düzeyi (lx)
Yatak Odaları	50
Banyolar	100
Oturma Odaları	100
Mutfak	300

Mevcut durumda kullanılan enkandesan lambanın ve yerine kullanılması öngörülen kompakt flüoresan ve LED lambanın özellikleri Çizelge 5.20’de verilmiştir.

Çizelge 5.20 : Enkandesan, kompakt flüoresan ve LED lamba özellikleri.

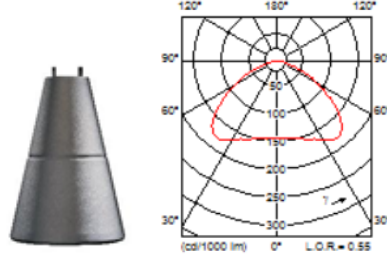
	Enkandesan[59]	Kompakt Flüoresan [60]	LED [60]
Lamba Modeli	A 60	EconomyTwister 12W WW E27 220-240V 1PF/6	LEDClassic 60W E27 WW 230V A60 ND
Güç (W)	60	12	7
Işık Akısı (lümen)	730	741	806
Etkinlik Faktörü (lm/W)	12,16	61,75	115,14
Renk Sıcaklığı (Kelvin)	<3.300	2.700	2.700
Renksel Geriverim	90-100	82	80
Fiyat (TL)	-	8,28	22,85
Kullanım Ömrü (saat)		6.000	10.000

Odalarda sağlanması gereken aydınlık düzeyine göre Dialüx programı kullanılarak hesaplamalar yapılmış, her bir odada sağlanması gereken ışık akısı seviyesi bulunmuştur. Dialüx hesaplarında kullanılan armatür bilgileri Çizelge 5.21’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.21 : Dialux programında varsayılan armatür özellikleri [58].

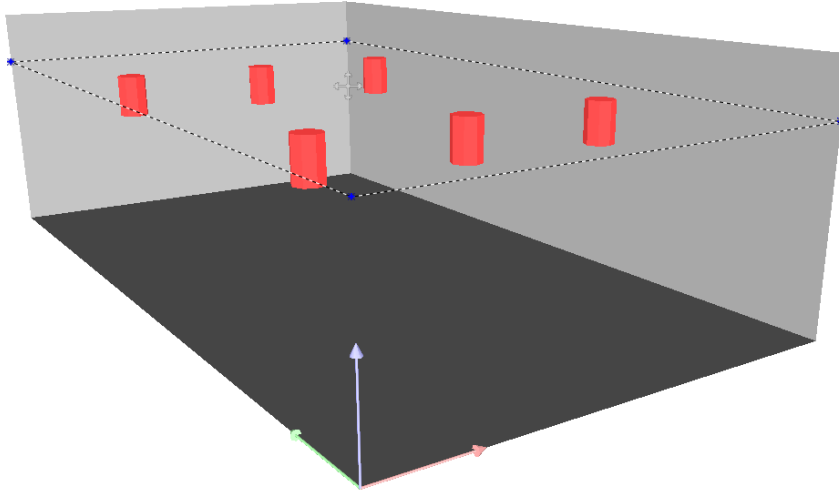
Armatür Marka-Model	Armatür Verimi	Duy
Philips MPK/FPK632 Kristea	0,55	E27

Dialux programında kullanılacağı varsayılan armatür ve fotometrik diyagramı Şekil 5.3'te belirtilmiştir.



Şekil 5.3 : Varsayılan armatür ve fotometrik diyagramı [58].

Lamba değişiminde armatürün sabit kaldığı, yalnızca lambanın değiştiği varsayılmıştır. Bu sebeple hesaplamalar toplam lamba akısı üzerinden yapılmıştır. Şekil 5.4'te Dialux programında salon aydınlatması için gereken örnek armatür sayısı hesaplamaları sonucu gereken lamba sayısının gösterildiği arayüz belirtilmiştir.



Şekil 5.4 : Dialux programında salon aydınlatması için gereken örnek armatür sayısı hesaplamaları.

Hesaplamalar sonucu her bir odada sağlanması gereken toplam ışık akısı değerinden, enkandesan, KFL ve LED lambaların ışık akısı değerlerine göre her oda için kullanılması gereken KFL ve LED lamba sayıları bulunmuştur ve Çizelge 5.22'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.22 : Gerekli ışık akısının sağlanması için gereken lamba/armatür sayıları, gücü ve yatırım maliyetleri.

	Oda	Gerekli lamba sayısı	Toplam lamba sayısı	Güç (W)	Toplam Güç (W)	Yatırım (TL)
Enkandesan	Salon	20	68	1.200	4.080	mevcut durum
	Banyo	7		420		
	Mutfak	27		1.620		
	2 Oda	14		840		
KFL	Salon	20	67	240	804	554,6
	Banyo	7		84		
	Mutfak	26		312		
	2 Oda	14		168		
LED	Salon	18	60	126	420	1370,8
	Banyo	6		42		
	Mutfak	24		168		
	2 Oda	12		84		

Bu hesaplara göre enkandesan lamba değişiminden oluşacak tasarruflar hesaplanmıştır.

Konutlarda aydınlatmaya gereksinim duyulan saatler dolayısı ile lambaların kullanım süreleri Çizelge 5.23'deki veriler üzerinden Bina Enerji Performansı Hesaplama Yöntemi Aydınlatma Enerjisi Gereksinimlerinin Hesaplanması yöntemine göre belirlenmiştir. Tebliğe göre; tablodaki gün saatlerindeki kullanım oranları, günışığının yapma aydınlatma enerjisi tüketimine etkisinin hesaba katılması amacıyla %50 oranında azaltılarak alınmıştır [61].

Çizelge 5.23 : Konutların saatlik kullanım oranları.

Pazartesi-Cuma		Cumartesi-Pazar	
Saat	Oran (%)	Saat	Oran (%)
00:00	0,26	00:00	0,3
01:00	0,08	01:00	0,09
02:00	0,04	02:00	0,06
03:00	0,03	03:00	0,04
04:00	0,02	04:00	0,03
05:00	0,06	05:00	0,04
06:00	0,09	06:00	0,07
07:00	0,32	07:00	0,18
08:00	0,32	08:00	0,21
09:00	0,26	09:00	0,315
10:00	0,25	10:00	0,345
11:00	0,225	11:00	0,325
12:00	0,22	12:00	0,315
13:00	0,245	13:00	0,32

Çizelge 5.23 (devam) : Konutların saatlik kullanım oranları.

Pazartesi-Cuma		Cumartesi-Pazar	
Saat	Oran (%)	Saat	Oran (%)
14:00	0,24	14:00	0,31
15:00	0,235	15:00	0,305
16:00	0,285	16:00	0,32
17:00	0,325	17:00	0,35
18:00	0,79	18:00	0,77
19:00	0,82	19:00	0,79
20:00	0,82	20:00	0,78
21:00	0,83	21:00	0,78
22:00	0,8	22:00	0,75
23:00	0,53	23:00	0,56
Toplam	%8,095	Toplam	%8,355

Bu oranlara göre aydınlatma elemanlarının toplam yıllık kullanımı 713,67 saat/yıl olmaktadır. Lamba değişimi sonrası hesaplanan tasarruflar Çizelge 5.24'te belirtilmiştir.

Çizelge 5.24 : Lamba değişimi sonrası hesaplanan tasarruflar.

	Enkandesan	Kompakt Flüoresan	LED
Toplam Güç (W)	4080	804	420
Lamba Kullanım Süresi (h/yıl)		713,67	
Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)	2.911,77	573,79	299,74
Tasarruf (kWh/yıl)		2.337,98	2.612,03
Elektrik Birim Fiyatı (TL/kWh)		0,43	0,43
Elektrik Birim Fiyatı (KDV Dahil) (TL/kWh)		0,507	0,507
Ortalama Yıllık Tasarruf (TL/yıl)		1.186,29	1.325,34
Yatırım (TL)		554,59	1.370,75
Elektrik Emisyon Faktörü (ton eq CO ₂ /MWh)		0,66	0,66
Azaltılan CO ₂ Salımı (kg eq CO ₂ /yıl)		1.543,07	1.723,94
Geri Ödeme Süresi (yıl)		0,935*	1,034

*Kullanım ömrü sonunda yenileme ömrü hesaba katılarak hesaplanmıştır.

Varsayılan kompakt flüoresan lambanın kullanım ömrü 6.000 saattir. Yılda 713,67 saat kullanıldığı varsayıldığında, kullanım ömrü 8,5 yıl olacaktır. 2025 yılı için yapılan 10 senelik projeksiyonda, kompakt flüoresan lambaların yenilenmesi gerekecektir. Lambaların yenilenme maliyeti, net bugünkü değer hesabına yatırım maliyeti olarak eklenmişir ve MAC eğrisi buna göre oluşturulmuştur. KFL'nın net bugünkü değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$NBD_{KFL} = -KFL \text{ ilk yatırım maliyeti} + \frac{Yıllık tasarruf}{(1+i)^1 + \dots + (1+i)^{10}} + \frac{yenileme maliyeti}{(1+i)^{8,4}} \quad (5.3)$$

i = faiz oranı = %7,5

5.5 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Yararlanma

Varsayılan konut için, konutlarda elektrik üretiminde kullanımı giderek artan güneş paneli kurulumu ile yapılacak tasarruf üzerinden birim karbon azaltım maliyeti hesaplanacaktır.

Piyasada kullanılan güneş panelleri türleri monokristal, polikristal ve incefilm güneş panelleridir. Monokristal güneş panelleri boyut olarak küçük ve verim değerleri de iyi olduğundan bina çatısında kullanım açısından uygun olmaktadır. Ancak bu panel türü diğer panellere görece daha pahalıdır. Polikristal panellerde daha geniş boyutlara ihtiyaç duyulmaktadır. İncefilm güneş panelleri ise verimi en düşük ancak en ucuz güneş panelleridir. Bu panel tipi yerde, zeminde kullanıma uygundur. Kristal paneller direkt güneş ışığında verimli olarak çalışabilirler. İnce film panelleri diğerlerinden ayıran bir özelliği ise örneğin havanın çoğunlukla bulutlu olduğu yerlerde difüzif(yaygın) gün ışığında da elektrik üretebiliyor olmalarıdır.

Mevcut teknolojiye göre, güneş panellerinin verimi ancak kurulu güçlerinin %20'si kadar olabilmektedir. Diğer yandan, sıcaklık arttıkça güneş panellerinin iletkenliği düşmekte ve verimleri azalmaktadır. Bu nedenle panellerin verimleri iklim koşullarından etkilenmektedir. Bu çalışma kapsamındaki konutta güneş panellerinin çatıya yerleştirileceği düşünülerek, daha uygun maliyetli olması da dikkate alınarak sabit panel kullanılmasına karar verilmiştir. Sabit panel durumunda güneş ışınları

devamlı dik açı ile panele ulaşamayacağından, panel verimi buna bağlı olarak da azalacaktır.

Genelde çatıların yalnızca güneye bakan kısmında güneş paneli kurulumu yapılmaktadır. Bu yüzden hesaplamalarda da bu şekilde varsayım yapılmış ve çatının yalnızca bir yüzeyine güneş paneli yerleştirilmesine karar verilmiştir.

Güneş panellerinin ortalama optimal ömürleri 25 yıldır, 50 yıla kadar da hizmet verebilirler. Bakım maliyetleri yoktur, yalnızca maksimum verim ile kullanılabilmeleri için temiz tutulmalıdırlar.

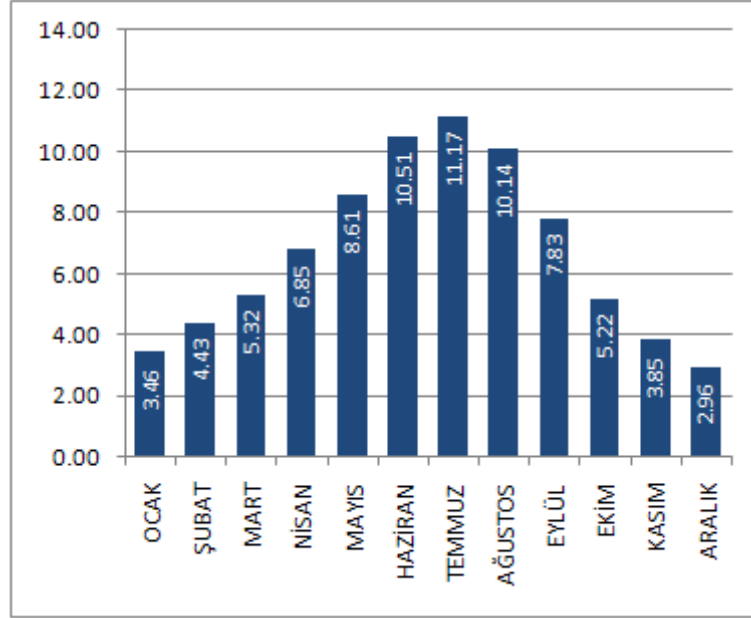
Güneş panelleri doğru akım üretmektedir ancak kullandığımız cihazların çok büyük bir çoğunluğu alternatif akım ile çalışmaktadır. Bu nedenle inverter (evirici) ihtiyacı doğmaktadır. Güneş panellerinin anlık olarak, tasarlandıkları değerin %140 fazlasını üretebilme ihtimalleri de bulunmaktadır. Bu nedenle inverter seçiminde sistem gücünün %140 üzerinde olması istenir. Ancak inverterin bu orandan daha büyük seçilmesi verimi düşürmekte ve kurulum maliyetini de yükseltmektedir.

Sistemde elektriğin kullanılmadığı zamanlarda akülerde depolanması sağlanabilir. Akülerin kullanım ömürleri kısadır. Sıcaklık, aşırı şarj veya derin deşarj akü ömrünü etkileyen faktörlerdir. En ucuz akü tipi kurşun asit akülerdir ve bunların kullanım ömrü yaklaşık 5 yıldır. Şarj deşarj verimleri de %90'dır. Yani üretilen elektriğin %90'ını depolayabilir ve depoladığının da %90'ını deşarj edebilirler. Jel akülerin yaklaşık kullanım ömürleri 9-10 yıldır ancak şarj-deşarj verimleri kurşun asit akülere göre daha düşüktür. Flow battery tip akülerin ömürleri ise görece daha uzundur, bozduklarında da içerisindeki sıvı değiştirilerek tekrar kullanılabilirler. Ancak şarj-deşarj verimleri çok düşüktür. Sistemin küçük olması sebebiyle ve maliyeti de artırmamak adına akü kullanılmadığı varsayılacaktır. Mahsuplaşma anlaşması yapılacağı varsayılacak, fazladan üretilen elektriğin şebekeye verildiği varsayılacaktır.

5.3'üncü bölümde B sınıfı bir buzdolabının elektrik tüketiminin ortalama 628,2 kWh/yıl olduğu varsayılmıştı. Çizelge 5.9'da bir evde tüketilen enerjinin yaklaşık %31'inin buzdolabı tarafından tüketildiği belirtilmişti. Buna göre varsayılan konut için yıllık elektrik tüketimi 2.026,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu da günlük yaklaşık 5,55 kWh elektrik tüketildiğini anlamına gelmektedir Bina çatı alanı

varsayımlarına göre, bu elektrik tüketiminin bir kısmının kurulacak güneş panelleri ile sağlanması planlanmıştır.

İstanbul ilinin güneşlenme süreleri Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'ndan alınmıştır ve Şekil 5.5'te belirtilmiştir [62].



Şekil 5.5 : İstanbul güneşlenme süreleri (saat).

Bu verilere göre ortalama günlük güneşlenme süreleri bulunmuş ve Çizelge 5.25'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.25 : İstanbul için günlük ortalama güneşlenme süresi.

Ay	Gün Sayısı (gün/ay)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)	Aylık Güneşlenme Süresi (saat)
Ocak	31	3,46	107,26
Şubat	30	4,43	132,9
Mart	31	5,32	164,92
Nisan	30	6,85	205,5
Mayıs	31	8,61	266,91
Haziran	30	10,51	315,3
Temmuz	31	11,17	346,27
Ağustos	31	10,14	314,34
Eylül	30	7,83	234,9
Ekim	31	5,22	161,82
Kasım	30	3,85	115,5
Aralık	31	2,96	91,76

Çizelge 5.25 (devam) : İstanbul için günlük ortalama güneşlenme süresi.

Gün Sayısı (gün/ay)	Güneşlenme Süresi (saat/gün)	Aylık Güneşlenme Süresi (saat)
Toplam yıllık güneşlenme süresi (saat/yıl)		2.457,38
Ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)		6,73

İncelenen konutun bulunduğu apartmanın 10 dairelik zemin üzeri 4 katlı bir bina olduğu ve çatı eğiminin %33 olduğu kabulüyle yola çıkarak bir varsayım yapıldığında, çatı alanı 178,8 m² olarak hesaplanmaktadır. Çatıya panel yerleşiminde daire başına 17,9 m²'lik bir alan ihtiyacı doğmaktadır. Kullanılacağı varsayılan 250W'lık panelin boyutları 1,65x0,99 m²'dir. Bir konut için panellerden 10 tane kullanılması gerekecektir. Ortalama 6,73 saat günlük güneşlenme süresi ve %20 verim ile çalışacağı varsayıldığında 10 tane 250W'lık panelden üretilebilecek elektrik 3,37 kWh/gün olarak hesaplanmaktadır. Güneş paneli kurulumu ile yapılan tasarruflar Çizelge 5.26'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.26 : Güneş paneli kurulumu ile yapılan tasarruf.

Tüketilen Enerji	Tasarruf (TL/yıl)	Tasarruf edilen CO ₂
3,37 kWh/gün	622,95 TL/yıl	2,22 kg eq CO ₂ /kWh 0,81 ton eq CO ₂ /yıl

Piyasa araştırmalarına göre böyle bir panel sisteminin kurulum maliyeti Çizelge 5.27'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.27 : Güneş paneli kurulum masrafı.

Donanım	Özellik	Fiyat (TL)
Fotovoltaik hücreler	250W*6 monokristalit panel	7.800
Evirici (Inverter)	4.300W on-grid inverter	3.800
İşçilik+Kurulum+Bürokrasi		3.500
Toplam Maliyet		15.100

Bu durumda sistemin geri ödeme süresi 24,24 yıl olmaktadır.

Tüm bu veriler de MAC eğrisine eklenecektir.

5.6 Klimada İyileştirme

Çizelge 5.9'a göre evde tüketilen elektriğin %15'i klimalarda tüketilmektedir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün 2011 yılında yapılan "Hane Halkına Yönelik Enerji Verimliliği Araştırma Raporu"na göre [56] ankete katılanların

%81,4'ü klimalarının olmadığını, %7,5'i mevcut klimalarının enerji sınıfını bilmediklerini %10'u A sınıfı bir klimaya sahip olduğunu, kalan ise B ve C sınıfı klimaya sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Isıtma Soğutma Klima İmalatçıları Derneği'nden alınan verilere göre 2010 yılında klima satışı 1,4 milyon adet olarak gerçekleşmiştir ve bu satışların %69'u A sınıfıdır [39].

Önemli bir tasarruf potansiyeli elde edebilmek adına B sınıfı bir klimadan A++ enerji sınıfına geçilmesi durumunda enerji tüketimindeki tasarruf hesabı yapılmıştır. Salonda bir klima olduğu varsayılmış ve A++ enerji sınıfına ait bir inverter klima kullanılması durumundaki tasarruf potansiyeli incelenmiştir.

Klima firmalarının tavsiyelerine göre 45m² bir odada bulunması gereken klimanın soğutma kapasitesi 22.000 Btu üzeri olmalıdır. Buna göre çeşitli firmaların klima teknik özellikleri incelenmiştir. Klimanın belirlenen kullanım ömrü 10 yıldır [51].

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden İstanbul için 4 ilçenin (Sarıyer, Şile, Florya ve Kumköy) soğutma derece gün değerlerinin ortalaması alınmış ve yıllık soğutma yapılan günün 88 gün olacağı varsayılmıştır [63]. Günlük ısıtma süresinin de 5 saat olduğu kabul edilmiştir. Buna göre tasarruflar hesaplanarak Çizelge 5.28 oluşturulmuş ve MAC eğrisine eklenmiştir.

Çizelge 5.28 : Klima değişimi ile yapılan tasarruf.

Enerji Sınıfı	B	A++
Model	Arçelik V-Fashion	Samsung AR24JSFNCWK/SK
Soğutma Kapasitesi (Btu)	24.000	23.000
Soğutma Tüketimi (W)	2.300	2.060
Yatırım Maliyeti (TL)		3.299
Kullanım Süresi (h/yıl)	440	440
Elektrik Tüketimi (kWh/yıl)	1012	906,4
Elektrik Birim Fiyatı (KDV Dahil) (TL/kWh)	0,507	0,507
Elektrik Tüketimi (TL/yıl)	513,49	459,91

Çizelge 5.28 (devam) : Klima değişimi ile yapılan tasarruf.

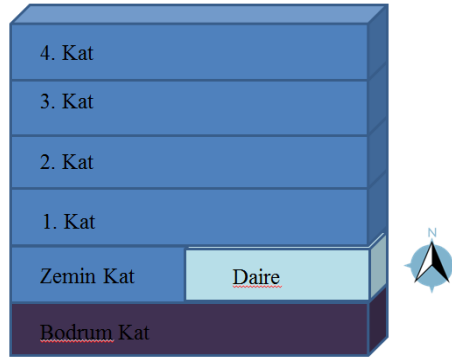
Enerji Sınıfı	B	A++
Ortalama Yıllık Tasarruf (kWh/yıl)		105,6
Ortalama Yıllık Tasarruf (TL/yıl)		53,58
Elektrik Emisyon Faktörü (ton eq CO ₂ /MWsa)		0,66
Azaltılan CO ₂ Salımı (kg eq CO ₂ /yıl)		69,696
Geri Ödeme Süresi (yıl)		61,6

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

MAC Eğrisi oluşturulurken SOMAR'ın Marjinal Azaltım Eğrisi örneğinden yararlanılmıştır [7].

TC Merkez Bankası 1 haftalık repo faiz oranı 2015 yılı için %7,5 olarak gerçekleşmiştir. Hesaplamalarda iskonto oranı olarak bu değer kullanılmıştır [64].

Şekil 6.1'de hesaplamaları yapılan dairenin binadaki konumu görselleştirilmiştir.



Şekil 6.1 : Varsayılan dairenin binadaki konumu.

Çizelge 6.1'de varsayılan binanın mevcut durumdaki enerji tüketim hesapları için MAC eğrisi verileri gösterilmiştir. Çizelge 6.2'de enerji tasarrufu dolayısı ile salım azaltımı sağlamak için yapılacak değişiklikler özet olarak listelenmiştir. MAC eğrisi ısı yalıtımı, buzdolabı değişimi, pencere değişimi, aydınlatma sisteminin değişimi, elektrik talebinin bir kısmının güneş panelleri ile sağlanması, klima değişimi ile hesaplanan veriler üzerinden oluşturulmuştur. Teknolojiler bireysel olarak değerlendirilmiş ve buna göre uzman bazlı MAC eğrisi oluşturulmuştur. Elektrik ve doğalgaz için gelecek fiyat tahminleri yapılmıştır. Ancak uzman bazlı MAC eğrilerinin, teknoloji iyileştirilmesi ihtimali, mükerrer karbon azaltımı yapılmış olma ihtimali gibi sakıncaları dahil edilememiştir. MAC eğrisinde azaltım önerileri azaltılan karbonun birim fiyatına göre soldan sağa doğru artan bir sıra ile dizilmiştir, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.1 : MAC veri varsayımları özet tablosu – mevcut durum.

Mevcut Durum	
Alan:	150m ²
Daire bilgileri:	Katta 2 daire, toplamda 10 dairesel bina
Konum:	Bodrum kat üzerinde, normal kat
Yapı malzemesi:	%85 tuğla-%15 betonarme
Yalıtım durumu:	Yalıtımsız bina
Pencere:	Ahşap, tek camlı (U=5,1 W/m ² K)
Cepheler:	kuzey-doğu-güney
Aydınlatma:	enkandesan (60W)
Buzdolabı:	B sınıfı (628,234 kWh/yıl)
Klima:	B sınıfı (2.190W)

Çizelge 6.2 : MAC varsayımları özet tablosu – yapılacak değişiklikler.

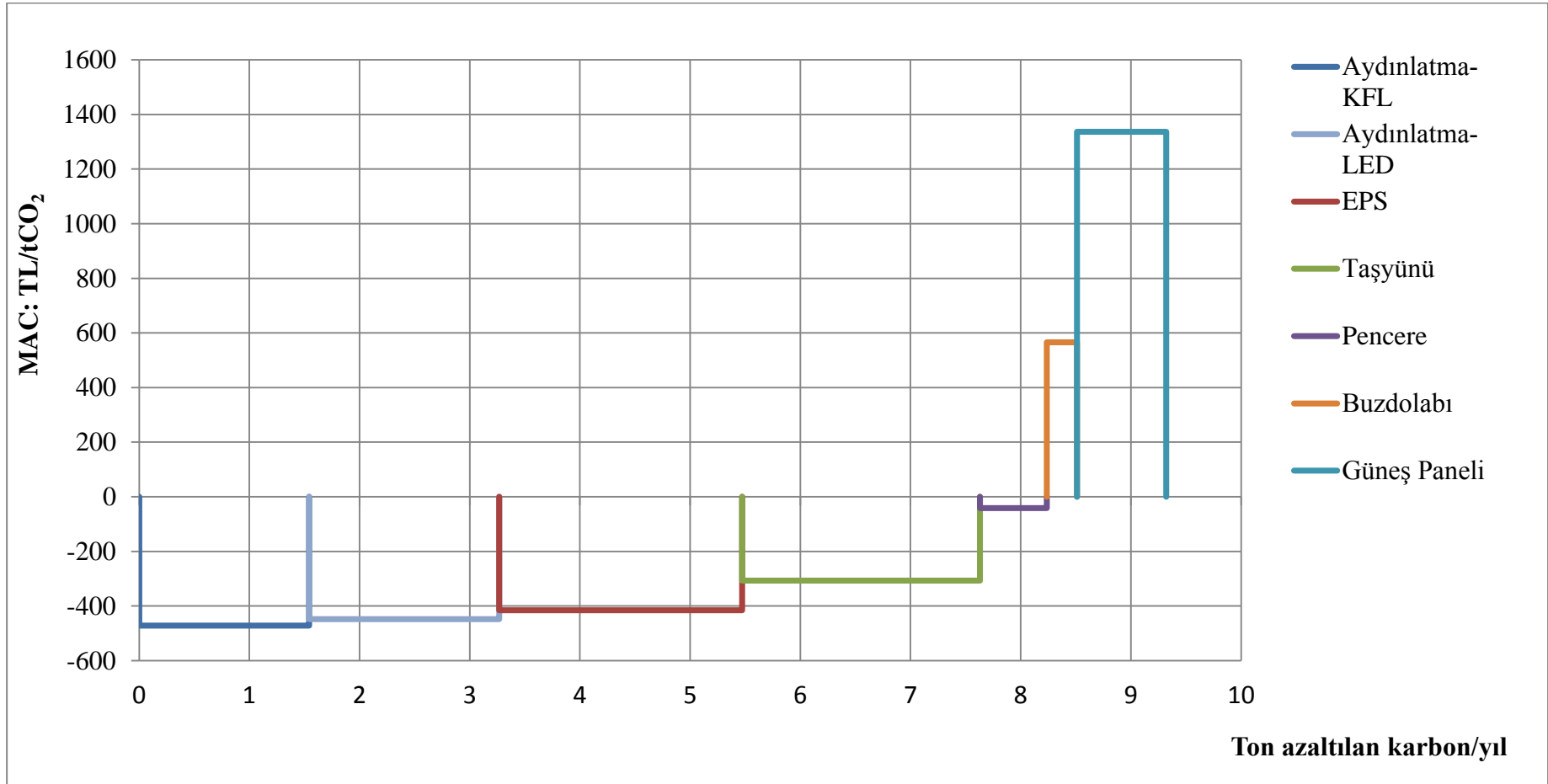
CO ₂ Azaltımı İçin Yapılan Değişimler	
Yalıtım	- mantolama: 5cm λ :0,035 W/mK EPS + bodrum tavanı 3cm λ :0,035 W/mK EPS - mantolama: 5cm λ :0,040 W/mK taşıyıcı + bodrum tavanı 3cm λ :0,035 W/mK EPS
Pencere değişikliği	PVC (4+16+4) Isıcam Konfor kullanımına geçiş (U=1,3 W/m ² K)
Aydınlatma sistemi değişikliği	KFL lamba kullanımına geçiş (12W) LED lamba kullanımına geçiş (8W)
Buzdolabı değişikliği	A+++ buzdolabı kullanımına geçiş (212,634 kWh/yıl)
Klima değişikliği	A++ klima kullanımına geçiş (2.060W)

Bu tablo şunu göstermektedir; örneğin kompakt flüoresan lamba aydınlatmasını inceleyecek olursak, bu yatırımın toplam bugünkü yatırım maliyeti 555 TL olacaktır. Bu yatırımın mevcut duruma göre 2015-2025 yılları arasında elektrik tüketiminden sağlayacağı tasarruf ortalama yıllık 1.186,29 TL'dir. Elektrik tasarrufunun salım azaltımına katkısı ortalama yıllık 1,543 ton olacaktır. MAC eğrisi 2025 projeksiyonlu oluşturulacağından, proje ömrü 10 yıl olarak seçilmiştir. Yatırım maliyeti, senelik tasarruflar ve KFL için 8,5'uncü yılda (kullanım ömrü sonunda) tekrar yapılacak yatırımın değeri bugüne çekilerek projenin net bugünkü değeri -7286,4 olarak hesaplanmıştır. Net bugünkü değeri negatif olan projeler proje ömrü boyunca kendi kendini ödeyen yatırımlardır. Projenin net bugünkü değerinin yıllık ortalama CO₂ tasarrufuna ve proje ömrüne oranından projenin birim ton CO₂ salım azaltımının maliyeti hesaplanmaktadır. Projeler marjinal azaltım maliyetlerine göre Çizelge 6.3, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de yerleştirilmişlerdir. Klima değişimi için birim karbon eşdeğeri salım azaltımının maliyeti görece çok yüksek olduğundan, grafiğin daha anlaşılabilir görünebilmesi için Şekil 6.2 klima verisi olmadan hazırlanmıştır.

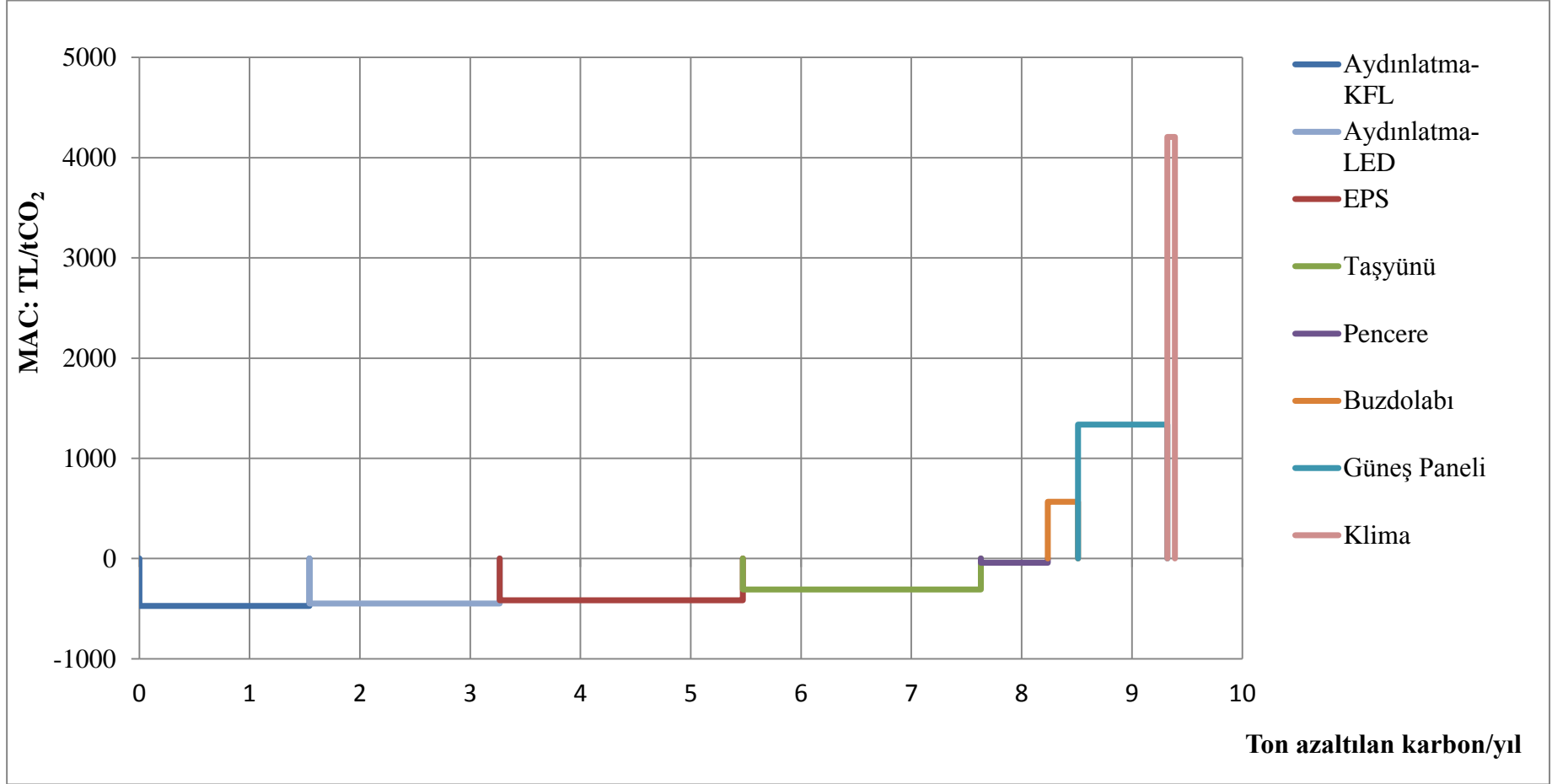
Çizelge 6.3 : Karbon azaltım projelerinin özet verileri.

Proje		Aydınlatma- KFL	Aydınlatma- LED	EPS	Taşıyünü	Pencere	Buzdolabı	Güneş Paneli	Klima
Yatırım Maliyeti	(TL)	555	1.371	4.993	6912	3.635	3.000	15.100	3.299
Yıllık Kazanç/Maliyet	(TL/yıl)	1.186,29	1.325,34	2.061,05	2.016,90	565,63	210,88	622,95	58,58
Yıllık Ortalama CO ₂ Tasarrufu	(ton/yıl)	1,543	1,724	2,206	2,158	0,605	0,274	0,810	0,070
Proje Ömrü	(yıl)	10	10	10	10	10	10	10	10
NBD*	(TL)	-7.286	-7.726	-9.154	-6.932	-248	1.553	10.824	2.931
Marjinal Azaltım Maliyeti	(TL/ton)	-472,2	-448,19	-415,0	-321,2	-40,9	565,7	1336,3	4206,1
Geri Ödeme Süresi	(yıl)	0,935	1,034	2,42	3,42	6,424	7,21	24,24	61,6
Proje Kümülatif CO ₂ Tasarrufu	(ton/yıl)	1,543	3,267	5,473	7,631	8,236	8,510	9,320	9,390

*NBD: Net bugünkü değer



Şekil 6.2 : Varsayılan konut için karbon azaltım projeleri MAC eğrisi (klima hariç).



Şekil 6.3 : Varsayılan konut için karbon azaltım projeleri MAC eğrisi.

Bu MAC eğrisine göre ileride bir karbon azaltım hedefi belirlenmesi durumunda, öncelik verilmesi önerilen projeler görselleştirilmiştir.

Bu oluşturulan MAC eğrisi kullanıcıya toplam azaltım potansiyelini vermez, yalnızca önlemlerin göreceli olarak değerlendirilebilmesine imkan sağlar. Varsayılan konutun EPS veya taşıyünü ile yalıtılması, ya da enkandesan lambaların KFL veya LED lambalar ile değiştirilmesi sonucunda her bir önlemin bireysel olarak toplam CO₂ eşdeğer salım azaltımını ve birim azaltımın maliyetini göstermektedir.

Elde edilen verilerden seçimler yapılarak toplamda en çok CO₂ eşdeğer azaltımını sağlayacak önlemlerin olduğu ya da en az maliyet ile CO₂ eşdeğer salım azaltımının sağlanabileceği MAC eğrisi çeşitleri oluşturulabilir. Diğer yandan daha doğru ve net uygulama önerileri geliştirebilmek için hesaplamalar detaylandırılabilir. Örneğin, aydınlatmada olası enerji tasarrufları önerilen KFL ve LED lambaların farklı çeşit ve güçlerinin değişik armatürlerde kullanılması şeklinde genişletilebilir. Daha detaylı incelemelerle, olası önlemlerin birbirleri üzerindeki etkileri de hesaplanarak azaltımlardaki mükerrer sayımlar da büyük oranda engellenebilir.

İlk adım olarak teknolojileri bireysel olarak değerlendiren ve kullanıcıya kolay anlaşılır bir öngörü sağlayan uzman bazlı eğri oluşturulmuştur, veriler detaylandırılarak ve bir modele oturtularak uzman bazlı eğilerin eksiklerinin üstesinden gelinen model türevli eğriler oluşturulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Senatla, M., Merven, B., Hughes A. & Cohen, B.** (2013). Marginal Abatement Cost Curves: Mitigation Decision Tools, Erişim tarihi 18 Nisan, 2015, Erişim adresi http://www.mapsprogramme.org/wp-content/uploads/Final_Paper_MACC_130624.pdf
- [2] **Kesicki, F.** (2011). Marginal abatement cost curves for policy making – expert-based vs. model-derived curves, Erişim 8 Şubat, 2015, Erişim adresi http://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucft347/Kesicki_MACC.pdf
- [3] **Ekins, P., Kesicki, F., & Smith, A.Z.P.** (2011). Marginal Abatement Cost Curves: A call for caution, *Climate Policy*, 12, 219-236.
- [4] **Ellerman, A.D. & Decaux, A.** (1998). Analysis of post-Kyoto CO2 emissions trading using marginal abatement curves, (Rapor No:40) Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report
- [5] **Url-1** <<http://www.somar.co.uk/tools/excel/MAC-Calculation.xls>>, erişim tarihi 29.06.2006.
- [6] **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** (2012). Using Marginal Abatement Cost Curves to Realize the Economic Appraisal of Climate Smart Agriculture Policy Options, Erişim 28 Mart, 2015, Erişim adresi http://www.fao.org/docs/up/easypol/906/exact_macc_116en.pdf
- [7] **Url-2** <<http://www.somar.co.uk/tools/marginal-abatement-cost-curve.php?Pageid=121>>, erişim tarihi 17.02.2015.
- [8] **Nera Economic Consulting.** (2011). Sera Gazı Emisyonlarını Azaltma Potansiyeli: Türkiye'deki Yatırımcılar İçin Marjinal Azaltma Maliyet Eğrisi, Erişim 3 Mayıs, 2015, Erişim adresi http://www.ebrd.com/downloads/research/economics/publications/specials/Turkey_MACC_report_TURK.pdf
- [9] **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi** (t.y.). *Vikipedi*. Erişim: 27 Nisan, 2015, http://tr.wikipedia.org/wiki/Birleşmiş_Milletler_İklim_Değişikliği_Çerçeve_Sözleşmesi
- [10] **Url-3** <<http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr>>, erişim tarihi 29.04.2015.
- [11] **Url-4** <http://www.mfa.gov.tr/birlesmis-milletler_iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-_bmidcs_-ve-kyoto-protokolu-_.tr.mfa>, erişim tarihi 27.04.2015.
- [12] **Url-5** <<http://www.iklim.gov.tr/kyoto.htm>>, erişim tarihi 01.05.2014.

- [13] **DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, İklim Değişikliği Birimi.** (t.y.) *İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, Kyoto Protokolü Ve Türkiye*, Erişim 01 Mayıs, 2015, Erişim adresi http://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/iklim_degisikligi_cerceve_sozlesmesi_ve_turkiye.pdf?sfvrsn=2
- [14] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (t.y.) *Enerji, Çevre ve İklim Değişikliği*, Erişim 01 Mayıs, 2015, Erişim adresi <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fEnerji+-A%C3%87evre+ve+%C4%B0klim+De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi.pdf>
- [15] **CBI Climate Change Task Force.** (2007). *Climate Change: Everyone's Business*, Erişim 28 Nisan, 2015, Erişim adresi http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/greenhouse_gas_abatement_cost_curves
- [16] **Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.** (t.y.) *Emisyon Ticareti*, Erişim 01 Mayıs, 2015, Erişim adresi http://www.eie.gov.tr/iklim_deg/emisyon_ticareti.aspx
- [17] **T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı.** (t.y.) *Kyoto Protokolü Esneklik Mekanizmaları*, Erişim 01 Ağustos, 2015, Erişim adresi <http://www.karbonkayit.cob.gov.tr/Karbon/AnaSayfa/flexiblemechanisms.aspx?sflang=tr>
- [18] **Dam, M. M.** (2014). *Sera Gazı Emisyonlarının Makroekonomik Değişkenlerle İlişkisi: OECD Ülkeleri İçin Panel Veri Analizi*. (Doktora Tezi), Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
- [19] **The Clean Energy Act Part 9 – Marginal Abatement Cost Curves.** (2012), Erişim 18 Nisan, 2015, Erişim adresi <http://www.hacaustralia.com/carbonsignal/?p=2371>
- [20] **Marginal abatement cost** (t.y.) *Vikipedi*. Erişim: 07 Şubat, 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/Marginal_abatement_cost
- [21] **Tilburg, X., Würtenberger, L. & Tinoco, R.** (2010), *Marginal Abatement Cost Curve Policy Brief*, Erişim 28 Nisan, 2015, Erişim adresi https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/bs/IEC/ECN_Low_Carbon_TA_Brochure_.pdf
- [22] **Url-6** <<http://drgreglavery.wordpress.com/erics-replacing-maccs/>>, erişim tarihi 07.02.2015.
- [23] **Enkvist, P. A., Naucler, T. & Rosander, J.** (2007). *A cost curve for greenhouse gas reduction*, Erişim 28 Nisan, 2015, Erişim adresi http://www.mckinsey.com/insights/sustainability/a_cost_curve_for_greenhouse_gas_reduction
- [24] **Url-7** <<http://www.ecoheatsolutions.com/heatingsolutions/woodpelletboiler.html>>, erişim tarihi 28.04.2015.
- [25] **Carbon Zero Solutions.** (2011). *Marginal Abatement Cost Analysis for identifying and quantifying cost effective energy reduction projects*, [9]. Erişim adresi: www.carbonzerosolutions.com
- [26] **Url-8** <<http://www.sustainsuccess.co.uk/the-big-macc>>, erişim tarihi 07.02.2015.

- [27] **Couturen, T. & Gagnon, Y.** (2009). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment, *Energy Policy*, 38 (2010), 955–965.
- [28] **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun.** (2011). *T. C. Resmi Gazete*, 27809, 8 Ocak 2011.
- [29] **Url-9** <<http://www.cityswitch.net.au/Resources/CitySwitchResources/Planning,reportingandmonitoring/Planning,reportingandmonitoringarticle/TabId/150/ArtMID/787/ArticleID/10273/Using-Marginal-Abatement-Cost-curves-.aspx>>, erişim tarihi 18.03.2015.
- [30] **Vogt-Schilb, A. & Hallegatte, S.** (2014). Marginal abatement cost curves and the optimal timing of mitigation measures. *Energy Policy*, 66, 645–653.
- [31] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2010). Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023, Erişim 18 Ağustos, 2015, Erişim adresi <https://www.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner592.pdf>
- [32] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011). T.C İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011–2023, Erişim 18 Ağustos 2015, Erişim adresi <https://www.dsi.gov.tr/docs/iklim-degisikligi/ideptr.pdf?sfvrsn=2>
- [33] **Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023.** (2012). *T. C. Resmi Gazete*, 28215, 25 Şubat 2012.
- [34] **TUİK.** (2013). National Greenhouse gas inventory 1990-2012, Erişim 16 Ağustos, 2015, <http://www.turkstat.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=,18744>
- [35] **Url-10** <<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744>>, erişim tarihi 21.08.2015.
- [36] **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2015). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı Taslak versiyon No.7, Erişim 20 Temmuz, 2015, Erişim adresi http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/UEVEP_TASLA K.pdf
- [37] **Türkay, M., Özbağcı, Ş., & Akca, B.** (2012). Türkiye'nin Enerji Verimliliği Haritası ve Hedefler, Erişim 17 Ağustos, 2015, Erişim adresi <http://www.enver.org.tr/UserFiles/Article/90df6e6d-4004-4165-99c0-5642a4e90ed0.pdf>
- [38] **TMMOB Makine Mühendisleri Odası.** (2012). Dünya ve Türkiye'de Enerji Verimliliği (Yayın No: MMO/589, ISBN: 978-605-01-0360-1, 2011) Ankara : Oda Raporu.
- [39] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2011). Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2020, Erişim 17 Ağustos, 2015, Erişim adresi https://www.csb.gov.tr/db/iklim/editordosya/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf
- [40] **Sera Gazı Emisyon Azaltımı Sağlayan Projelere İlişkin Sicil İşlemleri Tebliği.** (2010). *T. C. Resmi Gazete*, 27665, 7 Ağustos 2010.

- [41] **Url-11** <<http://www.enerjidergisi.com.tr/haber/2013/07/turkiye-gonullu-karbon-piyasasinda-ana-aktor-konumunda>>, erişim tarihi 23.04.2015.
- [42] **Url-12** <<http://www.altensis.com/hizmetler/kurumsal-surdurebilirlik/karbon-yonetimi/>>, erişim tarihi 23.04.2015.
- [43] **T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.** (2012). Türkiye’de Karbon Piyasası Verimliliği, Erişim 10 Ağustos, 2015, Erişim adresi www.eie.gov.tr/iklim_deg/document/karbon_piyasasi.pdf
- [44] **UNDP Türkiye.** (2011). Türkiye’de Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi 2011, Erişim 10 Ağustos, 2015, Erişim adresi http://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/operations/projects/poverty_reduction/promoting_energy_efficiency_in_buildings_in_turkey.html
- [45] **Url-13** <<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15843>>, erişim tarihi 10.08.2015.
- [46] **Koçu, N. & Dereli, M.** (2010). Dış Duvarlarda Isı Yalıtımı İle Enerji Tasarrufu Sağlanması Ve Detaylarda Karşılaşılan Sorunlar, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Buca, İzmir, Türkiye : Nisan 15 -16.
- [47] **TÜİK.** (t.y.). *Yapı İzin İstatistikleri ve Değişim Oranları*, Erişim 8 Ağustos, 2015, Erişim adresi http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1055
- [48] **TSE** (2009) *TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardı*. Erişim adresi http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/cf3e258fbd3eb7_ek.pdf
- [49] **Url 14** <<http://www.igdas.com.tr/SatisTarifesi>>, erişim tarihi 11.08.2015.
- [50] **Sari, D. & Bayram, A.** (2013). Quantification of emissions from domestic heating in residential areas of İzmir, Turkey and assessment of the impact on local/regional air-quality, *Science of the Total Environment*, 488-489, 429-436.
- [51] **Satış Sonrası Hizmetler Yönetmeliği.** (2014). *T. C. Resmi Gazete*, 29029, 13 Haziran 2014.
- [52] **Mutlu, M., Kaynaklı, Ö. & Kılıç, M.** (2011). Elektrikli Ev Aletlerinin Enerji Etiketlemesinin İncelenmesi, *Ulusal İklimlendirme Kongresi*, (s529-537). Antalya,18-20 Kasım.
- [53] **Commission Delegated Regulation (EU) Supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to energy labelling of household refrigerating appliances.** (2010). No 1060/2010, 28 Eylül 2010.
- [54] **Url 15** <<http://www.alternaturk.org/A++enerji-tasarrufu.php>>, erişim tarihi 13.08.2015.
- [55] **Çengel, Y., Akgün, E. & Arslantaş, S.** (2009). Verimsiz Eski Buzdolaplarının Yüksek Verimli Yenileriyle Değiştirilmesi, 1. *Ulusal Enerji Verimliliği Forumu*, Yeşilköy, İstanbul, Türkiye : Ocak 15-16
- [56] **Url 16** <www.eie.gov.tr/document/YEGM_enerji_ver_anket_deg_raporu.pps>, erişim tarihi 12.08.2015.

- [57] **Kumbaroğlu, G., Ülgen, S., Saygın, H., İzak, A., Stein, A. & Sanin, D.** (2012). *Nükleer Enerjiye Geçişte Türkiye Modeli-II*. İstanbul.
- [58] **Url 17** <<http://www.dial.de/DIAL/en/dialux/pluginscatalogues/premium/phili ps.html>>, erişim tarihi 20.11.2015.
- [59] **Url 18** <http://www.alkankardesler.com/pdf/ALKAN/24TEKNIK_AYDINLATMA _BILGILERI.pdf>, erişim tarihi 21.11.2015.
- [60] **Url 19** <http://www.alkanlar.com/Assets/Documents/PHILIPS_AYDINLATMA_ FIYAT_LISTESI_2015_20151130_131039.pdf>, erişim tarihi 18.10.2015.
- [61] **Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ EK-II Aydınlatma Enerjisi Gereksinimlerinin Hesaplanması.** (2010). *T.C. Resmi Gazete*, 27778, 7 Aralık 2010.
- [62] **Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.** (t.y). *Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası*. Erişim tarihi 26 Kasım, 2015, Erişim adresi <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
- [63] **Url 20** <<http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx?g=yillik&m =06-00&y=2015&a=10#sfB>>, erişim tarihi 26.11.2015.
- [64] **Url 21** <<http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tcmb+tr/tcmb+tr/main+ page+site+area/tcmb+faiz+oranlari/1+hafta+repo>>, erişim tarihi 13.08.2015.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad :Tuğçe Çıngay
Doğum Tarihi ve Yeri : 09 Kasım 1988 İstanbul
E-posta : tugcecingay@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2010, Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Lisans : 2011, Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü