



**T.C.**  
**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DOLGULU KOLONDA KARBONDİOKSİT (CO<sub>2</sub>)  
GAZININ ALKALİ ATIKSU İLE TUTULMASI**

**AYŞEGÜL SERENCEM GÖLCÜK**

**DANIŞMAN**  
**DOÇ. DR. ÜLKÜ ALVER ŞAHİN**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**İSTANBUL-2019**

Bu çalışma, 17.07.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


### Tez Jürisi



Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Emine ELMASLAR  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Atakan ÖNGEN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Burcu ONAT  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Pinar ERGENEKON  
GTÜ  
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim süresince her türlü bilgiyi benden esirgemeyen, çalışmama ve bana sonsuz katkı sağlayan, her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN'e başta olmak üzere, tez sürecimde kıymetli bilgi ve manevi desteğiyle yanımda olan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Burcu ONAT'a,

Değerli bilgi birikimi ve destekleriyle her zaman yanımda olan İstanbul Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ndeki Sayın Doç. Dr. Atakan ÖNGEN başta olmak üzere tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma,

Eğitim hayatım boyunca manevi desteğini esirgemeyen, eşim Muhammed Abdulkadir GÖLCÜK'e, annem Dilek TEHCİ'ye, babam Ramazan TEHCİ'ye, kız kardeşim Selcen TEHCİ'ye, uykularıyla tezimi yazmama olanak sağlayan küçük oğlum Yağız Selim GÖLCÜK'e, manevi desteğiyle yanımda olan canım arkadaşım Gonca YAŞAR'a,

Çalışmamı sürdürmem için bana gerekli olan tüm imkanları sağlayan Genel Koordinatörüm Sayın Serkan ÖZKUL'a, Muhasebe Müdürüm Sayın İsmail ERDOĞAN'a, ve diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz 2018

Ayşegül Serencem GÖLCÜK

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI .....	2
<b>2. GENEL KISIMLAR.....</b>	<b>3</b>
2.1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ .....	3
2.1.1. İklim Sistemi .....	6
2.1.2. Sera Etkisi ve İklim Değişikliği .....	6
2.1.3. İklim Değişikliğinin Sonuçları .....	8
2.2. SERA GAZLARI.....	11
2.2.1. Karbondioksit .....	12
2.2.2. Metan .....	14
2.2.3. Nitroz Oksit .....	14
2.2.4. Diğer Sera Gazları .....	15
2.3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ULUSLARARASI YÖNETİMİ.....	16
2.4. İKLİM DEĞİŞİMİ VE TÜRKİYE .....	18
2.5. KARBONDİOKSİT (CO <sub>2</sub> )'İN TUTULMASI VE DEPOLANMASI.....	25
2.5.1. Absorpsiyon.....	25
2.5.1.1. Fiziksel Absorpsiyon.....	25
2.5.1.2. Kimyasal Absorpsiyon .....	26
2.5.2. Membranlar .....	28
2.5.3. Adsorpsiyon.....	28
2.6. LİTERATÜRDE BULUNAN KARBONDİOKSİT (CO <sub>2</sub> ) TUTULUM ÇALIŞMALARI .....	28
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>32</b>

3.1. DENEY DÜZENEGİ.....	32
3.2. KULLANILAN CİHAZ VE MALZEMELER.....	34
3.1.2. AO2020 Baca Gazı Cihazı .....	34
3.1.3. Ph Metre .....	34
3.1.4. Peristaltik Pompa.....	34
3.1.5. Hava Kompresörü.....	35
3.2. ABSORPSİYON ÇÖZELTİLERİ .....	35
3.2.1. NaOH Çözeltisi .....	35
3.2.2. Seramik Atıksuyu .....	37
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>39</b>
4.1. NAOH ÇÖZELTİSİ İLE SİSTEM OPTİMİZASYONU .....	39
4.1.1. 6 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemeler .....	39
4.1.2. 3 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemeler .....	42
4.1.3. 1 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemeler .....	44
4.2. ATIKSULAR İLE ABSORPSİYON ÇALIŞMALARI .....	48
4.2.1. Tekstil Atıksuyu .....	48
4.2.2. Seramik Atıksuyu .....	50
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>54</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>57</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1: Sektörlere göre milyon ton CO <sub>2</sub> eşdeğeri emisyonları (milyon ton) 1990-2014 (TC_SGEE, 2014). .....	5
Şekil 2.2: Yerküre ve atmosfer arasındaki enerji dengesi.....	7
Şekil 2.3: Karbon döngüsü.....	13
Şekil 2.4: Sera gazlarını (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O) oluşturan kaynakların genel sınıflandırması. ....	21
Şekil 2.5: Türkiye'nin 1990 yılından 2006 yılına kadar önemli sera gazlarının salınımında yıllık değişim miktarı (Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişimlerinden kaynaklanan emisyonlar dahil edilmemiştir).....	22
Şekil 2.6: Türkiye'de Sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı.....	23
Şekil 3.1: Deneysel çalışma düzeneğinin şematik gösterilişi (1: Dolgulu kolon, 2: Absorpsiyon çözeltisi, 3: Peristaltik Pompa, 4: AO2020 Sürekli Gaz Ölçüm Cihazı 5: Hava Kompresörü 7,8: Akış Ölçer).....	33
Şekil 3.2: Peristaltik su pompası.....	35
Şekil 4.1: 6 lt/dk hava akış hızında farklı çözelti akışında CO <sub>2</sub> absorpsiyon değişimi.....	40
Şekil 4.2: 6 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO <sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO <sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi.....	41
Şekil 4.3: 3 lt/dk hava akış hızında farklı çözelti akışında CO <sub>2</sub> absorpsiyon değişimi.....	43
Şekil 4.4: 3 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO <sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO <sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi.....	44
Şekil 4.5: 1 lt/dk hava akış hızında farklı çözelti akışında CO <sub>2</sub> absorpsiyon değişimi.....	46
Şekil 4.6: 1 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO <sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO <sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi.....	47
Şekil 4.7: 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm tekstil atıksuyu ile yapılan CO <sub>2</sub> absorpsiyonunun zamanla değişimi.....	48
Şekil 4.8: 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm tekstil atıksuyu ile yapılan CO <sub>2</sub> deneyi absorplanma oranları.....	49

<b>Şekil 4.9:</b> Tekstil Atıksuyu ile yapılan denemelerde absorpsiyon sonrası pH değişimi. ....	49
<b>Şekil 4.10:</b> 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm seramik atıksuyu ile yapılan CO <sub>2</sub> absorpsiyonunun zamanla değişimi.....	50
<b>Şekil 4.11:</b> 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm seramik atıksuyu ile yapılan CO <sub>2</sub> deneyi absorplanma oranları.....	51
<b>Şekil 4.12:</b> Seramik Atıksuyu ile yapılan denemelerde absorpsiyon sonrası pH değişimi. ....	51





## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1:</b> Kıtasal ölçekte iklim değişikliğinin sonuçları (Walker ve King, 2008).....	10
<b>Tablo 2.2:</b> Ek-1 Faaliyet Kategorileri (SGETHY, 2014). .....	24
<b>Tablo 3.1:</b> Seramik Atıksuyu analiz değerleri. ....	38
<b>Tablo 4.1:</b> 6 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO <sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin giriş CO <sub>2</sub> değeri ve çözelti miktarı ile değişimi. ....	41
<b>Tablo 4.2:</b> 3 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO <sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin giriş CO <sub>2</sub> değeri ve çözelti miktarı ile değişimi. ....	44
<b>Tablo 4.3:</b> 1 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO <sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin giriş CO <sub>2</sub> değeri ve çözelti miktarı ile değişimi. ....	47

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>CaCO<sub>2</sub></b>	: Kalsiyum karbonat
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	: Kalsiyum karbonat
<b>CO</b>	: Karbon monooksit
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>CO<sub>3</sub></b>	: Karbonat
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan
<b>H<sub>2</sub>O</b>	: Hidrojenperoksit
<b>HCO<sub>3</sub></b>	: Bikarbonat
<b>K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	: Potasyum karbonat
<b>N</b>	: Azot
<b>N<sub>2</sub></b>	: Azot gazı
<b>N<sub>2</sub>O</b>	: Azotoksit
<b>Na</b>	: Sodyum
<b>NaOH</b>	: Sodyumhidroksit
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	: Sodyum karbonat
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>SO<sub>2</sub></b>	: Kükürtdioksit
<b>O<sub>3</sub></b>	: Ozon
<b>OH<sup>-</sup></b>	: Hidroksit

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AEEA</b>	: 2-((2-aminoetil)amino)etanol
<b>BMİDÇS</b>	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
<b>CFC</b>	: Kloroflorokarbonlar
<b>COP</b>	: Taraflar Konferansı
<b>dk</b>	: Dakika
<b>HFC</b>	: Hidroflorokarbon
<b>IPCC</b>	: The International Panel On Climate Change

<b>İDKK</b>	: İklim Değişikliği Koordinasyon Kurumu
<b>İÜ</b>	: İstanbul Üniversitesi
<b>K-Lys</b>	: Potasyum lisatinat
<b>K-Sar</b>	: Potasyum sarkinat
<b>L/G</b>	: Likit, gaz oranı
<b>lt</b>	: Litre
<b>MDEA</b>	: Metildietanolamin
<b>MEA</b>	: Monoetanolamin
<b>NMVOC</b>	: Metan dışı uçucu organik bileşikler
<b>pH</b>	: Power of Hdyrogen
<b>ppmv</b>	: parts per million by volume
<b>PZ</b>	: Piperazin
<b>PFC</b>	: Perflorokarbon
<b>rpm</b>	: Revelation Per Minute
<b>SF6</b>	: Kükürthekzaflorit
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>TSP</b>	: Trisodyumfosfat
<b>UNEP</b>	: United Nations Environment Programme- Birleşmiş Milletler Çevre Prog.
<b>WMO</b>	: Worl Meteorological Organization- Dünya Meteoroloji Organizasyonu

## ÖZET

### DOLGULU KOLONDA KARBONDİOKSİT (CO<sub>2</sub>) GAZININ ALKALİ ATIKSU İLE TUTULMASI

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşegül Serencem GÖLCÜK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN

1950’li yıllarda başlayan endüstrileşme ve buna bağlı olarak sanayinin geliştirilmesiyle ortaya çıkan sera gazları küresel bazda iklim değişikliğine sebep olmuştur. Doğal karbon döngüsünden ziyade insanların yaşam aktiviteleri küresel ısınmanın oluşumunda ve iklim değişikliğinde önemli derecede etkili olmuştur. Yapılan birçok çalışma göstermiştir ki; nüfus artışı, enerji tüketimi, toprak kullanımı, uluslararası veya yurtiçi ticaret faaliyetleri, ulaşım ve trafik gibi insan aktiviteleri önemli ölçüde sera gazı salınımına sebep olmaktadır. Sera gazları arasında en önemli gaz karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazı olup, araç egzozlarından, fabrika bacalarından, ısınma amaçlı yakılan fosil yakıtlardan, endüstride enerji elde etmek için kullanılan yakıtlardan önemli miktarda atmosfere salınmaktadır.

Bu çalışmada alkali atıksu kullanılarak CO<sub>2</sub> tutulumu çalışılmıştır. Çalışmada O<sub>2</sub>'in en yüksek giderim verimine hangi koşullarda ulaşılabilineceği gözlemlenmiştir. Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde dolgulu kolonda laboratuvar ortamında hazırlanan 0,1 N NaOH çözeltisi kullanılarak karbondioksit tutulması çalışılmış ve sistem optimizasyonu sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan gaz karışımı sentetik olarak gaz tüpleri vasıtası ile sağlanmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu %20, %15, %10, %5 ve %2 içerecek şekilde hazırlanmıştır. Hava gaz akışı hızı regülatörler sayesinde üç farklı akış hızı: 6 lt/dk, 3 lt/dk ve 1 lt/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. CO<sub>2</sub> oranlarının giderimindeki verimin takibinde sıvı akış hızının etkisini gözlemlemek için peristaltik pompa yardımı ile üç farklı sıvı akışı denenmiştir: 200 rpm (0,36 lt/dk), 400 rpm (0,75 lt/dk) ve 600 rpm(1,2 lt/dk). Dolgulu kolonumuzda dolgu malzemesi olarak plastik rasching halkaları kullanılmıştır. Rasching halkaları absorpsiyon kolonlarında gazın çözelti içerisinde daha fazla kalarak çözeltideki maddelerle reaksiyona girme süresini uzatmaktadır. Hazırladığımız çözelti absorpsiyon kolonuna kolonun üst kısmından düş etkisi yapılarak verilmiş, kolonun alt tarafından da hava ve CO<sub>2</sub> gazları karışımı verilerek çözelti ile reaksiyonu sağlanmıştır. Verilen gaz, kolonun üst kısmından A2020 baca gazı ölçüm cihazına verilerek ölçüm takibi yapılmıştır. İkinci bölümde ise NaOH çözeltisi ile yapılan deneysel çalışmada elde edilen en yüksek verim koşullarında tekstil ve iki farklı vitrikiye üretimi yapan işletmenin seramik atıksuyu kullanılarak CO<sub>2</sub> giderimi incelenmiştir. Sonuç olarak tekstil ve seramik endüstrisine ait atıksular kullanılarak baca gazındaki CO<sub>2</sub>'in %30-38 oranında tutulabileceği sonucuna varılmıştır.

Temmuz 2018, 72 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Karbondioksit absorpsiyonu, Dolgulu kolon, Karbondioksit, alkali atıksu

## **SUMMARY**

### **RECOVERY OF CARBONDIOKSIDE GASSES (CO<sub>2</sub>) BY ALKALINE WASTEWATER IN THE PACKED COLUMN**

#### **M.Sc. THESIS**

**Ayşegül Serencem GÖLCÜK**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Environmental Engineering**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN**

The industrialization that began in the 1950s and the resulting greenhouse gases caused by the development of the industry have caused climate change on a global basis. From the natural carbon cycle, people's living activities have been significantly influential in the formation of global warming and climate change. Many studies have shown that; human activities such as population growth, energy consumption, land use, international or domestic trade activities, transportation and traffic cause significant greenhouse gas emissions. Among the greenhouse gases, the most important gas is carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas, which is emitted from vehicle exhausts, factory floors, fossil fuels for heating purposes, to the atmosphere in significant quantities from the fuels used to generate industrial energy.

In this study, CO<sub>2</sub> capture was studied using alkaline wastewater. It has been observed that the conditions under which the highest recovery efficiency of CO<sub>2</sub> can be reached in the study. The study consists of two parts. In the first part, CO<sub>2</sub> adsorption was studied by using 0.1 N NaOH solution prepared in the laboratory environment and the system optimization was achieved. The gas mixture used in the operation is synthetically supplied by means of gas cylinders. The CO<sub>2</sub> concentration is 20%, 15%, 10%, 5% and 2%. Air gas flow rate is regulated by three different flow rates: 6 lt/min, 3 lt/min and 1 lt/min. Three different liquid flows have been tried with the help of peristaltic pump: 200 rpm (0.36 lt/min), 400 rpm (0.75 lt/min) and 600 rpm (1.2 lt/min) in order to observe the effect of liquid flow rate following the yield of CO<sub>2</sub> rates. Plastic rasching rings were used as filler material in the filled spheres. The Rasching rings are longer in the absorption column than the gas in the solution, thereby extending the reaction time of the substances in the solution. The solution we prepared was given to the absorption column by the shower effect from the top of the column and by the mixture of air and CO<sub>2</sub> gases at the bottom of the column. The gas was supplied from the upper part of the column to the A2020 flue gas measuring instrument and the measurement was performed. In the second part, the CO<sub>2</sub> effluent was examined using the ceramic wastewater of the operator who produced textile and two different vitrified products under the highest yield conditions obtained in experimental work with NaOH solution. As a result, the use of wastewater from the textile and ceramics industry has resulted in a reduction of 30-38% of CO<sub>2</sub> in the flue gas.

July 2018, 72 pages.

**Keywords:** Carbon dioxide absorption, Filled column, Carbon dioxide, Alkaline wastewater

## 1. GİRİŞ

Atmosfer, insan kaynaklı endüstriyel emisyonları absorbe edebilecek kadar büyük bir rezervuara sahip gibi gözükse de aslında dünya üzerinde çok ince bir tabaka kalınlığındadır. Dünyayı bir meyveye benzetirsek eğer içinde yaşadığımız atmosfer meyvenin kabuğundan daha incedir (Hardy, 2003). Atmosfer troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosfer olmak üzere dört ana tabakadan oluşur. Dünyanın etrafını saran atmosfer sadece canlılara yaşama olanağı sağlamakla birlikte, güneşten ve uzayın derinliklerinden gelen ışınlarla ve diğer tehlikeli ışınımlara karşı bir kalkan görevi de görür. Canlıların yaşamını sürdürdüğü, hava olaylarının meydana geldiği tabaka atmosferin en alt tabakası olan troposfer tabakasıdır.

Atmosferin %99,9'unu meydana getiren gazlar azot (%78,09), oksijen (%20,95) ve argon (%0,93) gazlarıdır. Sera gazları ise atmosferde eser miktarda bulunan, ancak iklim üzerinde etkisi büyük olan karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), karbon monooksit (CO), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kloroflorokarbonlar (CFCs) ve ozon (O<sub>3</sub>) gibi gazlardır. Su buharı da atmosferde yaygın olarak bulunur (% 0,5-4) ve iklim üzerinde önemli etkisi vardır ( Hardy, 2003).

İklim değişikliği ile ilgili ilk çalışmalar günümüzden yaklaşık 150 yıl öncesine dayanmaktadır. İlk olarak 1859 yılında John Tyndall isimli bir bilim adamı su buharı ve CO<sub>2</sub> gibi bazı gazların konsantrasyonundaki değişimin iklim değişikliğine sebep olacağını söylemiştir. 1896 yılında ise Svante Arrhenius tarafından antropojenik kaynaklı CO<sub>2</sub>'nin sebep olduğu global ısınma miktarı hesaplanmıştır. Dünyanın giderek ısındığı gerçeği ise ilk olarak 1938 yılında Guy Stewart Callender tarafından ortaya konmuştur. Yaklaşık 30 yıl kadar sonra 1970'li yılların başında insan yapımı kloroflorokarbonların strotosferik ozonu tükettiği ve aynı zamanda CFCs, metan ve ozonun sera etkisine sebep olduğu bulunmuştur. 1977 yılında bilim adamları gelecek yüzyılın en önemli sorununun küresel iklim değişikliği ve bunun doğuracağı sonuçlar olacağını belirtmişlerdir. 1987 yılında pek çok ülke tarafından ozonu tüketen gazların kullanımına kısıtlama getiren Montreal Protokolü imzalanmıştır. 1990'lı yıllarda ise atmosferik aerosolun soğutma etkisi olduğu bulunmuştur. Buna dayanarak global sıcaklık artışında sera gazlarının pozitif bir etkiye sahip olması yanında atmosferik aerosollerin negatif bir etki oluşturacağı kabul edilmiştir (Weart, 2008).



Küresel ısınmanın, başta karbon dioksit olmak üzere sera gazı emisyonları nedeniyle yarattığı etki tüm dünyada ciddi bir endişe kaynağıdır. Sera gazı emisyonlarındaki artış nedeniyle gelecekteki iklim değişikliklerinin derecesini sınırlamak için sürekli olarak çaba sarf edilmektedir. Sıcaklıktaki artış en sonunda deniz seviyesindeki yükselmeye neden olur ve eğer kontrol edilmezse, fırtına ve sel gibi doğal afetlerin meydana gelme olasılığını artırır. Uluslararası İklim Değişikliği Paneli (IPCC), 2100 yılına gelindiğinde, atmosferdeki CO<sub>2</sub> içeriğinin 570 ppmv'ye ulaşacağını, deniz seviyesinin 3,8 m artacağını ve küresel ortalama sıcaklığın 2°C'ye yükseleceğini tahmin ediyor. Ayrıca Dünya nüfusundaki sürekli artışla birlikte, enerji talebinin artması da bekleniyordu. Fosil yakıtların (kömür, petrol ve doğal gaz gibi) yakılması, atmosfere büyük miktarda CO<sub>2</sub> emisyonuna neden oluyor. Bu yakıtlar enerji talebini karşılamaya devam etmekte ve küresel ısınmanın önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Bu emisyonları önemli ölçüde azaltmak için, karbon yakalama yöntemleri en önemli çözüm olarak tanımlanmıştır ve bu nedenle dünya çapındaki bilim adamlarının, teknoloji uzmanlarının ve çevrecilerin odak noktası haline gelmiştir (Sreedhar ve diğ., 2017).

### **1.1. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI**

Yapılan bu tez çalışmasında, Türkiye ve Dünya'da çevresel sorunların başında gelen, fabrika bacalarından atılan baca gazları ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı olarak adlandırılan atık gazdaki CO<sub>2</sub> in alkali özellikteki çözeltilerle tutulması incelenmiştir. Bu çalışmada, ülkemizde çeşitli sanayi sektöründe oluşan alkali özellikteki atıksuların sektör içinde tekrar kullanımının sağlanması, sera gazına etki eden baca gazlarında oluşan CO<sub>2</sub> in tutularak çevreye olan etkisinin azaltılması, oluşan yeni ürünlerin hammadde olarak sektöre tekrar kazandırılması ve sektörlerde nötralizasyon için kimyasal kullanımının azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak tez çalışması kapsamında kurulan absorpsiyon düzeneğinde önce NaOH içeren sentetik alkali sular ile sistem optimizasyonu yapılmış daha sonra ise gerçek sektörel alkali atıksular ile CO<sub>2</sub> absorpsiyonu çalışılmıştır

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Küresel ısınma günümüzde en aktüel global hava kirliliği olayıdır. Küresel ısınma, doğal ve insan aktiviteleri sonucu oluşan sera gazlarının ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$  vb.) atmosferin alt katmanlarında ısının tutulmasını sağlayarak atmosferin ısınmasına sebep olmaktadır. En çok bulunması nedeni ile en fazla sera etkisini yaratan gaz karbondioksittir ( $\text{CO}_2$ ). Atmosferdeki ısısının artması beraberinde çevre ve insan hayatını etkileyen iklim değişimi sürecini oluşturmaktadır. İklim değişimi ise buzulların erimesi, okyanuslarda su seviyesinin yükselmesi, ani yağışların artması ve büyük kuraklıkların gözlenmesi gibi çevresel felaketler yaratmaktadır.

Sanayi devriminin başlaması ile birlikte fosil yakıtların kullanılmaya başlanması ve kullanılan sektörlerin yaygınlaşması sebebiyle atmosfere  $\text{CO}_2$  emisyonu artmıştır. Bu nedenle, dünya şu anda iklim değişikliği ile karşı karşıya ve birçok devlet  $\text{CO}_2$  emisyonlarını azaltmak için büyük bir çaba göstermektedir. 189 ülkenin katılmış olduğu UN Çatısı Konvansiyonelinin yayınlamış olduğu IPCC'nin Üçüncü Değerlendirme Raporu'na göre; son 50 yıl boyunca gözlenen ısınmanın büyük oranda insan aktivitelerinden kaynaklandığına dair yeni ve güçlü kanıtlar bulunmaktadır. İnsanoğlunun etkilerinin 21. yüzyıl boyunca atmosfer bileşimini değiştirmeye devam edeceği sanılmaktadır. Fosil yakıtlarının yakılması ya da biyokütlenin yakıt olarak kullanılması: örneğin arazi genişletme sırasında ormanların yakılması, bazı endüstriyel tesislerin baca gazları, kaynak çıkarma işlemleri ile karbondioksit salınmaktadır. 21. yüzyıl boyunca atmosferdeki  $\text{CO}_2$  konsantrasyonlarının değişiminde, fosil yakıtların yakılmasına bağlı olarak oluşan  $\text{CO}_2$  emisyonları büyük miktarda etkili olmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı 2011-2023'de, İklim Değişikliği konusunda ulusal stratejik hedefleri arasında özellikle enerji yoğun sanayi kuruluşlarında; enerji kazanımı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması konularında yapılacak projelere finansal destek sağlayarak teşvik etmek öncelikli hedefler arasında yer almaktadır (TC-İDEP, 2012).

Tüm küresel iklim değışikliği senaryolarında ortalama küresel sıcaklığın ve deniz seviyesinin yükseleceği tahmin edilmektedir. Atmosferdeki net CO<sub>2</sub> emisyonlarını düşürmek için teknolojik seçenekler:

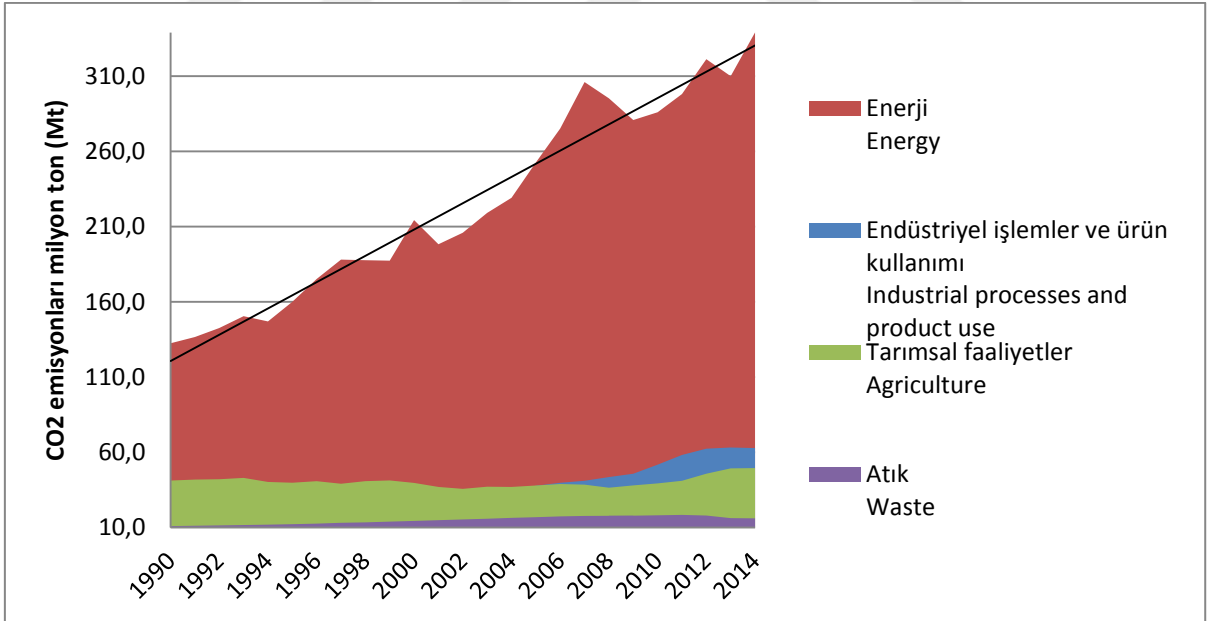
- ❖ Enerji tüketiminin azaltılması, örneğin, enerji dönüşüm ve/veya kullanımının verimliliğinin artırılması (daha az enerji yoğunluklu ekonomik aktivitelerin çoğaltılması dahil).
- ❖ Daha az karbon içerikli yakıtlara geçiş, örneğin kömür yerine doğal gaz kullanımı.
- ❖ Çok az ya da hiç CO<sub>2</sub> salınmayan yenilenebilir enerji kaynakları ya da nükleer enerji kullanımının artırılması;
- ❖ Ormanlarda ve toprakta biyolojik absorpsiyon (soğurma) kapasitesinin artırılması ile CO<sub>2</sub> tecridi (seküstrasyonu);
- ❖ Karbondioksitin kimyasal ya da fiziksel olarak tutum ve depolaması.

Her geçen gün atmosferdeki küresel karbondioksit konsantrasyonu artmaktadır. Eğer karbondioksitin küresel emisyonlarındaki bugünkü artışı devam ederse, dünya için sera gazı konsantrasyonlarının stabilizasyonu bakımından işler pek de yolunda gitmeyecektir. 1970'den 2004'e kadar global CO<sub>2</sub> emisyonları %80 oranında artmıştır. Sera Gazlarının oluşumunda endüstriyel pay %19,5 düzeyindedir. %25,9'la enerji temini en yüksek paya sahipken, taşıma sektörü CO<sub>2</sub> emisyonu için en hızlı gelişen kaynak olmaktadır. Emisyonların gerekli indirgeme ölçüsü, hedeflenen atmosfer konsantrasyonu ile emisyonlarına bağlı olacaktır. Belirlenen stabilizasyon konsantrasyonunun düşük olması ve indirgeme yöntemlerinin yokluğunda beklenen emisyon oranlarının daha yüksek olması, emisyonlarda indirgemenin daha çok miktarlarda ve uygulamanın erkenden gerçekleştirilmesini gerektirir. IPCC tarafından önerilen çoğu model çalışmalarında atmosferdeki karbondioksitin 550 ppm seviyesindeki stabilizasyonu, 2100 yılında bugünkü oranlarının %7-70 emisyon indirgemesi gerektirir. Daha düşük konsantrasyonlar için daha fazla indirgeme gereklidir (IPCC, 2007).

Ülkemiz 2004 yılında BM İklim değışikliği çerçeve sözleşmesine taraf olarak iklim değışikliği konusunda çalışmalarını başlatmıştır. Bu sözleşme gereğinde her yıl düzenli olarak Nisan ayının 15'ine kadar Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Rehberlerine göre hesaplamaları yaparak Seragazı Emisyon envanterini oluşturmalı ve BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekreteryasına bildirmekle yükümlüdür.

Bu sözleşme kapsamında Ek-1 ülkeleri arasında yer alan Ülkemiz her yıl bu envanteri, İklim Değişikliği ve Hava Yönetimi Koordinasyon Kurulu bünyesinde oluşturulan “Seragazı Emisyon Envanteri Çalışma Grubu” tarafından TÜİK koordinasyonunda paydaş kurumlarla birlikte hazırlanmaktadır. Ulusal seragazı emisyon envanterinde, 1990 yılından itibaren doğrudan ve öncül sera gazlarının emisyonlarını toplamaktadır. Doğrudan seragazıları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC), kükürthekzaflorit (SF<sub>6</sub>) ve öncül seragazıları azotoksit (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonları kapsamaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2014 yılında yayınladığı Sera gazı emisyon envanteri, sektörlere göre CO<sub>2</sub> emisyonunu enerji, endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, tarımsal faaliyetler ve atık sektöründeki emisyonlar olarak yayınlamıştır. Şekil 2.1'de gösterilen grafikte 1990-2014 yılları arasında sektörlerin emisyon değişimi gösterilmektedir.



**Şekil 2.1:** Sektörlere göre milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri emisyonları (milyon ton) 1990-2014 (TC\_SGEE, 2014).

### 2.1.1. İklim Sistemi

İklim sistemi, içinde yaşadığımız dünyada atmosfer, karasal alanlar, yüzeysel su kaynakları, kar, buzullar gibi bileşenlerin birbiri ile etkileşmesi sonucu meydana gelen bir sistem olarak tanımlanır. Başka bir ifadeyle 'iklim sistemi' atmosfer, hidrosfer ve biyosferin tamamı ve bunların karşılıklı etkileşmeleridir. İklim sisteminin bileşenleri iklimlerin farklı olmasını sağlar. İklim genellikle ortalama hava şartları olarak tanımlanır.

Bir bölgenin iklimi sıcaklık, yağış, rüzgâr gibi faktörlerin belli bir zaman dilimi içindeki (genellikle 30 yıl) ortalamaları ve eğilimleri dikkate alınarak belirlenir. İklim zaman içinde kendi içindeki dinamizm ve dış etkenler sebebiyle değişime uğrayabilir. Volkanik patlamalar, güneş radyasyonundaki değişimler ve atmosferin yapısında insan kaynaklı kirleticilerin meydana getirdiği değişiklikler iklimin değişmesine neden olan dış etkenlerdir.

### 2.1.2. Sera Etkisi ve İklim Değişikliği

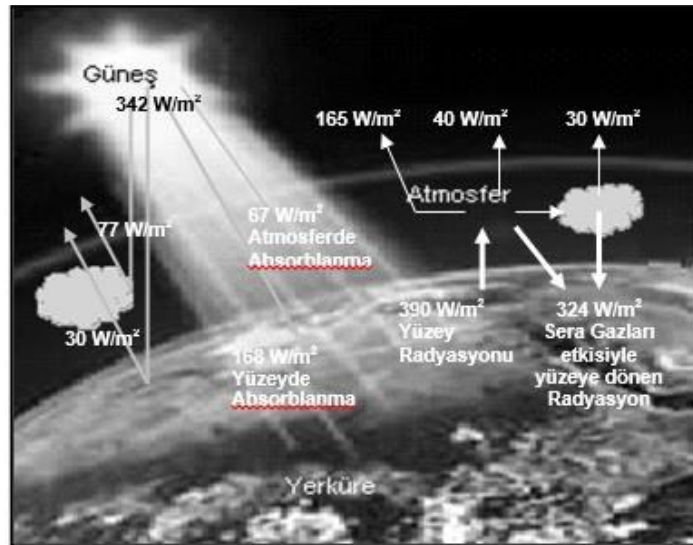
Dünyanın iklimi enerji dengesiyle sınırlıdır. Atmosfer, okyanus ve kara yüzeyi tarafından absorbe edilen görünür güneş radyasyonu dünyayı ısıtır. Atmosfer, okyanus ve kara yüzeyi tarafından yayılan kızılötesi radyasyon, dünyayı soğutur. Atmosferin bileşimi, kızılötesi radyasyonun karadan ve okyanustan uzaya geçişini değiştirerek veya emilen veya uzaya geri yansıyan güneş radyasyonu miktarını değiştirerek iklimi etkileyebilir. Sera gazları kızılötesi radyasyonunu emer ve yayar. Bunları yapabilmeleri moleküler yapılarına bağlı olarak değişir ve atmosferdeki ömürleri kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir. Dolayısıyla, farklı sera gazlarının insan kaynaklı emisyonları, dünyanın iklimi üzerinde çok farklı etkilere sahip olabilir. Artan sera gazı konsantrasyonu nedeniyle iklim değişikliğinin insan refahı ve doğal dünya için önemli etkileri vardır (Török ve diğ., 2018).

Güneşten dünyaya gelen radyasyon spektrumunda görünür bölgede yer alan çok kısa dalga boylarındadır. Solar Radyasyon iklim sistemini etkileyen bir faktördür. Dünyanın radyasyon (ışınım) dengesinin değişimi üç şekilde olabilmektedir. Bunlar; (1)Dünyanın yörüngesinde veya güneşte meydana gelecek değişiklikler sonucunda dünyaya ulaşan solar radyasyon miktarında değişim olması, (2) Güneş radyasyonunun yansıma oranında değişim olması (bu değişim *Albedo* olarak tanımlanır; bulut örtüsü, atmosferik partiküller ve bitki örtüsü gibi

faktörlerden etkilenir), (3) Dünyadan uzaya geri yansıyan uzun dalga boylu radyasyon miktarında değişim olması (sera gazları konsantrasyonundaki farklılık nedeniyle olan değişim gibi). Bu değişimler iklim üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak etki yaratmaktadır.

Şekil 2.2’de yerküre ve atmosfer arasındaki enerji dengesi gösterilmektedir. Gün boyu dünya atmosferinin en üst noktasına ulaşan enerji miktarı yaklaşık  $1370 \text{ Watt/m}^2$ ’dir ve bu miktarın ortalama dörtte biri ( $342 \text{ Watt/m}^2$ ) dünyaya ulaşmaktadır. Atmosfere ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık üçte biri uzaya geri yansıtılır. Bu yansımanın yaklaşık  $2/3$ ’ü ( $77 \text{ Watt/m}^2$ ) bulutlar ve küçük partiküller (aerosoller) tarafından gerçekleştirilir. Geri kalan  $1/3$ ’lük ( $30 \text{ Watt/m}^2$ ) kısım dünya yüzeyindeki beyaz (kar, buz, çöl) alanlardan yansıtılır. Atmosferdeki aerosol miktarındaki büyük değişimler bu yansıma oranında değişimler oluşturur. Örneğin büyük volkanik patlamalar sonucu atmosfere fazla miktarda aerosol verilir, fakat bu aerosoller yağışlarla atmosferdeki yıkanarak giderilir.

Yağmurla temizleme ile oluşan aerosol azalması kısa sürelerde etkisini gösterirken, volkanik patlamalar sonucu atmosfere karışan aerosoller bulutların üst kısımlarına kadar ulaşabilirler ve iklim üzerindeki etkileri birkaç yıl sürebilir. Büyük volkanik patlamalar ortalama global yüzey sıcaklığını yılda  $0,5^\circ\text{C}$  kadar düşmesine sebep olabilir (IPCC, 2007). Bu doğal yollarla oluşan aerosoller yanında insan kaynaklı aerosollerin de atmosfere karışması ile güneş ışığının yansıyan miktarında artış oluşacaktır.



Şekil 2.2: Yerküre ve atmosfer arasındaki enerji dengesi.

Atmosfere ulaşan güneş enerjisinin geri kalan üçte ikilik kısmı ise yeryüzü ve atmosfer tarafından absorbe edilir. Enerji dengesinin kurulabilmesi için Dünya absorbe edilen enerji kadar aynı miktarda enerjiyi uzaya geri yansıtmalıdır. Ancak Dünya güneşten daha soğuk olduğundan yansıttığı enerjiyi daha uzun dalga boylarında, insanlar tarafından görülemeyen kızılötesi ışınlar olarak yansıtır. Yeryüzü ve atmosfer tarafından absorbe edilen güneş enerjisine eşit miktarda enerji çıkışı olması durumunda dünya yüzeyinin sıcaklığının  $-19^{\circ}\text{C}$  olması gerekir. Ancak karalar ve okyanuslar tarafından yansıtılan bu termal radyasyonun bir kısmı atmosfer ve bulutlar tarafından absorbe edilerek tekrar dünyaya gönderilir. Dünya yüzeyinin ısınmasına neden olan bu olay neticesinde dünya yüzey sıcaklığı yaklaşık  $14^{\circ}\text{C}$  değerine ulaşmaktadır (IPCC, 2007).

Dünya yüzeyindeki bu sıcaklık artışının, yani sera etkisinin nedeni sera gazlarıdır. Sera Gazları, yüzeyden atmosfere yansıyan uzun dalga boylu ışınların atmosfere ulaşmasını engelleyen örtü görevindedir. Bu olaya sera etkisi denmesinin sebebi tarım işlerinde kullanılan, camdan çatısı ve duvarları olan seralara benzetilmesidir. Bu seraların içerisinde hava akımı azalır ve sıcaklık yükselir. Isınıp yükselen sıcak hava ise içeride tutulur. Atmosferin sera etkisi ise bazı fiziksel prosesler bakımından benzerlik gösterse de daha farklıdır.

Atmosferde bulunan karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), su buharı ( $\text{H}_2\text{O}$ ), ozon ( $\text{O}_3$ ) ve sıvı bulut damlacıkları, yeryüzünden yayılan ışınımı yutarak ısınırlar. Bu gazların ısınan molekülleri havanın diğer molekülleri ile çarpışarak atmosferin diğer kısımlarının da ısınmasına neden olur. Ayrıca bu gazlar ısındığında kendileri ışınım yaymaya başlar. Bu ışınımın bir kısmı uzaya kaçar, bir kısmı ise yeryüzüne geri döner. Yeryüzünün güneş ışınımı yanında kazandığı ek ışınım atmosferin sera etkisini oluşturur (Kadıoğlu, 2001).

### **2.1.3. İklim Değişikliğinin Sonuçları**

Yakın bir zamana kadar küresel iklim değişikliğinin önemi ciddiye alınmasa da günümüzde çoğu insan eğer bir şeyler yapılmazsa yeryüzünde olayların değişeceği ve daha kötüye gideceğinin farkındadır. Yapılan araştırmalara göre 20-30 yıl sonra dünyanın çok daha önemli

ve ciddi tehlikelerle karşı karşıya kalacağını göstermektedir. Örneğin: Okyanus ve deniz gibi büyük su kütlelerinin ısınması zaman almaktadır. Yaz mevsiminde bu ısı değişimi daha iyi anlaşılmaktadır. Deniz yaz başında daha soğukken yazın ortasında ve sonunda daha sıcaktır. Aynı mantık global ısınma için de geçerlidir.

Karbon kullanımının miktarındaki değişikliğin sonuçlarını 20-30 yıl sonra fark edebileceğiz. Bazı detaylar eksik olsa da, bilim adamları gelecek 20-30 yıl içerisinde küresel ısınmaya bağlı olarak neler olabileceğini tahmin etmişlerdir. Fırtınalar, su kıtlığı, sıcak hava dalgaları, muson yağmurları, mercan kayalıklarının yok olması, yiyecek kıtlığı, ormanların azalması, deniz seviyesinin yükselmesi ve kalkınma gibi sorunların ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Dünya'da küresel ısınmaya bağlı olarak gelecek 30 yıl içinde kıtasal ölçekte meydana gelecek değişiklikler Tablo 2.1'de verilmiştir.



**Tablo 2.1:** Kıtasal ölçekte iklim değişikliğinin sonuçları (Walker ve King, 2008).

	<b>Su Kıtlığı</b>	<b>Gıda Üretimi</b>	<b>Hastalıklar</b>	<b>Su Baskınları</b>	<b>Sıcak Hava Dalgaları Ve Yangın</b>	<b>Mercan Kayalıkları Ve Buzullar</b>
<b>Afrika</b>	2020 yılına kadar 75-250 milyon insan risk altında	2020 yılına kadar mahsul veriminde %50'ye varan azalma	Afrika'nın doğu dağlık bölgelerinde sıtma oranında artış	Kıyı şehirlerin de yüksek risk	Kuraklık ve hava sıcaklığının artması ile orman yangınlarında artış	Kızıl deniz ve Doğu Afrika'da mercan kayalıklarının yok olması bekleniyor
<b>Asya</b>	2020 yılına kadar 120 milyon-1.2 milyar insan risk altında	2020 yılına kadar ürün rekoltesinde %2.5-10 oranında azalma, 49 milyon insan açlık riski ile karşı karşıya.	Su taşkını ve sıcaklık nedeniyle kolera ve tifo gibi bulaşıcı hastalıklarda artış	2.5 milyon insan 2050'ye kadar su baskını riski altında. Daha fazla insan kasırga, deniz seviyesinin yükselmesi gibi sorunlarla uğraşacak	Güney ve doğu Asya'da güçlü sıcak dalgaları nedeniyle ölüm oranlarında artış, aşırı soğuklar nedeniyle meydana gelen ölümlerde azalma görülecek	2035'e kadar Himalaya buzullarının tamamına yakınının yok olması, mercan kayalıklarında %30 oranında azalma bekleniyor
<b>Avustralya, Yeni Zelanda</b>	2030'a kadar su kaynaklarında %20 azalma, güney-doğu kısmında daha az kar örtüsü olacak	Mercanların etrafındaki tropik adalarda balık sayısında azalma, Avustralya'nın doğu ve güneyinde, Yeni Zelanda'nın doğusunda ürünlerde azalma bekleniyor	2020'ye kadar 0.1-0.3 milyon daha fazla insanın bulaşıcı hummaya maruz kalması	Kıyılarda ve küçük adalarda deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle su altında kalma riski	Avustralya'nın güney ve doğu bölgelerinde yangın sıklığının %4-25 oranında artması ve sıcaklık nedeniyle meydana gelen ölümlerde 2 kat artış	2030 yılına kadar mercanların %58-81'inin yok olması bekleniyor
<b>Avrupa</b>	Güney kısımlarında 2020'ye kadar su kaynaklarında %0-23 oranında azalma, özellikle Akdeniz'e yakın olan kısımlarında yangın ve kuraklıkta hissedilir bir artış	Kuzey bölgelerinde ürün rekoltesinde artış, Balkanların güney batısı ve Avrupa'nın güneyinde ürün rekoltesinde azalma bekleniyor	Değişiklik beklenmiyor	Kuzey Atlantik'te fırtına sayısında artış, deniz seviyesinde yükselme, kıyı bölgelerini ve kıtanın iç bölgelerini etkileyen şiddetli fırtına ve yağmurlar, su baskınlarında artış	İlk defa 2003 yılında görülen ve 30000 kişinin ölümü-ne neden olan sıcak dalgalarının 2030 yılına kadar daha sıklıkla görülmesi. Soğuktan kaynaklanan ölümlerde azalma	Kar örtüsünde azalma, yüksek dağlardaki buzulların önemli miktarının yok olması
<b>Orta ve Güney Amerika</b>	2020'ye kadar 7 ila 77 milyon insan risk altında	Pirinç rekoltesinde düşüş, 5 milyon insan 2020'ye kadar açlık riskiyle karşı karşıya	Sıtma riskinin sınırlarının güneye doğru genişlemesi bekleniyor	Arjantin, El Salvador kıyıları gibi deniz seviyesine yakın bölgelerde su baskını riski	Amazon yağmur ormanlarının da bulunduğu Güney Amerika'da yangın sayısında artış	Tropikal buzulların tamamına yakınının erimesi, Karayip denizindeki mercanların yok olması
<b>Kuzey Amerika ve Kutup bölgeleri</b>	Su temini yapılan kaynaklarda azalma bekleniyor	Özellikle tuzum üretiminde kalitenin ve ürün rekoltesinin düşmesi	Kenelerden bulaşan Lyme hastalığının sınırlarının 200 km kuzeye doğru ilerlemesi	Özellikle Meksika körfezinde bulunan kıyasal bölgelerde su baskını ve tropikal fırtınalarda artış	Kuraklıktaki artış nedeniyle yangın riskinde artış	2030 yılına kadar Alaska ve Kuzey kutbu denizindeki buzulların önemli bir bölümünün erimesi

Ülkemizin jeopolitik konumundan dolayı dört mevsim yaşanması ve buna bağlı olarak iklim çeşitliliğinin görülmesi, iklim değişikliğinden etkilenme ihtimalinin yüksek olmasına neden olmaktadır. Ayrıca jeopolitik konumundan dolayı üç tarafının denizlerle çevrili olması, engebeli bir yerşekline sahip olması ve orografik özellikleri nedeniyle, Türkiye'nin farklı bölgeleri iklim değişikliğinden farklı biçimde ve değişik boyutlarda etkilenecektir. Örneğin, sıcaklık artışından daha çok çölleşme tehdidi altında bulunan Güney Doğu ve İç Anadolu gibi, kurak ve yarı kurak bölgelerle, yeterli suya sahip olmayan yarı nemli Ege ve Akdeniz bölgeleri daha fazla etkilenmiş olacaktır (Öztürk, 2002).

## 2.2. SERA GAZLARI

Günümüzden 200 yıl kadar önce, dünyada endüstriyel çağın başladığı dönemden itibaren atmosferde sera gazlarının miktarı artmaya başlamıştır. Bilim adamları tarafından bu artışın nedeninin insan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. İnsan faaliyetleri iklim değişikliğine sebep olan çeşitli sera gazlarının atmosfere salınmasına neden olur. Bu gazların iklim değişikliğine etkilerinin belirlenebilmesi için atmosferdeki toplam miktarları, doğal veya antropojenik kaynaklı olup olmadıkları, doğal yutaklarının ne kadar olduğu, atmosferdeki artış oranları, atmosferik ömürleri, tek başlarına veya kümülatif olarak ısıyı tutma kapasiteleri gibi özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Sera etkisine neden olan bileşikler aktif gazlardır. CO<sub>2</sub>, su buharı ve bulutların sera etkisine toplam katkısı % 90 civarındayken kalan %10'luk etki diğer gazlardan meydana gelmektedir (Kadıoğlu, 2001).

İnsan aktiviteleri sonucu atmosfere salınan önemli sera gazları;

- Karbondioksit(CO<sub>2</sub>),
- Metan(CH<sub>4</sub>),
- Nitrozoksit(N<sub>2</sub>O),
- Ozon(O<sub>3</sub>) ve
- halokarbonlar olarak sıralanmaktadır.

### 2.2.1. Karbondioksit

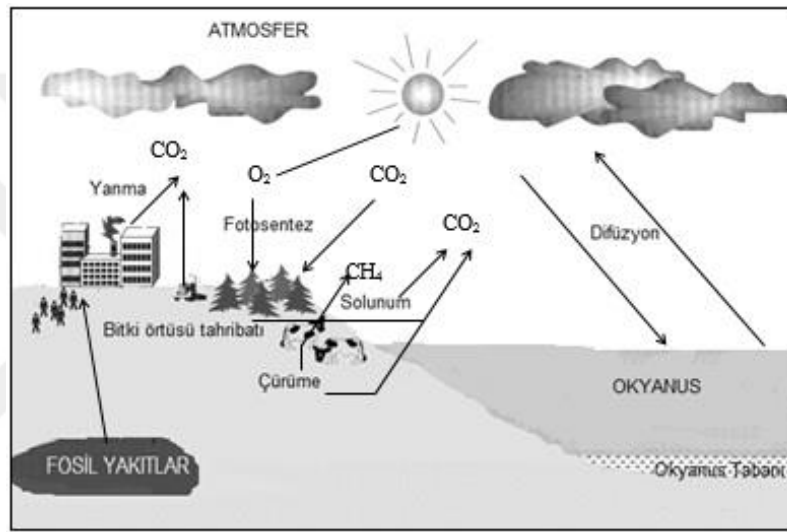
Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), atmosferin doğal bir bileşeni olup, atmosferde en çok bulunan (su buharı hariç) ve biyolojik olarak reaktif olan bir sera gazıdır. Atmosfere verilen CO<sub>2</sub>'in çoğu fosil yakıtların yanmasından kaynaklanmaktadır. Doğal kaynakları ise hayvanların solunumu, ölü organik maddelerin mikrobiyal bozunumu, toprakta bulunan karbon ve okyanuslardır. Endüstriyel devrimin başladığı 1800'li yıllardan itibaren fosil yakıtların kullanımının artmasıyla atmosfere daha fazla CO<sub>2</sub> verilmektedir.

Karbon döngüsü iklim, çeşitli karbon kaynakları ve karbon yutakları arasındaki etkileşimlere bağlı olduğundan oldukça dinamik bir döngüdür. Bu etkileşimler bitki örtüsünün arttırılması ile CO<sub>2</sub> tüketiminin artması gibi negatif yönde veya denizlerin ısınması sonucu fitoplanktonların üretkenliğinin azalarak CO<sub>2</sub> tüketiminin azalması gibi pozitif yönde olabilmektedir. Atmosfer ve yeryüzü arasındaki Karbon döngüsü Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

CO<sub>2</sub> atmosferden deniz, bitki örtüsü ve toprak tarafından bir dizi prosesler yardımıyla giderilir. Atmosferik CO<sub>2</sub>, bitkilerde fotosentez ile organik karbona dönüştürülür. Aynı zamanda biyolojik oksidasyon (solunum) ile tekrar CO<sub>2</sub> gazına dönüştürülerek atmosfere verilir. En önemli CO<sub>2</sub> yutağı derin yüzeysel sulardır, fakat buralarda depolanmış CO<sub>2</sub> belli bir süre sonra yeniden döngüye sokularak atmosfere geri verilir. Atmosfer ve deniz arasında geri beslemeli bir mekanizma vardır, CO<sub>2</sub> rüzgar hızı, sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak deniz yüzeyinden atmosfere, aynı zamanda atmosferden deniz suyuna geçer ve denizdeki bitkiler tarafından tüketilir. Ayrıca topraktan da atmosfere CO<sub>2</sub> verilir. Volkanik faaliyetler aktifleştğinde ise önemli miktarda CO<sub>2</sub> atmosfere bırakılır. Sanayi devrimi öncesinde bu doğal çevrim sonucunda CO<sub>2</sub>'in atmosferik konsantrasyonu  $280 \pm 10$  ppm civarındaydı. Ancak son 150 yıldır insan aktivitelerinin artması sonucu atmosferik CO<sub>2</sub>'in konsantrasyonunda önemli miktarda artış tespit edilmiştir.

Milyonlarca yıldır yer kabuğunda fosilleşerek depolanan organik karbon (kömür, petrol ve doğalgaz) yeraltından çıkarılarak yakıt olarak kullanılmıştır. Global olarak insanlar tarafından atmosfere verilen CO<sub>2</sub>'nin %80'den fazlası ulaşım ve endüstriyel işlemler sonucundan

kaynaklanmaktadır. Geriye kalan %20'lik kısmın kaynağı ise ormansızlaşma ve biyokütle yakımıdır. Yaklaşık 1 dönümlük bir orman 25 ton karbon depolayabilmektedir. Ancak dünyadaki ormanların yarısı 20.yy'ın ikinci yarısında yok edilmiştir. Ayrıca hammadde olarak kullanılan karbonatlı bileşikler nedeniyle çimento üretimi sırasında da atmosfere CO<sub>2</sub> verilir. İnsan aktiviteleri sonucu (fosil yakıtlar ve çimento üretimi) her yıl atmosfere verilen CO<sub>2</sub> miktarı 6,5 milyar ton veya gigaton(Gt)'dur. CO<sub>2</sub> yutaklarının (okyanus/atmosfer:1,7±0,5; kara/atmosfer:1,4±0,7) giderebildiği miktar ise 3,3 Gt/yıl'dır (IPCC, 2001). Dolayısıyla atmosferik CO<sub>2</sub> konsantrasyonu gittikçe artmaktadır.



Şekil 2.3: Karbon döngüsü.

20.yy'ın sonunda CO<sub>2</sub> endüstriyel devrim öncesi seviyesine göre %31 oranında artarak 367 ppm'e ulaşmıştır ve her sene %0.5 oranında artmaya devam etmektedir. Eğer bugünkü CO<sub>2</sub> emisyonları azaltılırsa veya 1994 yılındaki seviyesine düşürülerek sabit tutulursa bu yüzyılın sonunda atmosferik CO<sub>2</sub> 500 ppm olacaktır. CO<sub>2</sub>'nin atmosferdeki yarı ömrünün 50 ile 200 yıl arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle CO<sub>2</sub> emisyonları tamamen durdurulsa bile endüstriyel devrim öncesi değerine 100 ila 300 sene sonra inecektir (Metcalf, 2005). Fosil yakıtlar yenilenebilir bir enerji kaynağı değildir ve dünyada 40 ila 200 yıl yetecek kadar rezerv ile sınırlıdır. Ancak yaygın olarak bulunması ve ucuz olması nedeni ile günümüzde tercih edilmektedir. Gelecek 40 ila 200 yıl yetecek kadar fosil yakıt rezervi mevcuttur. Rezervleri bitene kadar fosil yakıtların kullanımına devam edilirse gelecek yüzyılda atmosferik CO<sub>2</sub>'nin bugünkü seviyesinin en az 4 katına çıkacağı tahmin edilmektedir.

### 2.2.2. Metan

Metan gazı organik maddenin oksijen yokluğunda mikrobiyal ayrışması sonucu oluşur. Bu gaz hem doğal olarak hem de insan aktiviteleri sonucunda meydana gelir. Atmosferdeki konsantrasyonu 1,7 ppm civarındadır (Metcalf, 2005). Sulak alanlar, bataklıklar, bazı kıyı sedimentleri, okyanuslar, bitkiler metanın en önemli kaynağıdır ve dünyadaki toplam metan üretiminin %20'si bu alanlarda meydana gelir. Antropojenik kaynaklar katı atık depolama, fosil yakıtlar ve tarımsal faaliyetler olarak sayılabilir. Tarım faaliyetleri içinde özellikle hayvan (sığır ve koyun gibi geviş getiren hayvanlar) yetiştiriciliği, pirinç ekimi ve işlenmesi en önemli metan kaynağıdır.

1750 yılından beri atmosferdeki CH<sub>4</sub> konsantrasyonu %150 oranında yükselmiştir. 1960 ve 1999 yılları arasındaki 40 yıllık periyotta ise CH<sub>4</sub> konsantrasyonları 6 kat daha fazla artış göstermiş ve her yıl yaklaşık %1,1 oranında artmaya devam etmektedir (IPCC, 2007). Metan üretiminin zamana ve mekana göre değişkenlik göstermesinden dolayı biyosferik kaynaklı emisyonların miktarının belirlenmesi oldukça zordur.

En önemli metan yutağı hidroksil (OH) radikallerinin reaksiyonudur. CH<sub>4</sub>, atmosferde hidroksil radikalleriyle reaksiyona girerek karbon monoksit (CO) oluşturur. Bunun yanında karalar ve stratosfer küçük de olsa yutak alanlardır. Metanın atmosferdeki yarı ömrünün yaklaşık 9-12 yıl olduğu tahmin edilmektedir. Dünyada toplam CH<sub>4</sub> emisyonu 598 Tg/yıl olarak hesaplanmıştır. Bunun yaklaşık %60'ı antropojenik kaynaklıdır. CH<sub>4</sub> yutakları; (1)OH radikalleri ile reaksiyonu: 506 Tg/yıl, (2) Stratosfer: 40 Tg/yıl, (3) Karalar: 30 Tg/yıl olarak verilmektedir (IPCC, 2001).

### 2.2.3. Nitroz Oksit

Nitroz oksit sera gazlarından biridir, ancak emisyonları diğer sera gazlarına göre daha azdır. N<sub>2</sub>O'nun doğal kaynakları okyanuslar, atmosferde amonyağın kimyasal oksidasyonu ve topraktır. Tropikal topraklar tarafından önemli miktarda N<sub>2</sub>O atmosfere verilir. Antropojenik kaynaklar ise çiftçilik faaliyetleri (gübre kullanımı, hayvancılık), fosil yakıtların kullanımı ve bazı endüstriyel faaliyetlerdir. Özellikle azotlu gübrelerin kullanımı ve kömür yakılması

emiyon miktarlarını arttırmaktadır. Aynı zamanda nitrik asit ve naylon üretimi yapan endüstriyel prosesler de  $N_2O$  yayar. Atmosferik yarı ömrü oldukça uzundur (yaklaşık 120 yıl). Atmosferik konsantrasyonu endüstrileşme öncesi döneme göre %16 yükselmiştir ve her yıl yaklaşık %0,25 oranında artmaya devam etmektedir. Günümüzde troposferdeki  $N_2O$  konsantrasyonu 312 ppb civarındadır. Dünyada endüstrileşme çağına girmeden önceki değeri ise 275 ppb olarak verilmektedir. (Metcalf, 2005). Başlıca giderim mekanizması stratosferde gerçekleşen fotoliz olayıdır. Dünyada toplam  $N_2O$  emisyonu 14,7 Tg/yıl olarak hesaplanmıştır. Bunun yaklaşık 6,9 Tg/yıl kadarı antropojenik kaynaklıdır. Atmosferde giderilen  $N_2O$  12,6 Tg /yıl, atmosferde oluşan  $N_2O$  ise 3,8 Tg/yıl'dır (IPCC, 2007).

#### 2.2.4. Diğer Sera Gazları

Troposferik ozon atmosferik ozonun %10'luk kısmını oluşturur ve atmosferin alt kısımlarındaki konsantrasyonları zamana ve mekâna göre değişkenlik gösterir. Doğal ve antropojenik kaynaklardan atmosfere verilen  $CH_4$ , karbon monoksit, uçucu organik bileşikler ve azot oksitler gibi kimyasalların fotokimyasal reaksiyonları sonucu oluşur. Troposferik ozonun atmosferik yarı ömrü oldukça kısadır (birkaç gün ile birkaç hafta arasında). Bu nedenle atmosferdeki dağılımı kimyasallar, su buharı ve güneş ışığı miktarına bağlı olarak oldukça değişkendir. Troposferik ozonun yerleşim bölgelerinde konsantrasyonu daha yüksektir ve en önemli kaynağı motorlu taşıt emisyonlarıdır. Yerleşim bölgelerinde atmosferin kararlı, havanın açık olduğu günlerde taşıt egzozlarından havaya verilen hidrokarbonlar ve azot oksitlerin fotokimyasal reaksiyonu sonucu ozon bakımından zengin smog oluşur. Troposferik ozon konsantrasyonunun 20 yy.'da %20-50 arasında arttığı tahmin edilmektedir ve her yıl yaklaşık %1 oranında artmaktadır. Atmosferde OH radikalleriyle reaksiyonu  $O_3$ 'ün tüketilmesini sağlar. Global olarak ozonun toplam ısınmaya katkısı tam olarak bilinmese de yaklaşık olarak %15'lik bir katkısı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca troposferde bulunan ozonun insanlar ve bitkiler üzerinde toksik etkileri vardır. Yerleşim yerlerinin etkisiyle meydana gelen troposferik ozonla ilgili sınırlı sayıda ölçümler mevcuttur. Fransa'da 1874 -1990 yılları arasında yapılan ölçümlere göre  $O_3$  konsantrasyonları yılda %1,6 oranında artmıştır. 19.yy.'da ozon değeri 10 ppb iken günümüzde 48,5 ppb seviyesindedir. 1970 yılından sonra artış oranları güney kutbunda düşerken Avrupa'da yükselmiştir (IPCC, 2007).

Troposferik ozon (kötü ozon da denilmektedir), dünyayı ultraviyole ışıklardan koruyan stratosferik ozon (ozon tabakası veya iyi ozon) ile karıştırılmamalıdır. Atmosferdeki ozonun %90'ı stratosferik ozondur ve ultraviyole (UV-B, 280-320 nm dalga boyundaki) ışınlarını engelleyen bir kalkan görevi görür. Stratosferik ozon yer yüzeyinden yaklaşık 8 ile 18 km yukarıda fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur ve katalitik reaksiyonlar ile tüketilir. Yaklaşık son 50 yıldır, ozonu tüketen maddeler (soğutucular, yangın söndürücüler, çeşitli solventler) insanlar tarafından üretilmektedir. Bu maddeler troposferde uzun yıllar bozulmadan kalır ve stratosfere doğru taşınırlar. Stratosfere ulaştıklarında ultraviyole ışınlarının etkisiyle bozularak stratosferik ozonu tüketen klor ve brom gibi moleküller atmosfere salınır. Bu moleküller katalitik reaksiyonlar sırasında yok olmadığı gibi, düşük konsantrasyonların da bile önemli miktarda ozonu tüketebilirler. Bir klor veya brom molekülü yüz bin ozon molekülünü tüketebilmektedir. Bu nedenle iyi ozon olarak tanımlanan stratosferik ozonun özellikle kutuplara yakın bölgelerde azaldığı ve ozon delikleri olarak bilinen bölgeler oluşmuştur. Ayrıca yeni üretilen süpersonik uçaklar doğrudan stratosfere ozonu tüketen NO<sub>x</sub> yayarlar. Stratosferik ozonun azalması yüksek oranda UV-B ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına sebep olmaktadır. Yüksek UV-B deri kanserleri, katarakt gibi göz rahatsızlıkları ve bağışıklık sisteminde hasarlara, ürünlerin rekoltesinin düşmesine neden olur. Bir diğer önemli etkisi ise okyanuslarda yaşayan bir bitki türü olan fitoplanktonların azalmasına sebep olmasıdır. Fitoplanktonlar deniz besin zincirinde önemli bir yere sahiptir ve solunumları için atmosferden CO<sub>2</sub> alıp atmosfere O<sub>2</sub> verirler. Fitoplankton populasyonundaki azalma atmosferdeki CO<sub>2</sub> seviyesinin artmasına neden olacak, dolayısıyla atmosferin ısınmasına katkıda bulunacaktır.

### **2.3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ULUSLARARASI YÖNETİMİ**

Küresel ısınma ve iklim değişikliği alanlarında yapılan çalışmaların başlangıcı 1970'li yılların sonlarına rastlamaktadır. Bu tarihten günümüze kadar geçen süre zarfında birçok somut adımlar atılmış, çeşitli eylem stratejileri benimsenmiş ve konuya ilişkin mekanizmalar oluşturulmuştur. 1988 yılında Dünya Meteoroloji Organizasyonu (World Meteorological Organization –WMO) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (United Nations Environment Programme-UNEP) birlikte desteği ile Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (The Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) yapılması kararlaştırılmıştır.

IPCC talimatları, iklim değişikliğinin büyüklüğünü, etkisini ve muhtemel tepkilerini uluslararası bir koordinasyonla değerlendirmek ve sera gazı salınımlarının belirlenmesi için oluşturulmuştur. IPCC, uzmanlar tarafından yapılan çalışmalar ile bilimsel ve teknik olarak iklim değişiminin durumu hakkında gerekli bilgiyi sağlayan ve yayınlayan öncü bir oluşumdur. Ülkeler ulusal sera gazı salınımlarını IPCC rehberini kullanarak hesaplamaktadır.

İnsan kaynaklı sera gazlarını, küresel ısınma ve buna bağlı olarak da iklim değişikliği üzerindeki etkilerini en aza indirebilmek amacıyla uluslararası alanda politikaları belirlemek için oluşturulan ilk çaba “Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS-United Nations of the Framework Convention on Climate Change-UNFCCC)’dir. Haziran 1992’de Rio’da düzenlenmiş Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda imzaya açılan ve 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe giren BMİDÇS’nin amacı; atmosferdeki sera gazı birikimlerini, insanın iklim sistemi üzerindeki tehlikeli etkilerini önleyecek bir düzeyde durdurmaktır. Söz konusu sözleşme genel itibariyle, küresel iklim sisteminin korunması ve sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik ilkeleri, eylem stratejilerini ve yükümlülükleri düzenleyen bir sözleşme niteliği taşımaktadır. BMİDÇS’de ‘ortak farklılaştırılmış sorumluluk’ ilkesi benimsenerek, tüm tarafların ulusal ve bölgesel farklılıkları da göz önünde bulundurularak, insan kaynaklı sera gazlarının azaltılması konusunda ortak yükümlülükler getirilmiştir. BMİDÇS’de alınan karar gereği, sözleşmede belirtilen objektiflerin gerçekleştirilmesi, gözetilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla, her yıl, tüm tarafların söz sahibi olacağı “Taraflar Konferansı (COP)” düzenlenmesi kararlaştırılmıştır.

BMİDÇS içinde 1999 yılında Kyoto Protokolü oluşturulmuş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Kyoto protokolünün amacı, atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun iklime tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamaktır. Bu protokolü imzalayan ülkeler, sera etkisine neden olan gazların salınımını azaltmaya veya bunu yapamıyorlarsa salınım ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir. Protokol, ülkelerin atmosfere saldıkları karbon miktarını 1990 yılındaki düzeylere düşürmelerini gerekli kılmaktadır.



Kyoto protokolü'ne taraf olan ülkeler genel anlamda şu koşulları kabul etmiştir (Kadioğlu 2007):

- Ülkelerin sera gazı emisyonları, onlar için belirlenmiş miktarların üzerine çıkmayacak.
- İklim değişimini engellemeye yönelik politikaları geliştirip uygulayacaklar.
- Enerji verimini ve tasarrufunu arttırıcı önlemler alacaklar.
- Ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonlar sınırlandırılacak ve/veya azaltılacak
- Sera gazı yutaklarını koruyacaklar.
- Protokolün hedeflerine ulaşmasını engelleyecek her türlü faaliyetleri ortadan kaldıracaklar.
- Sürdürülebilir tarım ve benzeri konularda bilimsel araştırmaları destekleyecekler.

#### **2.4. İKLİM DEĞİŞİMİ VE TÜRKİYE**

Türkiye 2004 yılında BM İklim değişikliği çerçeve sözleşmesine taraf olarak iklim değişikliği konusunda çalışmalarına başlamıştır. Bu sözleşme gereğinde her yıl düzenli olarak Nisan ayının 15'ine kadar Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Rehberlerine göre hesaplamaları yaparak Sera gazı Emisyon envanterini oluşturmalı ve BM İklim Değişikliği Çerçere Sözleşmesi Sekreteryasına bildirmekle yükümlüdür. Bu sözleşme kapsamında Ek-1 ülkeleri arasında yer alan Ülkemiz her yıl bu envanteri, İklim Değişikliği ve Hava Yönetimi Koordinasyon Kurulu bünyesinde oluşturulan "Sera gazı Emisyon Envanteri Çalışma Grubu" tarafından TÜİK koordinasyonunda paydaş kurumlarla birlikte hazırlanmaktadır. Ulusal sera gazı emisyon envanterinde, 1990 yılından itibaren doğrudan ve öncül sera gazlarının emisyonlarını toplamaktadır.

Doğrudan sera gazları, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O), hidroflorokarbon (HFC), perflorokarbon (PFC), kükürthekezafloşit (SF<sub>6</sub>). Öncül sera gazları azotoksit (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksit (CO), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) emisyonları kapsamaktadır.

Türkiye'nin kişi başına düşen sera gazı ortalaması OECD ve AB ülkelerinin çok gerisindedir. Ama bu ortalama 70 milyonluk nüfusuyla çarpıldığında, Türkiye'yi en çok sera gazı üreten ülkeler sıralamasında 13'üncü sıraya yükseltmektedir. Bu nedenle Türkiye, İklim Değişikliği ile mücadelede önemli adımlar atmak zorundadır. Paris Antlaşması da bu adımlardan bir tanesidir.

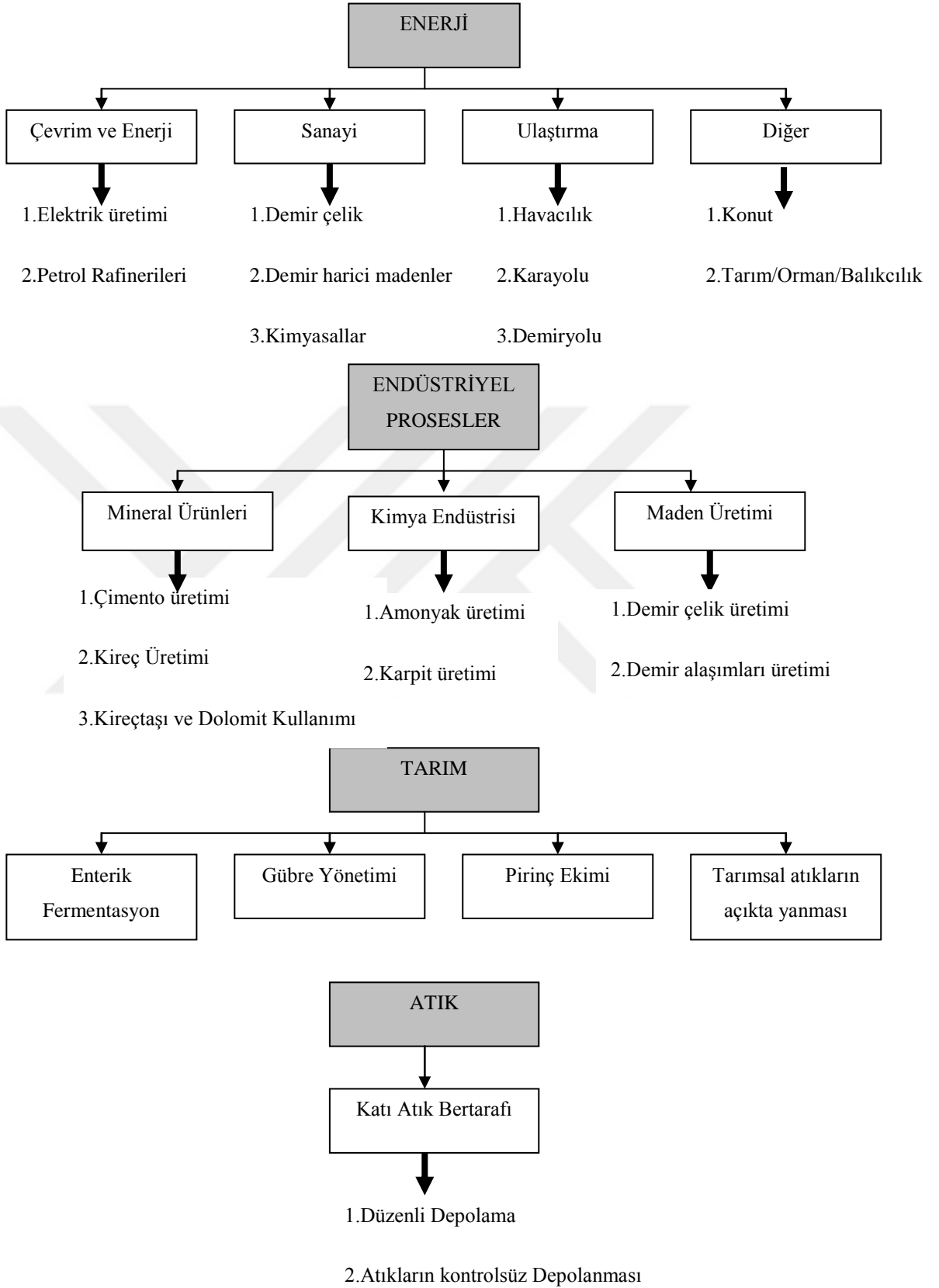
Paris Antlaşması, 195 ülke tarafından kabul edilen küresel nitelikteki bir anlaşmadır. 2015 yılında Paris İklim zirvesine katılan ülkeler global sıcaklık artış seviyesinin 2°C mertebesinde tutulması için ortak bir karar bildirmişlerdir. Ancak henüz bunun nasıl olabileceğine dair somut projeler yapılmamıştır. İklim değişikliği ile mücadele kapsamında Paris Anlaşması, ulusal katkılar, azaltım, uyum, kayıp/zarar, finansman, teknoloji geliştirme ve transferi, kapasite geliştirme, şeffaflık, durum değerlendirmesi konularına ilişkin uygulamaların modalitelerini belirlemek üzere bir çerçeve oluşturmuştur. Anlaşma, gelişmekte olan ülkelere ekonomik yönden destek ve mevcut yöntemlerini geliştirme imkanı sağlamayı planlamaktadır.

Türkiye, Paris İklim Zirvesi'nden önce iklim değişikliği ile mücadele kapsamında gönüllü olarak Ulusal Azaltım Katkı Beyanı olan INDC planını BM İklim Sekreteryasına sunmuştur. Türkiye, bu beyanda, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını olağan seyir olan referans senaryodan %21 daha az artırmayı hedeflediğini belirtmiştir. Anlaşıldığı kadarıyla Türkiye'nin mevcut sera gazı azaltım bildirimini şartsız yani uluslararası iklim finansmanı sağlamadan kendi çabalarıyla bu azaltımı yapabileceğini göstermektedir. Paris İklim Zirvesi müzakerelerinde yapmış olduğu birçok beyanatta görüleceği gibi eğer uluslararası finansman desteği sağlanırsa Türkiye'nin daha fazla emisyon azaltımı sağlayabileceği planlanmaktadır (MFA, 2017).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun yapmış olduğu istatistiksel verilere göre; 2011 yılında toplam seragazı emisyonu CO<sub>2</sub> eşdeğeri 422,4 milyon ton (Mt) iken 2014 yılında toplam seragazı emisyonu CO<sub>2</sub> eşdeğeri 467,6 milyon (Mt) oranına yükselmiştir. 2014 yılı emisyonlarında CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak en büyük payı %72,5 oranla enerji kaynaklı emisyonlar, %13,4 oranıyla endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %10,6 oranıyla tarımsal faaliyetler ve %3,5 oranıyla

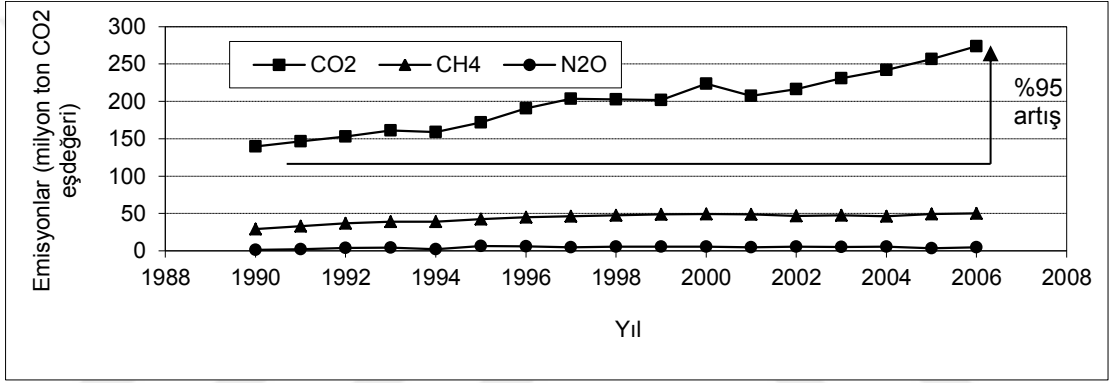
atıklardan kaynaklı seragazı verileri elde edilmiştir (TC-SGEE, 2014). Şekil 2.4'te Sera gazlarını oluşturan kaynakların genel sınıflandırılması gösterilmiştir.





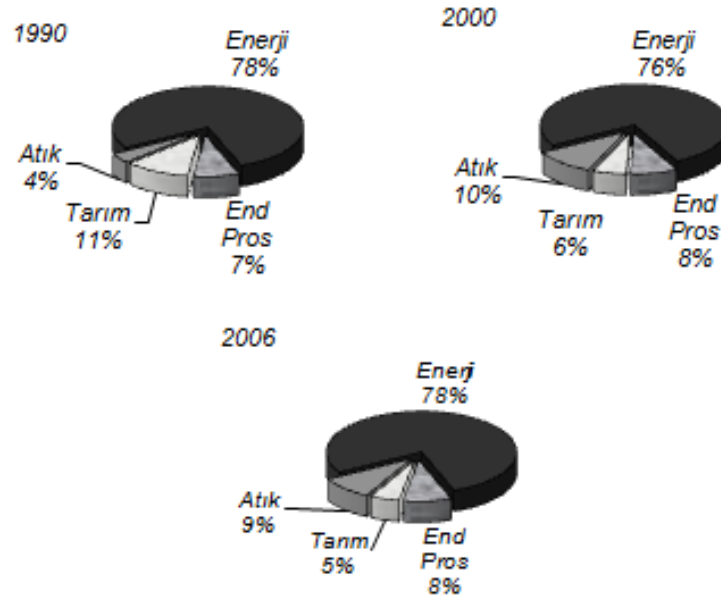
Şekil 2.4: Sera gazlarını (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) oluşturan kaynakların genel sınıflandırması.

Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonları, 2004 yılından beri IPCC Rehberi kullanılarak Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hesaplanmaktadır. Bu hesaplar neticesinde İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu (İDKK), BMİDÇS kapsamındaki en önemli taahhütlerimizden biri olan İklim Değişikliği I. Ulusal Bildirimi Raporunu hazırlamıştır (Apak, 2007). Sera gazı emisyon envanteri Şekil 2.5'de gösterilen kaynaklardan oluşan, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-gazları, NO<sub>x</sub>, NMVOCs ve CO emisyonlarını kapsamaktadır. 1990 ile 2006 yılları arasında yapılan hesaplamalara göre Türkiye'de toplam sera gazı emisyonu 2006 yılında 331,8 milyon ton CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak tahmin edilmiştir ve 1990 yılına göre %95 oranında emisyon artışı gerçekleşmiştir.



**Şekil 2.5:** Türkiye'nin 1990 yılından 2006 yılına kadar önemli sera gazlarının salınımında yıllık değişim miktarı (Arazi kullanımı ve arazi kullanım değişimlerinden kaynaklanan emisyonlar dahil edilmemiştir).

Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonlarının en büyük kısmını %81,5'lik oranla CO<sub>2</sub> ve %15,6'lık bir pay ile CH<sub>4</sub> oluşturmaktadır. Diğer gazlar ise (N<sub>2</sub>O ve F-Gazları) %2,9'luk paya sahiptir. Şekil 2.6'de verilen CO<sub>2</sub> emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde ise %76-78 oranında enerji kaynaklı bir emisyon salınımı dikkat çekmektedir (TÜİK, 2007). Bunun nedeni, özellikle sanayi ve ulaştırma sektörlerinin petrole dayalı sürdürülebilir olmayan bir enerji tüketim yapısına sahip olmasıdır.



Şekil 2.6: Türkiye’de Sera gazı emisyonlarının kaynaklara göre dağılımı.

Türkiye, Kyoto protokolüne taraf olan bir ülke olarak şartları yerine getirebilmek için devlet politikalarında yeni düzenlemeler yapmak durumundadır. Bu kapsamda öncelikli olarak yapılması gereken düzenlemeler; endüstri, motorlu taşıtlar ve ısıtmadan kaynaklanan sera gazı miktarını azaltmaya yönelik mevzuatların yeniden düzenlenmesi, daha az enerji ile ısınma, daha az enerji tüketen araçlarla uzun yol alma, daha az enerji tüketen teknoloji sistemlerini endüstriye yerleştirmenin sağlanması, ulaşımda ve sanayide çevreciliğin temel ilke olmasının sağlanması olarak sıralanabilir.

Ülkemizde sera gazlarının emisyonlarını belirlemek amacıyla Sera Gazı Emisyon Takibi Hakkında Yönetmelik Mayıs 2014 yılında resmi gazetede yayınlanmıştır. Bu Yönetmeliğin amacı; yönetmelikte bulunan Ek’te yer alan faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının izlenmesi, doğrulanması ve raporlanması için gerekli usul ve esasları düzenlemektir (SGETHY, 2014). Tablo 2.2’de gösterilen faaliyetler kategorilere ayrılmıştır ve yönetmeliğe tabiidirler.

**Tablo 2.2:** Ek-1 Faaliyet Kategorileri (SGETHY, 2014).

Faaliyetler	Sera gazları
Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri tesislerde yakıtların yakılması (tehlikeli veya evsel atıkların yakılması hariç). Petrol rafinasyonu. Kok üretimi.	Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit
Metal cevheri (sülfür cevheri dâhil) kavrulması, sinterlenmesi veya peletlenmesi. Kapasitesi 2,5 ton/saat ve üzeri, sürekli döküm de dâhil olmak üzere, pik demir ve çelik üretimi (birincil ve ikincil ergitme). Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri yakma üniteleri kullanılarak demir içeren metallerin (demirli alaşımlar dâhil) üretimi veya işlenmesi. (işleme; haddeleme, yeniden ısıtma, tav fırınları, metal işleme, dökümhaneler, kaplama ve dekapajı da ihtiva eder.) Birincil alüminyum üretimi.	Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit ve perflorokarbonlar Karbon dioksit
Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri yakma üniteleri kullanılarak ikincil alüminyum üretimi.	Karbon dioksit
Toplam anma ısı gücü (indirgeme maddesi olarak kullanılan yakıtlar dâhil) 20 MW ve üzeri yakma üniteleri kullanılarak alaşımların üretimi, rafine edilmesi, dökümhane dökümü, vb. dâhil olmak üzere demir dışı metallerin üretimi veya işlenmesi. Günlük kapasitesi 500 ton ve üzeri döner fırınlarda veya günlük kapasitesi 50 tonu aşan diğer ocaklarda klinker üretimi. Günlük kapasitesi 50 ton ve üzeri döner fırınlarda veya diğer ocaklarda kireç üretimi veya dolomitin veya magnezitin kalsinasyonu. Günlük ergitme kapasitesi 20 ton ve üzeri cam elyafı da dâhil olmak üzere cam üretimi. Günlük üretim kapasitesi 75 ton ve üzeri, özellikle çatı kiremitleri, tuğlalar, refrakter tuğlalar, karolar, taş ürünler veya porselen olmak üzere, pişirme ile seramik ürünlerin üretimi. Günlük ergitme kapasitesi 20 ton ve üzeri, cam, taş veya cüruf kullanılarak mineral elyaf yalıtım malzemesi üretimi. Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri yakma üniteleri kullanılarak alçı taşının kurutulması veya kalsinasyonu veya alçı panoların ve diğer alçı taşı ürünlerinin üretimi.	Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit Karbon dioksit
Odundan veya diğer lifli malzemelerden selüloz üretimi. Günlük üretim kapasitesi 20 ton ve üzeri, kâğıt, mukavva veya karton üretimi.	Karbon dioksit Karbon dioksit
Toplam anma ısı gücü 20 MW ve üzeri yakma ünitelerinin kullanılarak petrol, katran, kraking ve damıtma kalıntıları gibi organik maddelerin karbonizasyonunu da içeren karbon siyahı üretimi. Nitrik asit üretimi. Adipik asit üretimi. Gliksal ve gliksilik asit üretimi. Amonyak üretimi. Günlük üretim kapasitesi 100 ton ve üzeri kraking, reforming, kısmi veya tam yükseltgenme veya benzeri işlemler ile büyük hacimli organik kimyasal maddelerin üretimi.	Karbon dioksit Karbon dioksit ve diazot oksit Karbon dioksit ve diazot oksit Karbon dioksit ve diazot oksit Karbon dioksit Karbon dioksit
Günlük üretim kapasitesi 25 ton ve üzeri, reforming veya kısmi yükseltgenme ile hidrojen (H <sub>2</sub> ) ve sentez gazının üretimi.	Karbon dioksit
Soda külü (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) ve sodyum bikarbonat (NaHCO <sub>3</sub> ) üretimi.	Karbon dioksit

Tablo 2.2’de yer alan faaliyetler kendi sera gazı emisyonlarını izlemek, raporlamak ve doğrulayarak bakanlığa bildirim yapmakla yükümlüdür.

## **2.5. KARBONDİOKSİT (CO<sub>2</sub>)’İN TUTULMASI VE DEPOLANMASI**

CO<sub>2</sub>’in birçok giderim yöntemi bulunmaktadır. Son dönemde kullanılan tutma ve depolama yöntemleri en fazla tercih edilen yöntemlerdir. Karbondioksitin çeşitli endüstrilerde hammadde olarak kullanılabilmesi tutma ve depolama işlemlerini cazip hale getirmiştir. Karbondioksitin çeşitli kimyasallarla ya da yöntemlerle tutulması mümkündür.

### **2.5.1. Absorpsiyon**

Karbon yakalama işleminde kullanılan absorbe edici maddeler iki tip olarak sınıflandırılabilir: (a) kimyasal reaksiyonların karbondioksiti ayırdığı kimyasal madde ve (b) fiziksel ayırıştırma işleminin fiziksel yöntemlerle gerçekleştiği yerde, gaz-sıvı arayüzünde meydana gelen madde. Gazların çözünürlüğü, arayüzün yüzey alanı ve sıcaklık, basınç gibi çalışma koşullarına bağlıdır. Kimyasal veya reaktif absorbanlar, aminler, karışımlar (MDEA-DEA, AMP-PZ, AMP-DEA gibi), iyonik sıvılar, sulu çözücüler, amonyak vb. maddelerdir. Karışımlar, farklı emici maddelerin pozitif özelliklerini birleştirmek ve aynı zamanda negatif özelliklerini bastırmak için formüle edilmiştir. Fiziksel absorbanlar ise, çözücü madde olarak kullanılacak Rectisol, Selexol gibi çözücüleridir. Bir emici madde olarak kullanılmak üzere bir çözücü istenen özelliklere; CO<sub>2</sub> ile yüksek reaktivite ve emiciliğe, kapsamlı termal ve sürekli kimyasal maruziyet altında yüksek stabiliteye, düşük buhar basıncına, kolay yeniden üretilebilirliğe, düşük çevresel etkiye ve ekonomik kullanıma sahip olmalıdır (Sreedhar ve diğ., 2017).

#### **2.5.1.1. Fiziksel Absorpsiyon**

Fiziksel absorpsiyon sırasında işlemde geçirilmemiş baca gazı bir absorpsiyon kolonunda çözücü ile ters akım olacak şekilde beslenir. CO<sub>2</sub> çözücü tarafından emilir ve daha sonra CO<sub>2</sub>



ile zengin çözelti çeşitli basınçlarda kolon içerisinden geçirilir. CO<sub>2</sub>, bu basıncın bir sonucu olarak serbest bırakılır. Fiziksel soğurma işlemleri için en uygun sıcaklığı 40°C olup, besleme gazı konsantr CO<sub>2</sub> ile yüksek basınç altında olmalıdır. Bu parametrelere dayalı fiziksel absorpsiyon gibi doğal gaz veya kömür gazdan CO<sub>2</sub> yakma öncesi süreçlerinde çok daha etkilidir (Devries N., 2014).

### **2.5.1.2. Kimyasal Absorpsiyon**

Kimyasal absorpsiyon sistemlerinde, CO<sub>2</sub>'in yakalanması post-yanma işlemi sonrasında kullanılmaktadır. Bu sistemler 1930'lu yıllardan beri amonyak kullanılarak gıda uygulamalarında ve birçok sektörde kullanılan ticari yöntemlerdir. CO<sub>2</sub> sürekli yıkama sistemi ile baca gazının geçirilmesiyle baca gazından ayrılır. Sistem bir absorban ve desorbandan meydana gelmektedir. Absorpsiyon prosesleri, sulu alkali çözelti ile CO<sub>2</sub>'in tersinir kimyasal reaksiyonu kullanılarak oluşturulur. Genellikle alkali çözelti olarak amin kullanılır. Desorban olarak, CO<sub>2</sub>'in saf akışı ve püskürtülen çözücüde tutulan CO<sub>2</sub>, basınç ile rejenere edilen çözelti ile tekrar absorbana gönderilir. Desorpsiyon ısısını sağlamak ve çözücünden CO<sub>2</sub>'i ayırmak için gerekli olan itici gücü oluşturmak amacıyla ve buhar üretmek için reboyerler kullanılmaktadır (Boot-Handford ve diğ., 2014).

Kimyasal absorpsiyon sistemlerinde kullanılan alkali çözeltiler:

**Amin bazlı çözeltiler:** Aminler CO<sub>2</sub> giderimi için uzun süredir kullanılan çözeltilerdir. CO<sub>2</sub> ile hızlı reaksiyona girmesi ve absorbe edebilme kapasitesinin yüksek olması sebebiyle tercih edilmektedir. Mevcut endüstri standardında ağırlıkça % 15 ile %30 civarında MEA sulu çözeltisi kullanılmaktadır. CO<sub>2</sub>'in düşük kısmı basınçlarında etkinliği nedeniyle baca gazında MEA kullanılabilen sulu çözeltilerden biridir. Genel olarak MEA ve aminler için önemli dezavantajları bulunmaktadır. Absorpsiyon sırasında gerçekleşen reaksiyonun termal ve oksidatif bozulmaya eğilimli olması ve yüksek sıcaklığa ihtiyaç duymasıdır. Aynı zamanda amin sistemleri korozyon etki yapmaktadır. Mevcut süreçlerde sulu MEA absorpsiyonu için bir korozyon inhibitörü eklenmesi gerekmektedir. Hatta bu inhibitörü, çözelti konsantrasyonları özellikle ağırlıkça % 30 MEA ile korozyon sorunları yükseltilebilir (Cullinane, 2005).

**Monoethanolamin:** MEA çok geniş çaplı ve deneysel verileri fazlaca bulunan CO<sub>2</sub> yakalama sistemlerinde başarısı yüksek çözeltilerden biridir. Maliyetinin düşük olması, molekül ağırlığının küçük ve asit gazları absorbe yeteneğinin fazla olması, belirli koşullar altında CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girdikten sonra geri kazanılabilir olması gibi avantajları bulunmaktadır. Dezavantajı olarak, sisteme korozyon etkisi olması nedeniyle işletim maliyetlerini arttırması, absorpsiyon veriminin düşük olması, bazı tersinir reaksiyonlar nedeniyle absorplama yeteneğinin azalabilmesi gösterilmektedir.

**Potasyum Karbonat:** Baca gazlarının arıtılmasında kullanılan çözücülerin ortaya çıkan bir sınıfı, potasyum karbonat çözeltileridir. Son zamanlarda tercih edilen proseslere bağlı olarak ağırlıkça %20 ile %40 arasında K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi kullanılmaktadır. Potasyum karbonat sıcaklık salınımlı absorpsiyon-desorpsiyon döngüsünde MEA ile karşılaştırıldığında basınç salınımlı soğurma-desorpsiyon döngüsünde çalışır. Bu nedenle, farklı modelleme sorunları potasyum karbonat kullanılan sistemde ele alınması gerekir. Potasyum karbonatın kullanılmasının ana faydaları olarak düşük sıcaklık gereksinimi, düşük enerji ile gerçekleştirilen absorpsiyon, düşük korozyon olayı, düşük çözelti maliyeti, düşük enerjili püskürtme kolonlarında yapılabilmesi ve ayrıştırma probleminin olmaması gösterilebilir. Ancak amin çözeltilerine göre CO<sub>2</sub> ile daha yavaş reaksiyona girmesi bu kimyasalın dezavantajı olarak gösterilebilir (Kothandaraman ve diğ., 2009).

**Amonyak (NH<sub>3</sub>):** Amonyak sistemleri amonyağın CO<sub>2</sub> absorplama yeteneğinin fazla olması ve sistemde korozyona sebep olmaması araştırmacılar tarafından tercih edilmektedir. CO<sub>2</sub> giderim verimi aynı sıcaklık ve basınç altında MEA çözeltisinden (MEA %90, Amonyak %95~99) daha fazla olmasından dolayı tercih edilmektedir. Absorpsiyon kapasitesi 1.0 kgCO<sub>2</sub>/kg çözelti, ve MEA sadece 0.36 kg CO<sub>2</sub>/kg MEA (Wang S., 2009).

**Alkali çözeltiler:** CO<sub>2</sub> absorpsiyonunda NaOH çözeltisi 1940'lı yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir. Birçok araştırmacı tarafından yüksek absorpsiyon verimliliği ve düşük maliyetli olması açısından ilgi görmüştür. NaOH'in CO<sub>2</sub> absorplama kapasitesi MEA çözeltisinde göre daha fazladır. 1 ton CO<sub>2</sub> gazını yakalamak için 1.39 ton MEA, 0,9 ton NaOH gerekmektedir

(Wee J., 2012). NaOH ile MEA kıyaslandığında, NaOH ile CO<sub>2</sub> reaksiyonu sonucu oluşan NaHCO<sub>3</sub>, MEA ile reaksiyonu sonucu oluşan ürün gibi tekrar geri kazanılamamaktadır. NaHCO<sub>3</sub> sulu çözeltilerde çözünmüş olarak bulunur. 160C'de NaHCO<sub>3</sub>; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> olarak ayrışır.

### 2.5.2. Membranlar

Seçilen membranların gaz ve zar arasındaki fiziksel ya da kimyasal etkileşim farklılıklardan yararlanılarak farklı gazlar için de kullanılabilirliği gözlenmiştir. Son zamanlarda membranlar yüksek basınç ve yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonuna sahip gaz akımlarından CO<sub>2</sub>'in uzaklaştırılması için kullanılırlar. Membranların doğalgaz sektöründe, hareketli parçaların olmaması, yenilenen enerjiye ihtiyaç olmaması ve proses koşullarına bağlı olarak membranın yerinin değiştirilebilir olması avantajları arasında gösterilebilir. (Kenarsari ve diğ., 2013).

### 2.5.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, CO<sub>2</sub>'i bir gaz karışımından ayırmak için yüksek yüzey alanlı adsorban adı verilen bazı katıların kullanımını içererek tutmayı amaçlar. Bu adsorbentler bir rejenerasyon işlemi vasıtasıyla desorbe edilir. Katı adsorban örneği olarak; zeolitler, aktifleştirilmiş karbon, polimerler ve moleküler elekler gösterilebilir. Genel olarak, bir yatakta CO<sub>2</sub> adsorbanı, diğerinde basınç, sıcaklık veya elektriksel salınımlarla rejener edildiğinde iki yataklı bir sistem kullanılır. Bu teknoloji, baca gazındaki düşük hacimli CO<sub>2</sub> gibi bir üründe düşük maliyetli olduğu kanıtlanmamıştır (Boot-Handford ve diğ., 2014).

## 2.6. LİTERATÜRDE BULUNAN KARBONDİOKSİT (CO<sub>2</sub>) TUTULUM ÇALIŞMALARI

Yapılan araştırmalarımız neticesinde baca gazındaki kirletici gazların (SO<sub>x</sub>,) alkali çözeltiler ile tutulabildiği ve son yıllarda özellikle tekstil ve seramik sektöründe oluşan yüksek pH değerine sahip atık suların başarıyla kullanılabilirdiği belirlenmiştir (Şahin ve diğ., 2012). Bu tez çalışması kapsamında da seramik ve tekstil atık suyunun baca gazı bünyesinde bulunan

CO<sub>2</sub>'in tutulumunda başarılı olacağı düşünülmüş ve laboratuarda yapılan denemelerle elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Baca gazlarındaki CO<sub>2</sub>'in farklı kimyasallar ile tutularak geri kazanılabileceğine dair laboratuvar ölçekli yapılmış ve yayınlanmış birçok bilimsel çalışma mevcuttur (Sjöstrand ve Yazdi, 2009; Liu ve diğ., 2009; Uysal ve diğ., 2012; Diao ve diğ., 2004). Mono etilen amin (MEA) ve Dietilen amin (DEA) en çok bilinen ve kullanılan solventlerdir. MEA gibi solventlerle gaz akımındaki CO<sub>2</sub>'in tutularak tekrar CO<sub>2</sub> olarak kazanıldığı çalışmalar ve uygulamalar yaygındır (Wang, 2007; Kuntz ve diğ., 2009). Ancak çok büyük ölçekli tesislerde uygulanan bu prosesler solventten CO<sub>2</sub>'in geri kazanımında yüksek enerji sarfıyatı ve işletme masrafı nedeni ile oldukça pahalıdır. CO<sub>2</sub> tutulumunda yaygın kullanılan bir diğer absorban ise Amonyak'tır. Huang ve diğ., (2001) yaptıkları çalışmada CO<sub>2</sub>'in Amonyak ile tutulumunu çalışmışlardır. Amonyakın tekrar tekrar kullanımı ile geleneksel metod olan MEA metodunu karşılaştırmışlar ve enerji sarfıyatı karşılaştırması yapmışlardır. 50°C sıcaklıkta Amonyakın tekrar geri kazanımı metodu ile MEA metodu karşılaştırıldığında %50 enerji tasarrufu olduğu belirlenmiştir. Benzer bir çalışma Yeh ve diğ., (2005) tarafından yapılmış ve Amonyakın enerji tasarrufu MEA'e kıyasla aynı oranda tespit edilmiştir. Yaklaşık 1 gr MEA 0,036 g CO<sub>2</sub>'i tutabildiği Amonyakın ise bunun 2 katı kadar CO<sub>2</sub> tutabildiği çalışmada belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışma sonucunda Absorbanın rejenerasyonu için gerekli enerji ihtiyacı karşılatırılmış ve amonyumbikarbonatın amonyum içerikli diğer çözeltilere göre daha az enerji ihtiyacı gerektirdiği belirlenmiştir.

Peng ve diğ., (2012) ve Pan ve diğ., (2012) yaptıkları çalışmalarda baca gazındaki CO<sub>2</sub>'in tutulumu hakkındaki tüm çalışmalarını incelemişler ve birer değerlendirme makalesi halinde yayınlamışlardır. Peng ve diğ., (2012) CO<sub>2</sub>'in kimyasal absorpsiyonu konusunda yapılan çalışmalar üzerinde durmuş ve reaktör tipi, absorban çözeltisi çeşidi, çalışma koşullarının absorpsiyon verimine etkisini incelemişlerdir. Kimyasal absorpsiyon çalışmalarında genellikle etanol amin, amonyak ve alkali çözeltiler kullanıldığı belirtilmiştir. CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimliği karşılaştırılmış ve amin çözeltilerinin (MEA, DEA vb..) %61-90 arasında, amonyak çözeltilerinin %78-98 arasında alkali çözeltilerin (NaOH, KOH vb. ) %92-99 arasında olduğu sonucuna varılmıştır (Peng ve diğ., 2012). Amonyak çözeltileri

kullanılarak CO<sub>2</sub> absorpsiyonu çalışılan yayınlarda MEA ve DEA'ye kıyasla daha fazla tutulma verimi gösterdiği ortaya konmuştur (Liu ve diğ., 2010; Yeh ve diğ., 2005). Son yıllarda yapılan çalışmalarda alkali çözeltiler ile CO<sub>2</sub>'in tutulması ön plana çıkmaktadır (Dubois and Thomas, 2010; Guar ve diğ., 2009; Kang ve diğ., 2016; Galvez-Martos ve diğ., 2016; Shen ve diğ., 2016; Wang ve diğ., 2016). Sentetik hazırlanan alkali çözeltilerin kullanıldığı çalışmalar yanında az sayıda endüstriyel gerçek alkali atıksuların kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur ve önemi gün geçtikçe artış göstermektedir. Guar ve diğ., (2009) yaptıkları çalışmada çöp depo gazlarından CO<sub>2</sub>'i ayırmak için yakınlarda bulunan bir endüstriyel alkali atıksuyu kullanmışlardır ve %45 CO<sub>2</sub> içeren gaz akımında başarılı sonuçlar almışlardır. Kang ve diğ., (2016) MEA ile CO<sub>2</sub> absorblama prosesinde MEA'ye tuz üretim tesisi alkali atıksuyunu eklemişler kalsit oluşumu sağlamışlardır.

Ramezani ve diğ., (2017) amin bazlı çözücüleri karıştırarak CO<sub>2</sub> tutulumunun saf MEA'ye kıyasla ne kadar etkili olduğunu göstermek istemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, trisodyum fosfat (TSP)'i baz çözücü olarak kullanılmışlar ve 2 - ((2-aminoetil) amino) etanol (AEEA), metildietanolamin (MDEA), piperazin (PZ), potasyum sarkosinat (K-Sar) ve potasyum lisinat (K-Lys) dahil olmak üzere beş amini içeren karışımı absorpsiyon performansını arttırmak için potansiyel katkı maddeleri kullanmışlardır. Bu karıştırılmış çözeltilerin performanslarını araştırmak ve karşılaştırmak için, korozyon hızı, absorpsiyon oranı ve CO<sub>2</sub> çözünürlüğü, toplam 2,5 kmol/m<sup>3</sup> konsantrasyonda ve 313.15 K sıcaklıkta 5 ila 50 kPa arasında değişen kısmi CO<sub>2</sub> basıncında ölçmüşler ve bu koşullar altında monoetanolamin (MEA) ile karşılaştırmışlardır. Deney sonuçları, trisodyum fosfatta bir katkı maddesi olarak PZ'nin en yüksek emme oranına sahip olduğunu ortaya koymuşlar fakat K-Lys ve TSP ile oluşturulan çözelti diğer katkı maddelerine kıyasla en yüksek yükleme kapasitesine sahiptir olduğunu göstermişlerdir. Buna karşılık, MDEA katkı maddesi en yüksek korozyon oranına sahip olduğundan, korozyon oranı, CO<sub>2</sub> çözünürlüğü ve trisodyum fosfat ve PZ absorpsiyon hızı üzerindeki en düşük etkiyi gösterdiğini farketmişlerdir. Ayrıca, bu karışım çözümlerinin saf MEA'dan daha iyi bir performansa sahip olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak, K-Lys, CO<sub>2</sub>'nin gaz akımlarından ayrılmasında uygulanacak trisodyum fosfat için ümit vaat eden bir katkı maddesi olduğunu söylemişlerdir.

CO<sub>2</sub>'in alkali çözeltilerle tutulumu üzerine bir başka deneysel çalışma yapan Tirandazi ve diğ., (2017) yaptıkları çalışmada sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emiliminin deneysel ve modelleme çalışmaları yapmışlardır. Viskozitenin etkisini incelemek için Xanthan sakızını kullanmışlardır. Sıcaklık, çözelti miktarı, viskozite ve NaOH konsantrasyonu gibi ana parametrelerin CO<sub>2</sub> giderim hızı üzerindeki etkileri, Taguchi yöntemini kullanılarak deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuçlar viskozite ve NaOH konsantrasyonunun CO<sub>2</sub> absorpsiyonu üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir.

Gomes ve diğ., (2016) yaptıkları çalışmada yılda iki milyar ton alkali atığın endüstriyel proseslerden oluşmakta ve çevreye atılmakta olduğunu göstermişlerdir. Guar ve diğ., (2009) yaptığı çalışmada alkali atıksu üreten tesisler: meşrubat, süt, et üretimi, pişirme, elektroliz kaplama, selüloz, deri, tekstil, çimento ve beton, petrokimya, seramik vb. endüstrileri olduğunu sıralamışlardır. Tüm bu endüstriyel tesislerde CO<sub>2</sub> üretimi kaçınılmazdır. Sera Gazlarının azaltılması için en pratik ve hızlı çözüm kaynağında tutulma tekniklerinin uygulanması olacaktır. CO<sub>2</sub>'in geri kazanımı, depolanması ve taşınması maliyeti yüksek işlemlerdir. Bunun yerine yeni ürünlere (kimyasal hammadde) dönüştürülmesi yaklaşımı gelecekte CO<sub>2</sub> azaltımında önemli bir yere sahip olacaktır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan bu deneysel çalışmada, Türkiye ve Dünya’da çevresel sorunların başında gelen, fabrika bacalarından atılan baca gazları ve küresel ısınmaya sebep olan sera gazı olarak adlandırılan atık gazdaki CO<sub>2</sub> in alkali özellikteki çözeltilerle tutulması hedeflenmiştir. Bu çalışmada hem ülkemizde çeşitli sanayi sektöründe oluşan alkali özellikteki atıksuyun ve sera gazına etki eden baca gazlarında oluşan CO<sub>2</sub> in tutularak çevreye olan etkisinin azaltılması hem de oluşan yeni ürünlerin hammadde olarak sektöre tekrar kazandırılması amaçlanmıştır.

Laboratuvardaki deneysel çalışmalarda CO<sub>2</sub> gazının alkali nitelikli atıksu ile reaksiyona girmesi sağlanarak, CO<sub>2</sub>’in absorpsiyonu çalışılmıştır. CO<sub>2</sub> absorpsiyonu için alkali özellikte sentetik çözeltiler kullanılmıştır. Farklı oranlardaki çözeltiler ve hava akış hızlarında CO<sub>2</sub> gazıyla reaksiyonu sonucu CO<sub>2</sub> giderimi takip edilmiştir.

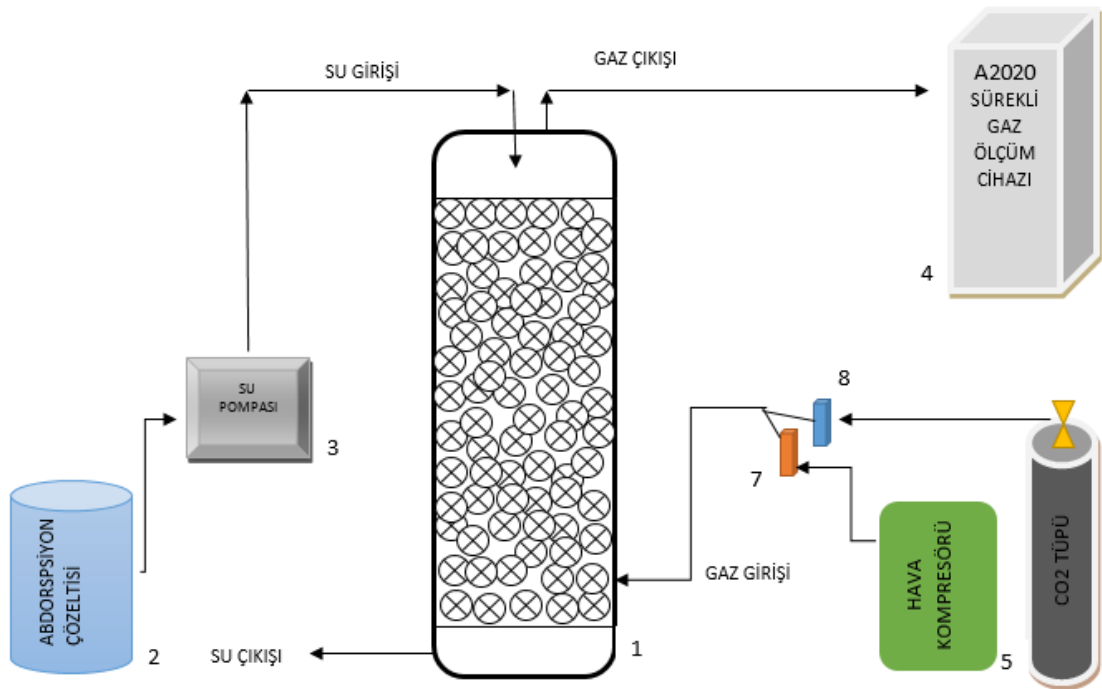
#### 3.1. DENEY DÜZENEGİ

Şekil 3.1’de deneysel çalışma düzeneği şematik olarak gösterilmiştir. Çalışmada dolgulu absorpsiyon kolonu kullanılmıştır. Dalgulu kolon boyutları çapı 10 cm, uzunluğu 100 cm olacak şekilde silindirik cam malzemeden yaptırılmıştır. Kullanılan tüm teçhizat ve bağlantılar oda sıcaklığında tutulmuştur. Dolgu malzemesi olarak 8 inç boyutunda plastik rashing halkaları kullanılmıştır. Reaktör içerisine CO<sub>2</sub> gazı ve itici gaz olarak hava, kompresör yardımıyla (max. 15 lt/dk) bağlantı borularında karıştırılarak verilmiştir. Çalışır duruma getirilen absorban kolonu sisteminin optimizasyon için takibi yapılmıştır. Bunun için kütle dengesi metodu kullanılarak sistemin herbir ünitesine giren ve çıkan debiler, pH değerleri düzenli olarak analizlerle takip edilmiştir. AO2020 Sürekli gaz analiz cihazı ile çıkış gazındaki CO<sub>2</sub> miktarı ölçülmüştür.

Kolondan çıkan CO<sub>2</sub> ile tepkimeye girmiş çözelti depolandı ve CO<sub>2</sub> giderim verimi hesaplaması yapılmıştır. giriş ve çıkış CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında oluşan CO<sub>2</sub> giderim verimi denklem 3.1 'de gösterilmiştir.

$$\text{CO}_2 \text{ giderim verimi} = \frac{\text{Giriş CO}_2 \text{ konsantrasyonu \%} - \text{Çıkış CO}_2 \text{ konsantrasyonu \%}}{\text{Giriş CO}_2 \text{ konsantrasyonu \%}} \quad (3.1)$$

Bu giderim verimliliği CO<sub>2</sub>'in akış hızına göre ve absorbe edildiği hıza bağlı değişkenliği tanımlamak için kullanılmıştır.



**Şekil 3.1:** Deneysel çalışma düzeneği'nin şematik gösterilişi (1: Dolgulu kolon, 2: Absorpsiyon çözeltisi, 3: Peristaltik Pompa, 4: AO2020 Sürekli Gaz Ölçüm Cihazı 5: Hava Kompresörü 7,8: Akış Ölçer).

Dolgulu kolon içerisine verilen CO<sub>2</sub> ve hava gaz karışımını düzenlemek için akış ölçerler kullanılmıştır. Kolona verilecek gaz akışı 1,3 ve 6 lt/dk, CO<sub>2</sub> konsantrasyonları %2, %5, %10, %15, ve %20 olarak ayarlanmıştır. Çalışmalar oda sıcaklığında ve basıncında yürütülmüştür. Optimum L/G oranları, CO<sub>2</sub> giderim verimleri, absorpsiyon sırasındaki zamana karşı CO<sub>2</sub> konsantrasyon değişimi vb. parametreler tek tek incelenerek ilgili grafik ve tablolarla sonuçlar yorumlanmıştır. Reaktör boşken sırasıyla gaz karışımı reaktör içerisine verilmiş ve A2020 baca gazı cihazında gaz oranları sabitlendiği gözlemlenmiştir. Sabitlenme gerçekleşikten



sonra absorpsiyon çözeltileri reaktör içerisine reaktör üzerinden verilmeye başlanmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 6 lt/dk ve 3 lt/dk hava akış hızında 2 dakika civarında, 1lt/dk hava akış hızında 3 dakika civarında sabitleme görülmüştür.

Gaz akışları ve hava akışı değiştirilerek CO<sub>2</sub> absorpsiyonuna verimi incelenmiştir. Gaz ve hava akışları flowmetreler ile ayarlanmıştır. NaOH çözeltileri su pompası yardımıyla 200, 400 ve 600 rpm hızında su akışı ayarlanarak sırasıyla reaktör içerisinde verilmiştir. Reaktör çıkışı baca gazı cihazına bağlanmış ve çıkışta çözeltileri ile reaksiyona giren gazın her 30 sn de bir cihazda görülen CO<sub>2</sub> değeri kaydedilmiştir.

## **3.2. KULLANILAN CİHAZ VE MALZEMELER**

### **3.1.2. AO2020 Baca Gazı Cihazı**

Absorpsiyon kolonunun içerisine verilen CO<sub>2</sub> gazının değeri ve kolonun içerisinde çözeltileri ile reaksiyona girdikten sonraki değerleri gözlemlenmiştir. Baca gazı cihazında çalışmaya başlanmadan önceki CO<sub>2</sub> miktarı sabitlendiği gözlemlenmiştir.

### **3.1.3. Ph Metre**

Reaktöre verilen atıksuların giriş pH değerleri ve CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girdikten sonraki çıkış atıksularının pH değerlerinin ölçülmesi için kullanılmıştır.

### **3.1.4. Peristaltik Pompa**

Atıksuyun absorpsiyon kolonuna aktarılmasını ve kolonun üst tarafından akış sağlamak için kullanılmıştır. Şekil 3.2'de kullanılan su pompasının resmi verilmiştir.



Şekil 3.2: Peristaltik su pompası.

### 3.1.5. Hava Kompresörü

CO<sub>2</sub> gazını reaktör içerisine itici gaz olarak hava kullanılmıştır. Hava kompresörü yardımıyla hava reaktör içerisine verilmiştir. Kullanılan kompresörün kapasitesi 15 lt/dk. Kompresör çıkışına hava flowmetresi takılarak farklı oranlarda hava akışı çalışmalarda oluşturulmuştur.

## 3.2. ABSORPSİYON ÇÖZELTİLERİ

### 3.2.1. NaOH Çözeltisi

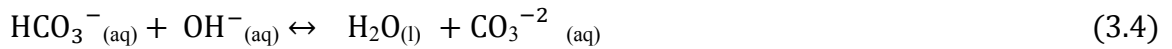
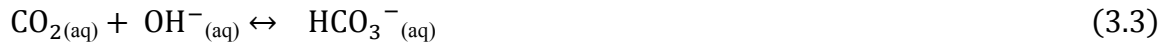
Bu tez çalışmasında laboratuarda bulunan dolgulu kolonun absorpsiyon verimini optimize etmek amacı ile iyi bir absorban malzeme olan NaOH kullanılmıştır. NaOH diğer absorban maddeler içerisinde en ucuz ve kolay bulunabilir olmasından tercih edilmektedir. Bazik yapıda olması sebebiyle korozyona sebep olmamaktadır. Böylelikle işletme koşulları daha kolay ve az maliyetlidir. NaOH çözeltisinin CO<sub>2</sub> absorplama kapasitesi monoetanolamin (MEA) ile karşılaştırılacak olunursa NaOH'in kapasitesi daha yüksektir. Teorik olarak 1 ton CO<sub>2</sub> absorpsiyonu için 0,9 ton NaOH, 1,39 ton MEA gerekmektedir (Wee ve diğ., 2013).

CO<sub>2</sub> absorpsiyonlarında NaOH kullanımları 1940'lı yıllara dayanmaktadır (Wee ve diğ., 2013). Çalışmanın ilk aşamasında sistem optimasyonu NaOH çözeltisi ile yapılmıştır. 1N stok NaOH çözeltisi, NaOH granül tozu (Merck %95) kullanılarak hazırlanmıştır. Bu stok çözelti kullanılarak hazırlanan 0,1 N NaOH çözeltisi deneysel çalışmada kullanılmıştır.

NaOH çözeltisi ile CO<sub>2</sub> absorpsiyonu şu şekilde açıklanabilir. Birincisi NaOH çok güçlü alkali özellik taşıdığı için Na ve OH iyonları suyun içerisinde tamamen iyonize hale gelmektedir. İkincisi, NaOH çözeltisi CO<sub>2</sub> gazını absorbe ettiğinde, CO<sub>2</sub> fiziksel olarak tutulur ve sulu CO<sub>2</sub>'e dönüşür.



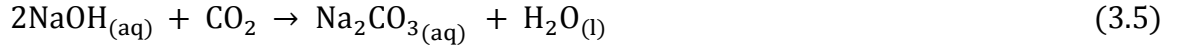
Daha sonra suya geçen CO<sub>2</sub>, sudaki OH<sup>-</sup> iyonları ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda da HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> iyonları oluşur.



Denklem (3.4)'de gerçekleşen reaksiyon denklemler (3.3)'te gerçekleşen reaksiyondan hemen sonra gerçekleşir. Sulu CO<sub>2</sub>, tüm oluşan reaksiyonlar sırasında bulunmamaktadır çünkü arkadan gelen oluşum hemen OH iyonu ile tepkimeye girmektedir. Sulu CO<sub>2</sub>, çözelti içerisinde bir kez oluştuktan sonra (3.3) ve (3.4) numaralı denklemlerdeki reaksiyonlar tarafından hemen tüketilir. Denklem (3.4)'teki reaksiyon içerisinde dominanttır çünkü absorban çok yüksek alkalilik gösterir, HCO<sub>3</sub> ile ilgili olarak CO<sub>3</sub> konsantrasyonu artmaktadır. Ek olarak (3.3) ve (3.4) denklemlerinde oluşan reaksiyonlar aracılığıyla da OH<sup>-</sup>

iyonu hızlı bir şekilde artmaktadır. Dolayısıyla, pH hızla başlangıç tepkime süresi boyunca azalırken, CO<sub>3</sub> konsantrasyonu artar.

CO<sub>2</sub> absorpsiyonu reaksiyonlarının ilk oluşum anında net reaksiyon gerçekleşmeye başlar.



Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> üründür. Absorban içinde Na<sup>+</sup> ve CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ayrılmış olarak vardır (Wee ve diğ., 2013).

### 3.2.2. Seramik Atıksuyu

Bu çalışmada CO<sub>2</sub> tutulumu için kullanılacak atık su tesiste üretim sürecinde oluşan atık sudur ve analiz değerleri Tablo 3.1 de verilmiştir. Tabloda görüleceği gibi yüksek alkalinitesi olan 9-9,5 pH değerini ihtiva eden bir atık sudur.

**Tablo 3.1:** Seramik Atıksuyu analiz değerleri.

<b>SERAMİK ATIKSUYU</b>	
Sıcaklık (°C)	21
pH	9,5
İletkenlik (µS/cm)	1577
Süzülen Yoğunluk (gr/L)	10,25
Alkalinite (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	242
Asidite (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	5
Sodyum (Na, mg/L)	190
Kalsiyum (Ca, mg/L)	84
Magnezyum (Mg, mg/L)	20

Ham atık su içerisinde anyon olarak sülfat ve klorür iyonları bulunurken Na, Ca Mg, v.b. iyonların bulunduğu bilinmektedir. Mevcut durum hakkındaki bu ön değerlendirme analizleri CO<sub>2</sub> tutulumu için atık suyun kullanılabilir özelliklerde olduğunu göstermektedir.

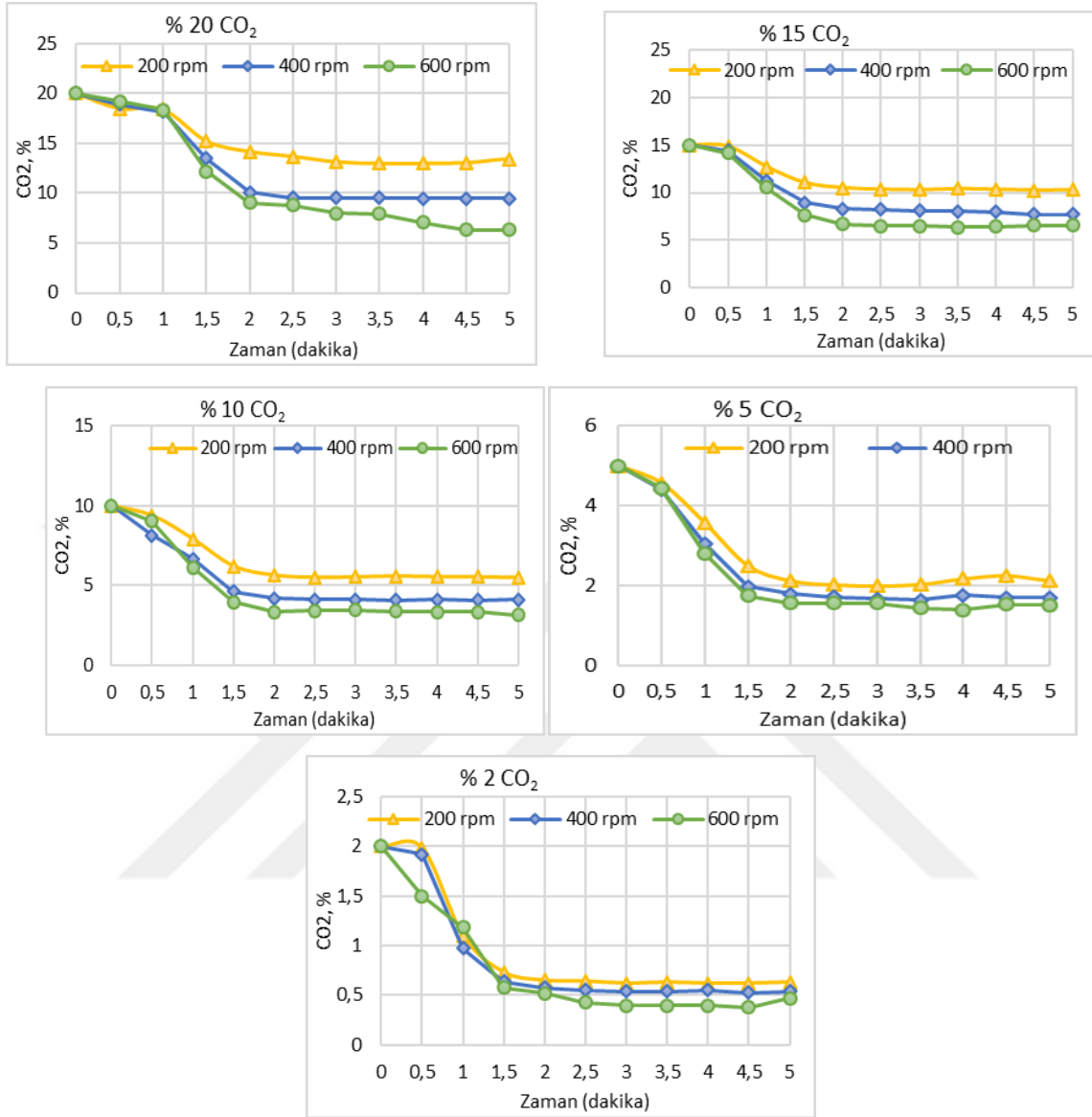
## 4. BULGULAR

Deneysel çalışma iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak dolgulu kolonda 0,1 N NaOH çözeltisinde CO<sub>2</sub> absorpsiyonu çalışılmış ve sistem optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra ise mevcut kurulu sistemde NaOH ile elde edilen en yüksek verim koşullarında seramik atıksuyu kullanılmış ve CO<sub>2</sub> giderimi incelenmiştir. Çalışılan sıvı, gaz akış hızlarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

### 4.1. NAOH ÇÖZELTİSİ İLE SİSTEM OPTİMİZASYONU

#### 4.1.1. 6 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemeler

Absorpsiyon kolonunda çalışmaya başlarken CO<sub>2</sub> ve itici gaz olarak kullanılan havanın belirli oranlarda karıştırılmış ve kolon içerisinde belli bir oranda sabitlenmesi sağlanmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu %20, %15, %10, %5 ve %2 içerecek şekilde hava gaz akışı hızı 6 lt/dk ayarlanarak ilk deneysel çalışma yapılmıştır. Absorpsiyon çalışması için çözelti olarak 0,1 N NaOH kullanılmıştır. Bu CO<sub>2</sub> oranlarının giderimindeki verimin takibinde sıvı akış hızının etkisini gözlemlemek için üç farklı sıvı akışı denenmiştir: 200 rpm (0,36 lt/dk), 400 rpm (0,75 lt/dk), 600 rpm(1,2 lt/dk). Farklı CO<sub>2</sub> oranları ve farklı sıvı akışlarında NaOH'in absorpsiyon zamanına bağlı CO<sub>2</sub> tutma verimliliği ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 4.1'de grafiklerle gösterilmiştir.

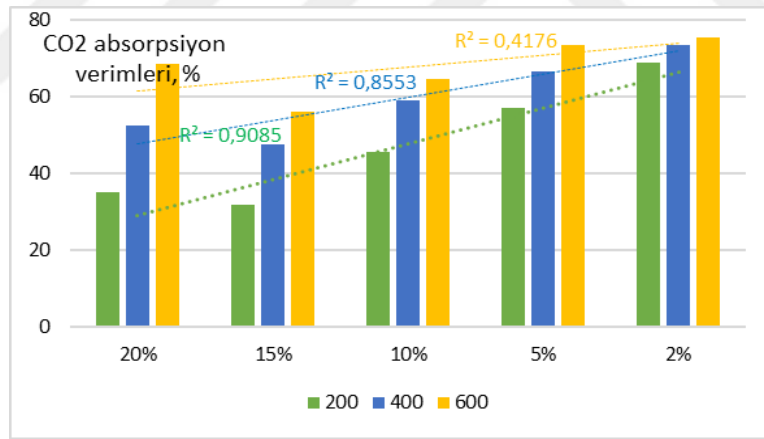


Şekil 4.1: 6 lt/dk hava akış hızında farklı çözelti akışında CO<sub>2</sub> absorpsiyon değişimi.

0,1 N NaOH çözeltisi ile yapılan deneyde CO<sub>2</sub> oranında değişimler AO200 baca gazı cihazından takip edilmiştir. Giriş konsantrasyonu % 20 ile %2 arasında CO<sub>2</sub> oranına ayarlanarak yapılan deneysel çalışmalarda en düşük çıkış CO<sub>2</sub> değeri 600 rpm (1,2 lt/dk) çözelti akış hızıyla gerçekleştirilen çalışmalarda ölçülmüştür. Yapılan tüm denemelerde absorpsiyon reaksiyonunun sabitlenme süresi ilk 2 dk olduğu görülmektedir. 2. dakikadan sonra çıkış CO<sub>2</sub> seviyesi değişiklik göstermemektedir. %20 ve %15 giriş CO<sub>2</sub> değerleri ile yapılan çalışmalarda kolon çıkışında CO<sub>2</sub> seviyesi yaklaşık %6,5'e düşmekte, %10'dan %3,2'ye, %5'den %1,5'e ve %2'den %0,4'e düşmektedir.

Şekil 4.2’de ve Tablo 4.1’de 6 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO<sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi gösterilmektedir. Genel olarak en yüksek giderim verimi %2 CO<sub>2</sub> gazı olan hava akımında görülmektedir (%69-75).

Giriş CO<sub>2</sub> değeri %10’un üzerine çıktığında giderim verimi genel olarak %50’nin altında olmaktadır. Ancak %2 giriş CO<sub>2</sub> giderimde çözelti miktarındaki 2 kat artış %4 giderim verimi artışı sağlarken %20 giriş CO<sub>2</sub> değerinin olduğu denemede çözültideki 2 kat artış giderim verimini 1,5 kat artırmaktadır. Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun olduğu gaz akımlarında yüksek absorpsiyon çözültisi kullanımı gerekecektir. Şekil 4.2’de de görüleceği gibi özellikle düşük çözelti miktarlarında CO<sub>2</sub>’in giriş konsantrasyonu azaldıkça absorblanma verimi artmakta ve verim ile giriş CO<sub>2</sub> değeri arasında yaklaşık 0,90 düzeyinde yüksek korelasyon görülmektedir.



**Şekil 4.2:** 6 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO<sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi.

**Tablo 4.1:** 6 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin giriş CO<sub>2</sub> değeri ve çözelti miktarı ile değişimi.

Çözelti Akış hızları	CO <sub>2</sub> Absorplanma Verimi				
	Giriş CO <sub>2</sub> Oranları				
	20%	15%	10%	5%	2%
<b>200</b>	35	32	46	57	69
<b>400</b>	52	48	59	67	73
<b>600</b>	68	56	65	73	75



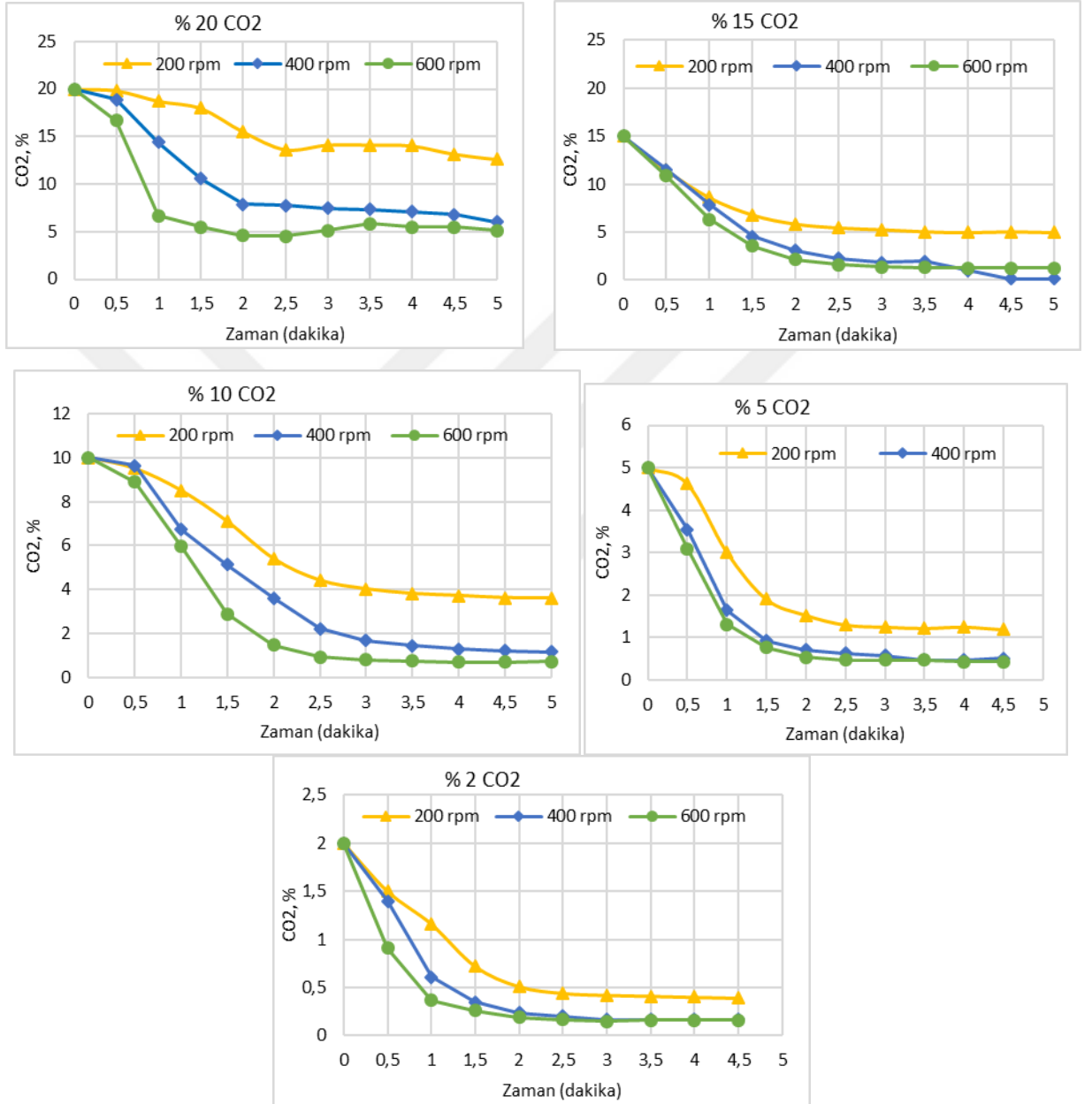
#### 4.1.2. 3 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemeler

Absorpsiyon kolonunda çalışmaya başlarken CO<sub>2</sub> ve itici gaz olarak kullanılan havanın belirli oranlarda karıştırılmış ve kolon içerisinde belli bir oranda sabitlenmesi sağlanmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu %20, %15, %10, %5 ve %2 içerecek şekilde hava gaz akışı hızı 3 lt/dk ayarlanarak deneysel çalışma yapılmıştır. Absorpsiyon çalışması için çözelti olarak 0,1 N NaOH kullanılmıştır. Bu CO<sub>2</sub> oranlarının giderimindeki verimin takibinde sıvı akış hızının etkisini gözlemlemek için üç farklı sıvı akışı denenmiştir: 200 rpm (0,36 lt/dk), 400 rpm (0,75 lt/dk), 600 rpm(1,2 lt/dk). Farklı CO<sub>2</sub> oranları ve farklı sıvı akışlarında NaOH'in absorpsiyon zamanına bağlı CO<sub>2</sub> tutma verimliliği ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 4.3'de grafiklerle gösterilmiştir.

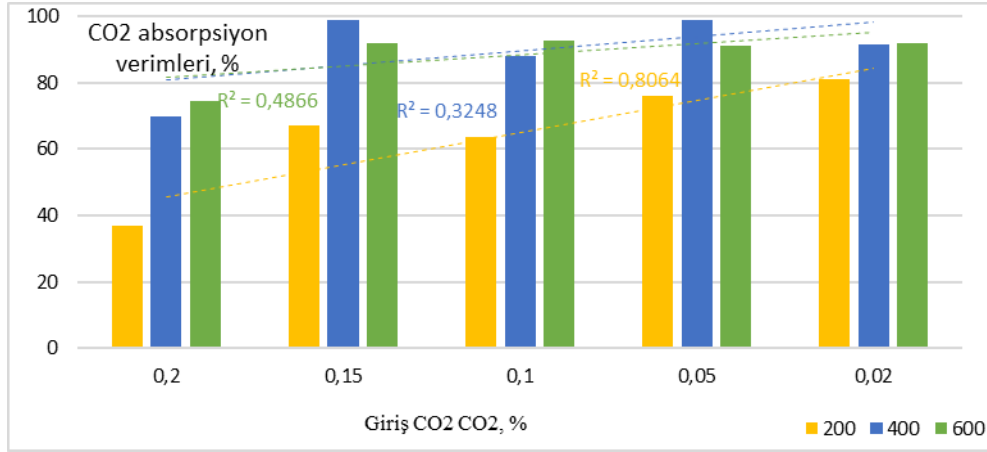
0,1 N NaOH çözeltisi ile yapılan deneyde CO<sub>2</sub> oranında değişimler AO2020 baca gazı cihazından takip edilmiştir. Giriş konsantrasyonu % 20 ile %2 arasında CO<sub>2</sub> oranına ayarlanarak yapılan deneysel çalışmalarda en düşük çıkış CO<sub>2</sub> değeri 400 ve 600 rpm çözelti akış hızıyla gerçekleştirilen çalışmalarda ölçülmüştür. 200 rpm çözelti akışı ile en elde edilen absorplanma değeri 400 ve 600'e kıyasla daha düşüktür. Yapılan tüm denemelerde absorpsiyon reaksiyonunun sabitlenme süresi 6 lt/dk hava hızı ile yapılan denemelerde olduğu gibi ilk 2 dk olduğu görülmektedir. 2. dakikadan sonra çıkış CO<sub>2</sub> seviyesi dengeli düzeyde değişiklik göstermektedir. 600 rpm çözelti akışı ile ve %20 giriş CO<sub>2</sub> değerleri ile yapılan çalışmalarda kolon çıkışında CO<sub>2</sub> seviyesi yaklaşık % 5,1'e, %15'den %1,2'ye, %10'dan %0,7'ye, %5'den %0,4'e ve %2'den %0,2'ye düşmektedir.

Şekil 4.4'de ve Tablo 4.2'de 3 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO<sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi gösterilmektedir. Genel olarak %2 ve %15 CO<sub>2</sub> giriş değerlerinde 400 ve 600 rpm çözelti akışında absorplanma verimi %90 ve üzerinde oluşmaktadır. Buna karşın %20 giriş CO<sub>2</sub> değerinde absorplanma verimi %75 in üstüne çıkmamıştır. %2 giriş CO<sub>2</sub> değerinde giderimde çözelti miktarındaki 2 kat artış verimi %80'den %90'a çıkarmaktadır. Ancak %5 ile %15 arası giriş CO<sub>2</sub> değerlerinde çözelti debisi 200 den 400 rpm çıkarıldığında verim %65-75'den %90-99'a kadar çıkmaktadır. Yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun olduğu gaz akımlarında yüksek absorpsiyon çözeltisi kullanımı gerekecektir. Şekil 4.4'de de görüleceği

gibi özellikle düşük çözelti miktarlarında (200 rpm) CO<sub>2</sub>'in giriş konsantrasyonu azaldıkça absorblanma verimi artmakta ve verim ile giriş CO<sub>2</sub> değeri arasında yaklaşık 0,89 düzeyinde yüksek korelasyon görülmektedir.



Şekil 4.3: 3 lt/dk hava akış hızında farklı çözelti akışında CO<sub>2</sub> absorpsiyon değişimi.



**Şekil 4.4:** 3 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO<sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi.

**Tablo 4.2:** 3 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin giriş CO<sub>2</sub> değeri ve çözelti miktarı ile değişimi.

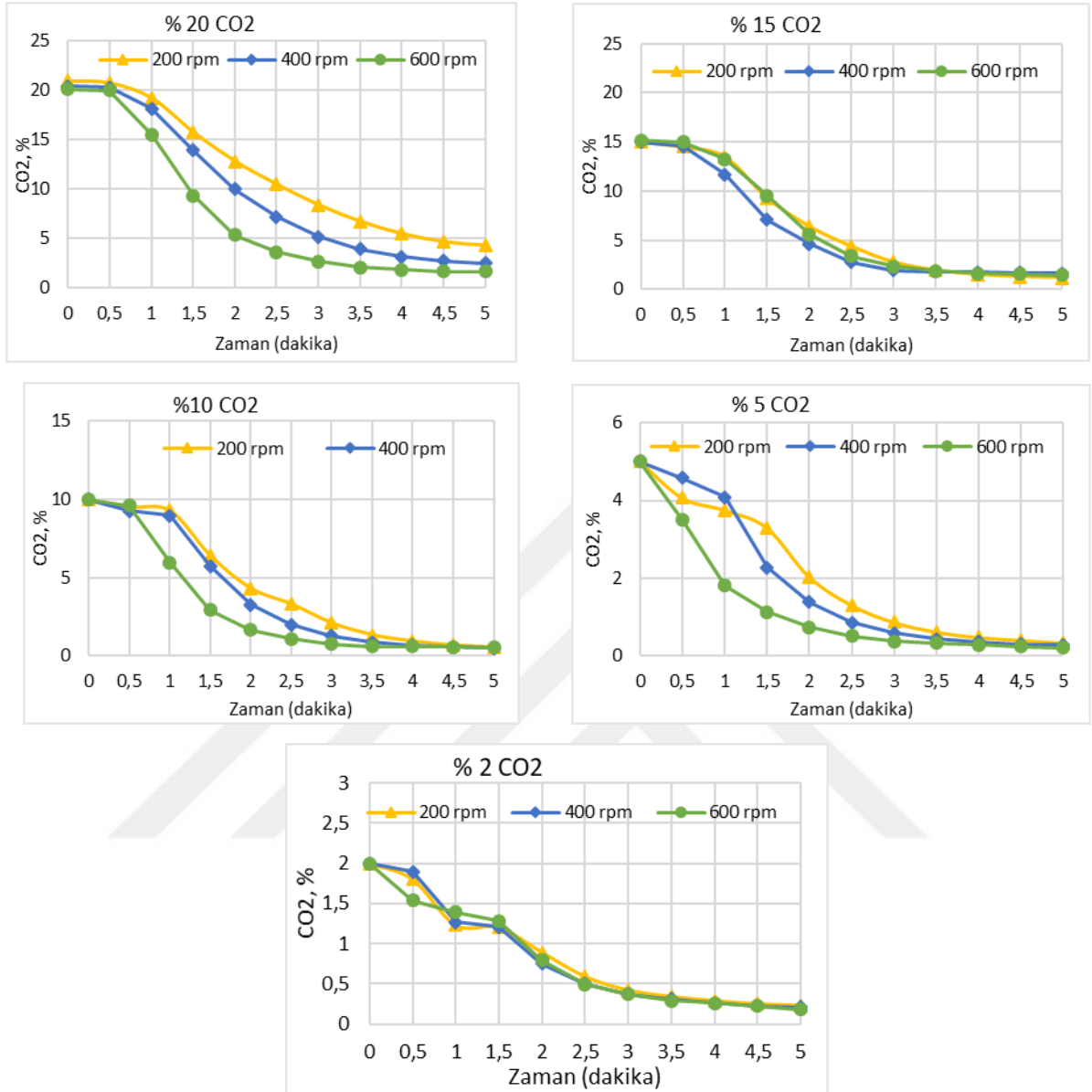
Çözelti Akış hızları	CO <sub>2</sub> Absorplanma Verimi				
	Giriş CO <sub>2</sub> Oranları				
	20%	15%	10%	5%	2%
<b>200</b>	37	67	64	76	81
<b>400</b>	70	99	88	99	91
<b>600</b>	75	92	93	91	92

#### 4.1.3. 1 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemeler

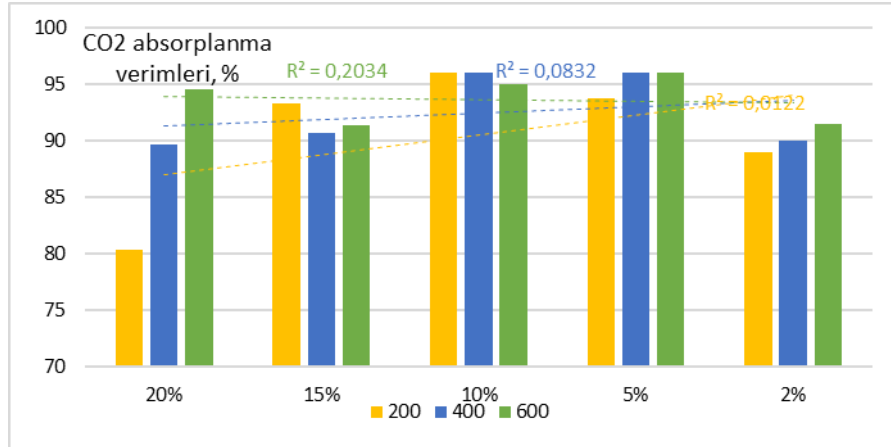
Absorpsiyon kolonunda çalışmaya başlarken CO<sub>2</sub> ve itici gaz olarak kullanılan havanın belirli oranlarda karıştırılmış ve kolon içerisinde belli bir oranda sabitlenmesi sağlanmıştır. CO<sub>2</sub> konsantrasyonu %20, %15, %10, %5 ve %2 içerecek şekilde hava gaz akışı hızı 1 lt/dk ayarlanarak deneysel çalışma yapılmıştır. Absorpsiyon çalışması için çözelti olarak 0,1 N NaOH kullanılmıştır. Bu CO<sub>2</sub> oranlarının giderimindeki verimin takibinde sıvı akış hızının etkisini gözlemlemek için üç farklı sıvı akışı denenmiştir: 200 rpm (0,36 lt/dk), 400 rpm (0,75 lt/dk), 600 rpm (1,2 lt/dk). Farklı CO<sub>2</sub> oranları ve farklı sıvı akışlarında NaOH'in absorpsiyon zamanına bağlı CO<sub>2</sub> tutma verimliliği ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 4.5'de grafiklerle gösterilmiştir.

0,1 N NaOH çözeltisi ile yapılan deneyde CO<sub>2</sub> oranında değişimler AO2020 baca gazı cihazından takip edilmiştir. Giriş konsantrasyonu % 20 ile %2 arasında CO<sub>2</sub> oranına ayarlanarak yapılan deneysel çalışmalarda en düşük çıkış CO<sub>2</sub> değeri 200, 400 ve 600 rpm çözelti akış hızıyla gerçekleştirilen çalışmalarda %0,2 olarak ölçülmüştür. 3 ve 6 lt/dk hava akış hızlarının kullanıldığı denemelerde 200 rpm çözelti akışı ile elde edilen absorplanma değeri 400 ve 600'e kıyasla çok daha düşük ölçülmüştür. Ancak bu farklılık 1 lt/dk hava akış hızı ile yapılan denemelerden belirgin değildir. Yapılan tüm denemelerde absorpsiyon reaksiyonunun sabitlenme süresi 3 ve 6 lt/dk hava hızı ile yapılan denemelerden 1 dk fazla ve 3 dk olduğu görülmektedir. 3. dakikadan sonra çıkış CO<sub>2</sub> seviyesi dengeli düzeyde değişiklik göstermektedir. 600 rpm çözelti akışı ile ve %20 giriş CO<sub>2</sub> değerleri ile yapılan çalışmalarda kolon çıkışında CO<sub>2</sub> seviyesi yaklaşık % 1,6'dır. 200 rpm ile ise %20 girişe karşın %4,3 çıkış CO<sub>2</sub> değeri ölçülmüştür. Ancak %15 ile %2 arasında giriş CO<sub>2</sub> değerlerinin olduğu çalışmalarda çözelti akış hızının çıkıştaki CO<sub>2</sub> seviyesini (%1,5- %0,2) fazla değiştirmedeği gözlenmiştir:

Şekil 4.6'de ve Tablo 4.3'de 1 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO<sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi gösterilmektedir. Genel olarak %2 ve %15 CO<sub>2</sub> giriş değerlerinde tüm çözelti akış hızlarında absorplanma verimi %90 ve üzerinde oluşmaktadır. Buna karşın %20 giriş CO<sub>2</sub> değerinde absorplanma verimi %80-94 arasındadır. %2 ile %15 arasındaki giriş CO<sub>2</sub> değerlerinde çözelti miktarındaki artış verimi değiştirmemiştir. Gaz akımı miktarının azalması ile giriş CO<sub>2</sub> konsantrasyonundan bağımsız olarak çözelti kullanım ihtiyacı azalmaktadır. Şekil 4.6'da de görüleceği gibi verim ile giriş CO<sub>2</sub> değeri arasında anlamlı bir korelasyon yoktur. En düşük çözelti miktarı ile %15'e kadar CO<sub>2</sub> olan düşük baca gazı debili akımlarda %90 ve üzerinde CO<sub>2</sub> tutulumu sağlanabilmektedir.



Şekil 4.5: 1 lt/dk hava akış hızında farklı çözelti akışında CO<sub>2</sub> absorpsiyon değişimi.



**Şekil 4.6:** 1 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin çözelti miktarı ile değişimi ve giriş CO<sub>2</sub> değerinin azalmasına bağlı giderim verimindeki artış eğilimi.

**Tablo 4.3:** 1 lt/dk hava akış hızında elde edilen CO<sub>2</sub> absorpsiyon verimlerinin giriş CO<sub>2</sub> değeri ve çözelti miktarı ile değişimi.

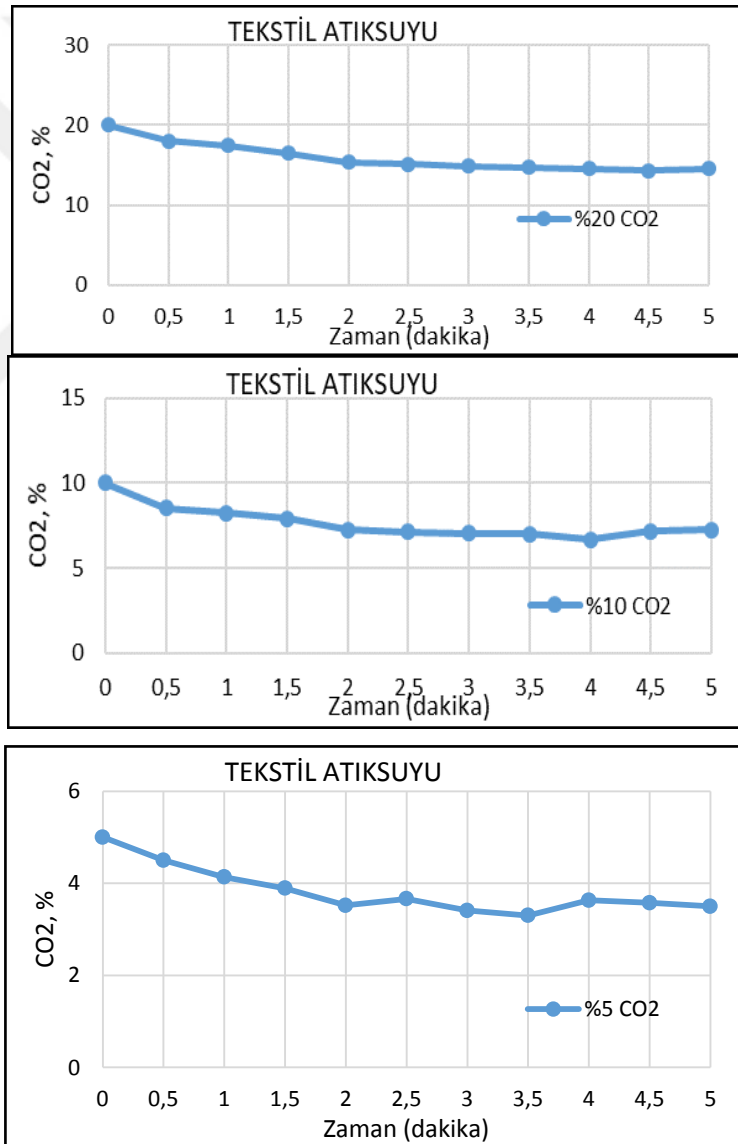
Çözelti Akış hızları	CO <sub>2</sub> Absorplanma Verimi				
	Giriş CO2 Oranları				
	20%	15%	10%	5%	2%
<b>200</b>	80	93	96	94	89
<b>400</b>	89	91	96	96	90
<b>600</b>	94	91	95	96	91

Tablo 4.3’de görüleceği gibi 1 lt/dk gaz akış hızı ile NaOH çözeltisi kullanılarak yapılan deneylerde en yüksek giderim verimi %10 CO<sub>2</sub> ve altında olduğunda ve çözelti akış hızı 400 rpm olduğunda tespit edilmektedir. Mevcut dolgulu kolonda en yüksek giderim bu çalışma koşulları için gerçekleşmektedir.

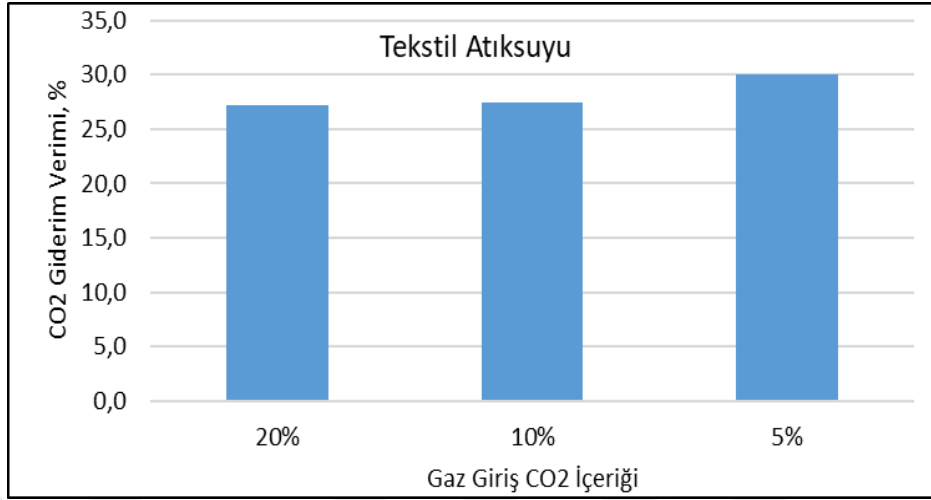
## 4.2. ATIKSULAR İLE ABSORPSİYON ÇALIŞMALARI

### 4.2.1. Tekstil Atıksuyu

Tablo 4.3’de görüleceği gibi 1lt/dk gaz akış hızı ile NaOH çözeltisi kullanılarak yapılan deneylerde en yüksek giderim verimi %10 CO<sub>2</sub> ve altında olduğunda ve çözelti akış hızı 400 rpm olduğunda tespit edilmektedir. Mevcut dolgulu kolonda en yüksek giderim bu çalışma koşulları için gerçekleşmektedir. Tekstil endüstrisinde oluşan atıksular bu çalışma kapsamında kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.7’de tekstil atıksuyu ile yapılan deneylerde zamanla CO<sub>2</sub> değişimi, Şekil 4.8’de ise giderim verimleri gösterilmektedir.

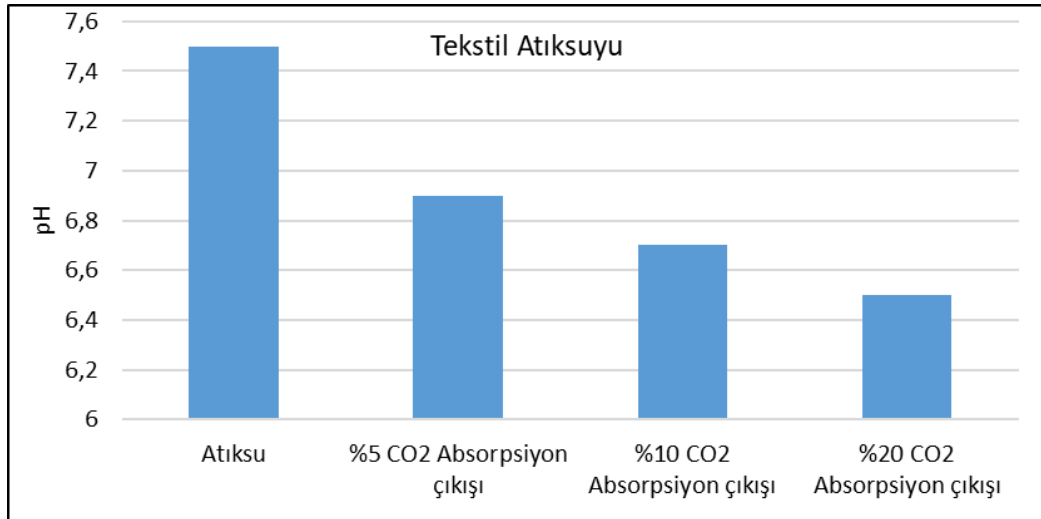


Şekil 4.7: 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm tekstil atıksuyu ile yapılan CO<sub>2</sub> absorpsiyonunun zamanla değişimi.



**Şekil 4.8:** 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm tekstil atıksuyu ile yapılan CO<sub>2</sub> deneyi absorplanma oranları.

Tekstil Atıksuyu ile CO<sub>2</sub> tutulum oranı yaklaşık %27-30 aralığında değişmektedir. Ortam sıcaklığında (20-25°C) yapılan deneyler sonucu tekstil atıksularının bacagazı içindeki CO<sub>2</sub>'i yaklaşık %30 oranında tutabileceği görülmektedir. Şekil 4.9'da görüleceği gibi çalışma sırasında kullanılan tekstil atıksuyunun pH değeri 7.5'dir ve bu değer CO<sub>2</sub> absorpsiyonu sonucu 6,5'e düşmektedir.

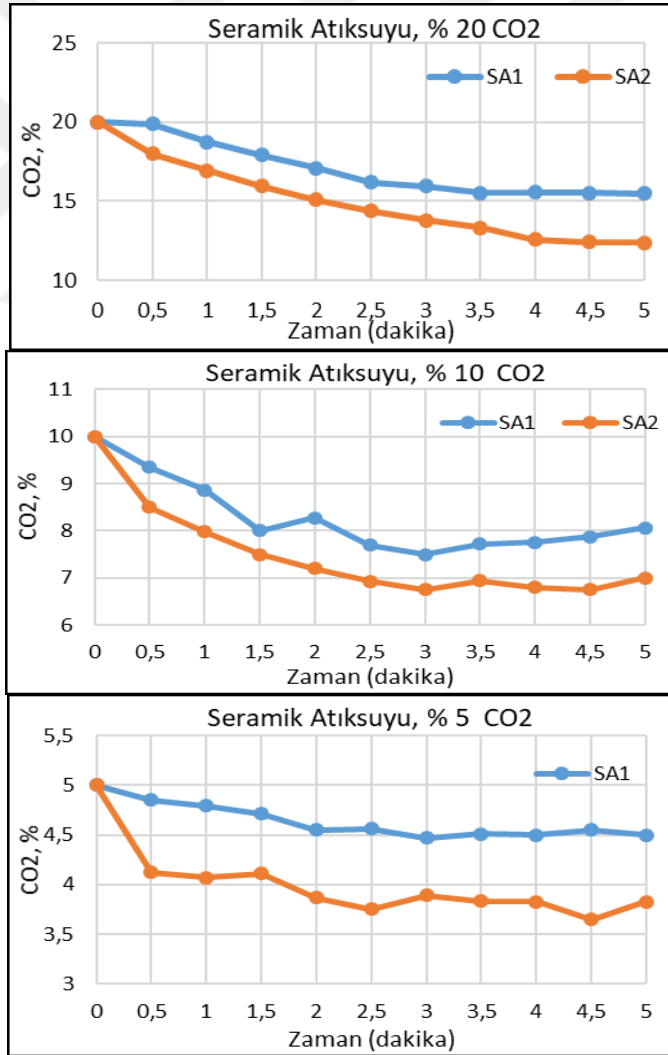


**Şekil 4.9:** Tekstil Atıksuyu ile yapılan denemelerde absorpsiyon sonrası pH değişimi.

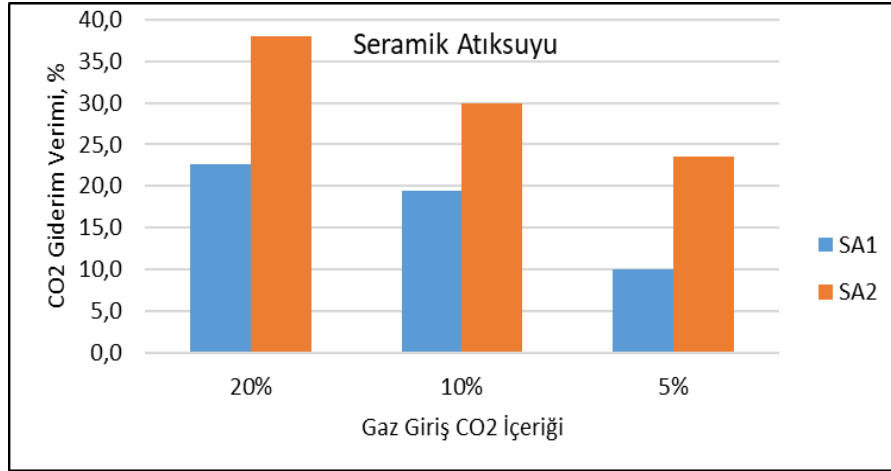


#### 4.2.2. Seramik Atıksuyu

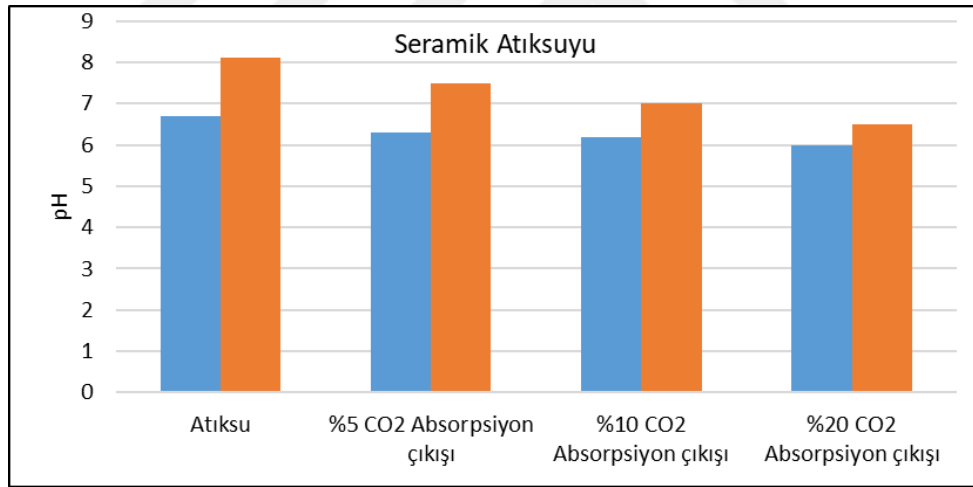
Tablo 4.3’de görüleceği gibi 1L/dk gaz akış hızı ile NaOH çözeltisi kullanılarak yapılan deneylerde en yüksek giderim verimi %10 CO<sub>2</sub> ve altında olduğunda ve çözelti akış hızı 400 rpm olduğunda tespit edilmektedir. Mevcut dolgulu kolonda en yüksek giderim bu çalışma koşulları için gerçekleşmektedir. Seramik endüstrisinde oluşan atıksular bu çalışma kapsamında kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Şekil 4.10’da seramik atıksuyu ile yapılan deneylerde zamanla CO<sub>2</sub> değişimi, Şekil 4.11’de ise giderim verimleri gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında vitriye üretimi yapan iki farklı seramik sanayinden atıksu temin edilmiştir. SA1 olarak kodlanan seramik sanayiine ait atıksuyun pH değeri 6,7, SA2 olarak kodlanan seramik sanayinin atıksuyu pH değeri ise 8,1’dir.



**Şekil 4.10:** 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm seramik atıksuyu ile yapılan CO<sub>2</sub> absorpsiyonunun zamanla değişimi.



**Şekil 4.11:** 1 lt/dk gaz akış hızında ve 400 rpm seramik atıksuyu ile yapılan CO<sub>2</sub> deneyi absorplanma oranları.



**Şekil 4.12:** Seramik Atıksuyu ile yapılan denemelerde absorpsiyon sonrası pH değişimi.

Seramik Atıksuyu ile CO<sub>2</sub> tutulum oranı yaklaşık %10-38 aralığında değişmektedir. Ortam sıcaklığında (20-25°C) yapılan deneyler sonucu tekstil atıksularının bacagazı içindeki CO<sub>2</sub>'i yaklaşık %30-38 oranında tutabileceği görülmektedir. Şekil 4.12'de görüleceği gibi çalışma sırasında kullanılan iki farklı seramik atıksuyununun pH değerleri 8,1 ve 6,7'dir. pH değeri yüksek olan atıksu kısmen daha alkali özellik göstermektedir ve CO<sub>2</sub> tutulumu 6,7 olan atıksuya kıyasla daha fazla olmuştur.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında endüstriyel atıksuların baca gazı CO<sub>2</sub> tutulumunda kullanımının araştırılması konulu bir deneysel çalışma yürütülmüştür. Bu amaç laboratuvar ortamında bulunan 1 m yüksekliğinde 10 cm çapında dolgu malzemesi içerikli bir absorpsiyon kolonu kullanılmıştır. Sentetik olarak hazırlanan gaz karışımı hava kompresörü ve CO<sub>2</sub> gaz regülatörü vasıtası ile %20, %15, %10, %5 ve %2 olmak üzere ayarlanmıştır. 200, 400 ve 600 rpm çözelti akış hızlarında denemeler yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında NaOH çözeltisi kullanılarak mevcut deney düzeneğindeki en iyi CO<sub>2</sub> absorplama koşulları belirlenmiştir. Sonrasında ise iki farklı sanayi atıksuyu (seramik ve tekstil) kullanılarak gerçek atıksular ile en optimum koşullarda denemeler yapılmıştır.

NaOH kullanılarak yapılan denemeler sonucunda en yüksek CO<sub>2</sub> absorpsiyon sonucu 1 L/dk gaz akış hızında ve 400 rpm çözelti hızında tespit edilmiştir. Bu koşullarda CO<sub>2</sub> giderim verimi %15-5 CO<sub>2</sub> giriş değerlerinde %95 ve üzerindedir. CO<sub>2</sub> absorpsiyonunda NaOH çözeltisi 1940'lı yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir. Birçok araştırmacı tarafından yüksek absorpsiyon verimliliği ve düşük maliyetli olması açısından ilgi görmüştür. NaOH'in CO<sub>2</sub> absorplama kapasitesi en fazla kullanılan solvent olan MEA çözeltisine göre iki kat daha fazladır (Wee, J., 2012). NaOH kullanımı ile çözeltide oluşan ürün çoğunlukla NaHCO<sub>3</sub>'dür ve CO<sub>2</sub> geri kazanılamamaktadır. CO<sub>2</sub>'in geri kazanılabilir olması açısından MEA ve Amonyak çözeltisi kullanımı ise avantajlıdır ancak yüksek enerji gerektiren maliyetli proseslerdir.

Gerçek atıksular kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda ise ortalama %30-35 CO<sub>2</sub> tutulma verimlerine ulaşılabilmektedir. Bu absorpsiyon verimi düşük bir sayı olmasına karşın toplamda CO<sub>2</sub> emisyonunda önemli azalma sağlayabilecek ve ayrıca atıksu arıtma için nötralizasyon proseslerinde asit kullanımı azalacak ve en önemlisi atıksuyun tekrar tesis içinde kullanımı sağlanarak iyi bir entegre atık yönetimi yapılmış olacaktır.

Gomes ve diğ., (2016) yaptıkları çalışmada yılda iki milyar ton alkali atığın endüstriyel proseslerden oluşmakta ve çevreye atılmakta olduğunu göstermişlerdir. Guar ve diğ., (2009) yaptığı çalışmada alkali atıksu üreten tesisler: meşubat, süt, et üretimi, pişirme, elektroliz kaplama, selüloz, deri, tekstil, imento ve beton, petrokimya, seramik vb. endüstrileri olduğunu sıralamışlardır. Tüm bu endüstriyel tesislerde CO<sub>2</sub> üretimi kaçınılmazdır. Sera Gazlarının azaltılması için en pratik ve hızlı çözüm kaynağında tutulma tekniklerinin uygulanması olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Alver, Şahin, Ü., Onat, B., Pala, A.İ., Yurdakul, B., Mutlu, B., 2012, "The Comprehensive study of wet flue gas desulphurization with dyeing wastewater", *International Conference on Recycling and Reuse*, 4-5 Haziran 2012 Türkiye, İstanbul Üniversitesi.
- Apak, G., Ubay, B., 2007, Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ocak 2007, www.rituelajans.com, Ankara.
- BMİDÇS, 2003, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 18 Aralık 2003 tarih ve 25320 sayılı Resmi gazete.
- Boot-Handford, M.E., 2014, Carbon capture and storage update, *Energy and Environmental Science*, 7, 130-189.
- Cousins, A., 2011, A survey of process flow sheet modifications for energy efficient CO<sub>2</sub> capture from flue gases using chemical absorption, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 5, 605-619.
- Cullinane, J., 2005, *Thermodynamics and kinetics of aqueous piperazine with potassium carbonate for carbon dioxide absorption*, The University of Texas at Austin, Austin.
- Devries, N., 2014, *CO<sub>2</sub> Absorption Into Concentrated Carbonate Solutions With Promoters At Elevated Temperatures*, Thesis, University of Illinois at Urbana - champaign, Urbana.
- Diao, Y.F., 2004, Experimental study on capturing CO<sub>2</sub> greenhouse gas by ammonia scrubbing, *Energy Conversion and Management*, 45, 2283-2296.
- Dubois, L., Thomas D., 2010, Comparison of Various Alkaline Solutions for H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> - Selective Absorption Applied to Biogas Purification, *Chemical Engineering Technology*, 33, 1601-1609.
- Galvez- Martoz J.L., 2016, Environmental assessment of aqueous alkaline absorption of carbon dioxide and its use to produce a construction material, *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 129-141.
- Gaur, A., 2009, Characteristics of Alkaline Wastewater Neutralization for CO<sub>2</sub> Capture from Landfill Gas (LFG), *Energy Fuels*, 23, 5467-5473.
- Hardy, J.T., 2003, *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*, John Wiley & Sons Ltd., England.
- Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C.A., 2001, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Pres, Cambridge, United Kingdom.

- İdep Proje Ekibi, 2011, İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Temmuz 2011 Ankara, Odak Ofset, ISBN: 978-605-393-09-9
- Kadioğlu, M., 2001, *Küresel İklim Değişimi ve Türkiye*, Güncel Yayıncılık Ltd.Şti. İstanbul.
- Kang, D., 2016, Carbon dioxide utilization using a pretreated brine solution at normal temperature and pressure, *Chemical Engineering Journal*, 284, 1270-1278.
- Kenarsari, S.D., 2013, Review of recent advances in carbon dioxide separation and capture, *RSC Advance*, 3, 22739-22773.
- Kuntz, J., 2009, Mass-transfer efficiency of a spray column for CO<sub>2</sub> capture by MEA, *Energy Procedia*, 1, 205-209.
- Metcalf, S, Derwent D., 2005, *Atmospheric pollution and environmental change*, Editor: Matthews J., Oxford University Press Inc., New York.
- MFA, 2017, Paris Antlaşması, <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>, T.C. Dışişleri Bakanlığı, [Ziyaret Tarihi: 08.09.2018].
- Öztürk, K., 2002, Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 47-65.
- Pan, S.Y., 2012, CO<sub>2</sub> Capture by Accelerated Carbonation of Alkaline Wastes: A Review on Its Principles and Applications, *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 770-791.
- Peng, Y., 2012, dvance in Post Combustion CO<sub>2</sub> Capture with Alkaline Solution: A Brief Review, *Energy Procedia*, 14, 1515-1522.
- Seinfeld, JH, Pandis SN, 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics; From Air Pollution to Climate Change*, Chapter 23: Climate and Chemical Composition of the Atmosphere, John Wiley & Sons Ltd., England.
- Shen, S., 2016, Kinetics of CO<sub>2</sub> Absorption into Aqueous Basic Amino Acid Salt: Potassium Salt of Lysine Solution, *Environmental Science Technology*, 50, 2054-2063.
- Sreedhar, I., Nahar T., 2017, Carbon capture by absorption-Path covered and ahead, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1080-1107.
- Sera Gazı Emisyon Takibi Hakkında Yönetmelik, 2014, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/05/20140517-3.htm>, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete, [Ziyaret Tarihi: 08.09.2018].
- Solomon, S., D. Qin, M.Manning, Z. Chen, M.Marquis, K.B. Averty, M.Tignor and H.L. Miller, 2007, The Physical Science Basis. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Pres, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, ISBN 978-0-521-88009.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2007, Ulusal SG Emisyonları Envanter Raporu, Ankara

- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2014, Ulusal SG Emisyonları Envanter Raporu, Ankara
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), (2009) [http://unfccc.int/files/ghg\\_emissions\\_data/application/pdf/tur\\_ghg\\_profile.pdf](http://unfccc.int/files/ghg_emissions_data/application/pdf/tur_ghg_profile.pdf)
- Uysal, D., 2012, Dolgulu kolonda Amonyak Çözeltisine Karbon Dioksitin Absorpsiyonu, *Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul.
- Walker, G., King S.D., 2008, *The hot topic-how to tackle global warming and still keep the lights on*. Bloomsbury Publishing, Great Britain.
- Wang, S., 2009, Absorption of carbon dioxide in aqueous ammonia, *Energy Procedia*, 1, 933-940.
- Wang, H., 2016, Experimental and numerical analysis on impacts of significant factors on carbon dioxide absorption efficiency in the carbon solidification process, *Ocean Engineering*, 113, 133-143.
- Weart, S.R., 2008, *The discovery of global warming*, Harvard University Press, Cambridge.
- Wee, J.H., 2013, Carbon dioxide capture capacity of sodium hydroxide aqueous solution, *Journal of Environmental Management*, 114, 512-519.
- Yeh, J.T., 2005, Semi-batch absorption and regeneration studies for CO<sub>2</sub> capture bu aqueous ammonia, *Fuel Processing Technology*, 86, 1533-154.

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ayşegül Serencem GÖLCÜK
Doğum Yeri	Altındağ/ANKARA
Doğum Tarihi	21.10.1990
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0538 271 10 00
E-Posta Adresi	aysegultehci@gmail.com
Web Adresi	-



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	22.06.2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği