ENERJİ ARAŞTIRMALARI

EDİTÖR
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ

YAZARLAR
Prof. Dr. Elif ORHAN
Doç. Dr. Atilla KARATAŞ
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ
Dr. Sadık ZUHUR
Dr. Yıldıray PALABIYIK
Öğr. Gör. Gökhan YALÇIN
Yük. Müh. Adil ÖZDEMİR
Doğukan YAZICI

İKSAD
Publishing House

ENERJİ ARAŞTIRMALARI

EDİTÖR

Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ

YAZARLAR

Prof. Dr. Elif ORHAN
Doç. Dr. Atilla KARATAŞ
Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ
Dr. Sadık ZUHUR
Dr. Yıldıray PALABIYIK
Öğr. Gör. Gökhan YALÇIN
Yük. Müh. Adil ÖZDEMİR
Doğukan YAZICI

İKSAD
Publishing House

Copyright © 2020 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2020©

ISBN: 978-625-7897-46-4
Cover Design: İbrahim KAYA
June / 2020
Ankara / Turkey
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN

ÖNSÖZ

Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ **1**

BÖLÜM 1

ISI TRANSFER TEKNİKLERİNE GÖRE FOTOVOLTAİK TERMAL (FVT) SİSTEMLER

Dr. Sadık ZUHUR **3**

GİRİŞ 5

1. FOTOVOLTAİK TERMAL (FVT) SİSTEMLER..... 6

2. SONUÇ 32

KAYNAKÇA 25

BÖLÜM 2

PNÖMATİK SİSTEMLERE GİRİŞ

Öğr. Gör. Gökhan YALÇIN, Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ..... **29**

GİRİŞ 31

1. PNÖMATİĞİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARI 32

2. PNÖMATİK SİSTEMLERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI..... 33

3. PNÖMATİK DEVRE ELEMANLARI 34

4. PNÖMATİK'TE KULLANILAN STANDART SEMBOLLER 45

EKLER 47

KAYNAKÇA 52

BÖLÜM 3

TÜRKİYE DENİZLERİNİN PETROL VE DOĞALGAZ POTANSİYELİ, GELECEK HİDROKARBON ARAMA FAALİYETLERİ İÇİN HEDEF ALANLAR VE SONDAJ LOKASYONLARI

Adil ÖZDEMİR, Yıldıray PALABIYIK, Atilla KARATAŞ **53**

1. GİRİŞ 55

2. AKDENİZ'İN HİDROKARBON POTANSİYELİ VE ARAMA HEDEFLERİ 56

3. KARADENİZ'İN HİDROKARBON POTANSİYELİ VE ARAMA HEDEFLERİ .. 70

4. MARMARA DENİZİ'NİN HİDROKARBON POTANSİYELİ VE ARAMA HEDEFLERİ 91

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 108

KAYNAKÇA 111

BÖLÜM 4

BİLİMSEL ÇALIŞMALARDA VE TEKNOLOJİK UYGULAMALARDA GRAFEN

Prof. Dr. Elif ORHAN

Doğukan YAZICI..... **125**

GİRİŞ 126

1. GRAFENİN YAPISI 129

2. GRAFENİN OPTİK ÖZELLİKLERİ 131

3. GRAFEN VE GRAFEN TÜREVLERİNİN SENTEZLENME METODLARI..... 135

4. GRAFENİN KARAKTERİZASYONU..... 145

5. GRAFEN SENTEZ METOTLARININ POTANSİYEL ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI 154

6. GRAFEN İÇİN TEKNOLOJİK YOL HARİTASI 156

7. SONUÇ 161

KAYNAKÇA 163

ÖNSÖZ

Enerji, vazgeçemediğimiz bağımlılığımız, engel tanımadan ulaşmak istediğimiz eksiğimiz, paylaşmayı en son isteyeceğimiz ihtiyacımız...

Ekonomik, askeri, sağlık ve sosyal açıdan bakıldığında enerji; global yaşam standartlarının ve ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin belirlenmesinde özellikle beden gücünden makine gücüne doğru evrimleşme sonrası gidişatı belirleyici en önemli unsur olmuştur. Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile enerjiye duyulan ihtiyacın, miktarı sınırlı olan alışılageldik fosil yakıt kullanımı ile karşılanabilmesi haricinde dünyada hatta dünya dışında başka kaynaklarla karşılanabilmesinin yolları akademik camianın yoğun ilgisini çekmekte, dolayısıyla bu alanda gerçekleştirilen araştırmaların gerekliliği günümüzde sürekli gündemde tutulmaktadır. Sınırsız (yenilenebilir) enerji kaynaklarının kullanıldığı sosyal veya endüstriyel ortam uygulamalarında bile temiz, sürdürülebilir, güvenli ve verimli kullanımın sürekli iyileştirilmesi, enerji ile ilgilenen tüm araştırmacıların hedefleri arasındadır.

Güncel gündemi yakalamak ve yapılagelen araştırmalara katkı sağlamak maksadıyla oluşturulan bu kitaba ait bölümler, enerji elde edinimi ve günümüz endüstriyel uygulamalarında enerjinin kullanımına yönelik çalışmalardan oluşmaktadır. Teknolojik gelişimi ve bu teknolojilerin ülkemizde uygulanabilirliğine yönelik farkındalık oluşturmak için yol gösterici mahiyette olduğunu düşündüğüm her bir bölümün, özellikle akademik alanda ilgi uyandıracağı ümidiyle saygılarımı sunarım.

Doç. Dr. Süleyman Neşeli

BÖLÜM 1

ISI TRANSFER TEKNİKLERİNE GÖRE FOTOVOLTAİK TERMAL (FVT) SİSTEMLER

Dr. Sadık ZUHUR[1]

[1] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Kastamonu, Türkiye. szuhur@hotmail.com

GİRİŞ

Dünyamızdaki enerji ihtiyacı; teknolojideki gelişmeler, sanayileşme ve dünya nüfusunun hızla artması gibi nedenlerle sürekli olarak artmaktadır (Zuhur, Ceylan, & Ergün, 2019). Enerji; sanayide, tarımda, tıpta, ulaşımda, konutlarda vb. hemen hemen her sektörde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır ve bu nedenle 2035 yılı itibariyle dünya enerji tüketiminin %30'dan daha fazla artacağı öngörülmektedir (Sathe & Dhoble, 2017).

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtların çok fazla kullanımı neticesinde ekosisteme zarar veren kirletici gaz emisyonu açığa çıkmaktadır. Bu durumun sonucu olarak küresel ısınma insanların ve diğer canlıların hayatını tehdit etmektedir. Öte yandan, yakın gelecekte dünyamızda kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtların tükeneceği öngörülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji teknolojileri üzerine çalışmalar yapılması önem arz etmektedir. Enerjinin kullanılabilirliği ve erişilebilirliği bireyler açısından önemli olduğu kadar ülkelerin de gelişmesi ve büyümesi açısından çok önemlidir. Enerji krizleri birçok ülkenin ekonomik olarak büyümesini engellemektedir. Bu problemlerin çözülebilmesinin en önemli yollarından birisi fosil yakıtların yerine daha fazla yenilenebilir enerji kullanımıdır (Jia, Alva, & Fang, 2019).

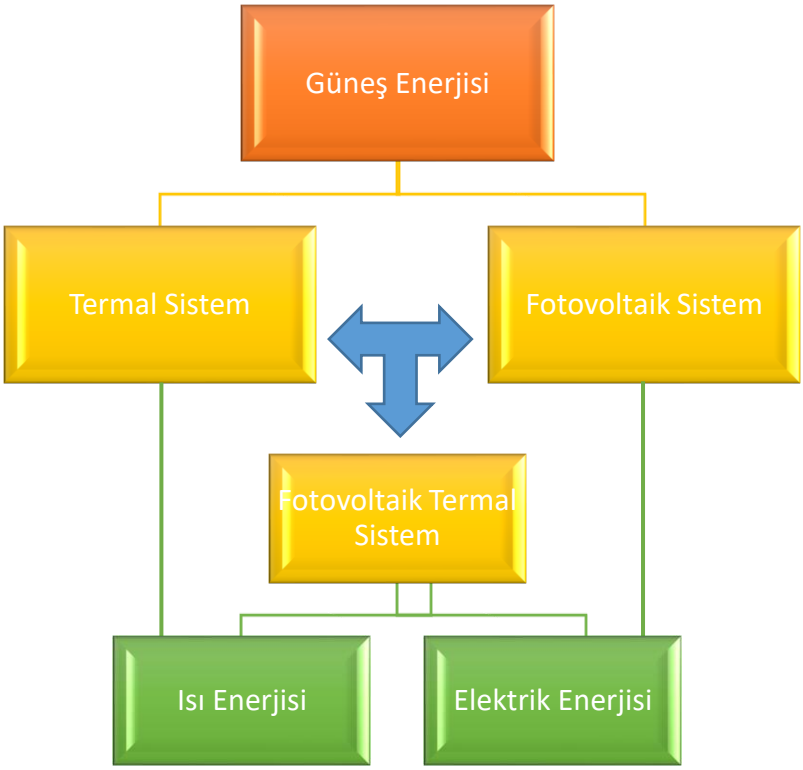
Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi en umut verici sürdürülebilir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Güneş enerjisi dünya üzerinde rahatça erişilebilen, çevre dostu bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi geleneksel enerji kaynaklarının tükenmesini önleyebileceği gibi bu kaynakların çevreye zarar vermesinin önüne geçebilir. Bu nedenle güneş enerjisi kullanan sistemler mevcut enerji taleplerini karşılayacağı gibi ekosistemdeki dengeyi de koruyabilir. Güneş enerjisi temiz olması, erişim kolaylığı ve bol miktarda bulunması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları arasında en verimli seçeneklerden biridir. Güneş enerjisi termal ya da elektrik enerjisine dönüştürülebileceği gibi her ikisine de dönüştürülebilir.

1. FOTOVOLTAİK TERMAL (FVT) SİSTEMLER

Güneş enerjisinden yaygın olarak iki teknoloji kullanılarak faydalanılmaktadır. Bunlardan birincisi güneş enerjisini termal enerjiye dönüştüren solar termal sistemler, ikincisi ise güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik (FV) sistemlerdir. Bu teknolojilere ek olarak son yıllarda gelişmekte olan bir başka teknoloji ise bu iki teknolojiyi bir araya getiren aynı anda hem ısı hem de elektrik enerjisi üretebilen FVT sistemlerdir. Güneş enerjisini kullanan teknolojilerin şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Solar termal sistemler, güneş radyasyonunu taşıyıcı ortam ve/veya hareketli akışkan vasıtasıyla ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemlerin ana elemanı güneş kolektörleridir. Güneş kolektörü gelen

güneş radyasyonunu emer ve bu enerjiyi ısı enerjisine çevirir. Açığa çıkan ısı bir akışkana (genellikle hava ve su) yararlı uygulamalarda kullanılmak üzere transfer edilir. En gelişmiş güneş enerjisi teknolojilerinden biri olan termal güneş enerjisi sistemleri uygun maliyetle ticari olarak elde edilebilmektedir. Genellikle bu sistemler tarımsal ürünlerin kurutulması amacıyla hava kurutucusu/ısıtıcısı ve/veya binaların iklimlendirilmesinde yardımcı ısıtıcılarla birlikte ısıtma/soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır (Tyagi, Kaushik, & Tyagi, 2012).



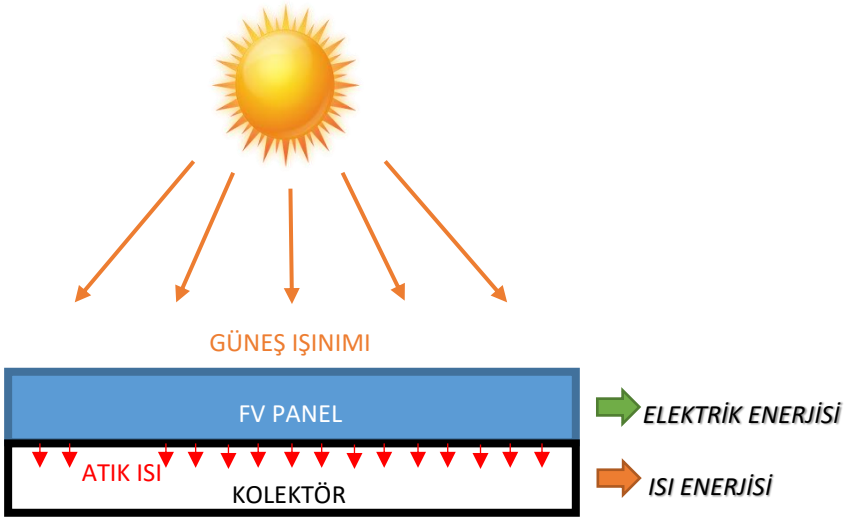
Şekil 1: Güneş enerjisini kullanan sistemlerin şeması

FV sistemler ise güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Fotoelektrik etkiyi kullanarak güneş ışığını elektriğe dönüştüren enerji dönüşüm cihazlarına güneş hücresi adı verilir. 1954 yılında Bell Telefon Laboratuvarlarında (Bell Telephone Laboratories) araştırmacılar bir p-n eklemi şeklindeki güneş hücresini kullanarak %6 verimle ilk kez güneş ışığını elektrik enerjisine çevirdiler. Bir FV sistem güneş hücreleri ve yardımcı bileşenlerden oluşur. Bu sistemler güneş radyasyonunu doğrudan elektriğe çevirirler. Günümüzde, FV hücrelerin genel olarak güneş enerjisini dönüştürmedeki verimliliği %15 ila %20 arasında değişmektedir (Kumar, Baredar, & Qureshi, 2015).

Wolf 1970'li yılların ortalarında ilk kez solar termal sistemi ve FV sistemi bir araya getirmiştir (Wolf, 1976). Birleştirilmiş bu yeni sistem tek bir sistem halinde eş zamanlı olarak ısı ve elektrik üretebilmekteydi. Bu iki sistemi birbirine entegre etmekteki asıl amaç fotovoltaiklerin çalışması esnasında oluşan atık ısıyı uzaklaştırarak elektriksel verimi artırmaktı. Bu birleştirilmiş sistem FVT sistem olarak bilinir (Sathe & Dhoble, 2017). Şekil 2 FVT sistemin basit bir tasarımını göstermektedir.

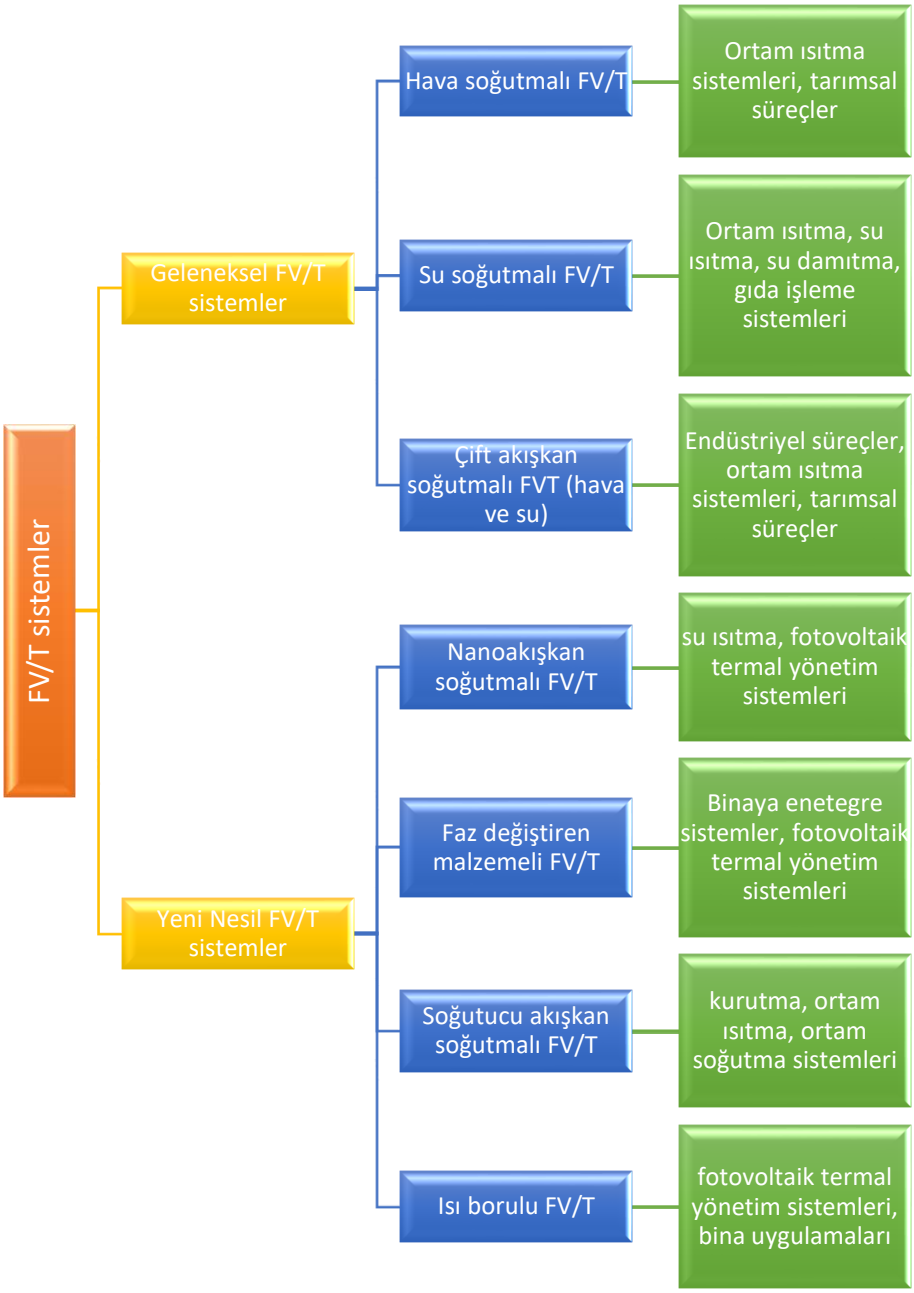
FVT sistemlerde FV modülden ısı çeşitli tekniklerle uzaklaştırılır. Uzaklaştırılan ısı termal sistemlerde ayrıca kullanılır. FV modüllerden ısıyı uzaklaştırmak için ilk çalışmalarda su ve hava yaygın olarak kullanılmıştır. FV hücreden ısıyı uzaklaştırmak başlangıçta FV hücrenin elektriksel verimini yükseltmeye yönelik bir çalışma olsa da aslında atık ısının termal sistemler tarafından kullanılması sonucunda

güneş enerjisinden daha fazla yararlanılmış ve bir bütün olarak FVT sistemin verimi artmıştır. (Joshi & Dhoble, 2018). FVT sistemlerin farklı ısı transfer tekniklerine göre sınıflandırılması ve bu sistemlerin entegre olduğu yapılar Şekil 3'te sunulmuştur. FVT sistemler soğurucu yüzey tasarımı ve akışkanın akış şekline (doğal dolaşım, zorlanmış dolaşım gibi…) göre de sınıflandırılabilmektedir.



Şekil 2: FVT sistem tasarımı.

FVT sistemler aynı anda elektrik ve düşük seviyede termal enerji üretirler. Bu sistemlerden elde edilen ısı enerjisi ortam ısıtmada, endüstriyel süreçlerde, endüstride ve konutlarda kullanılan akışkanların ön ısıtmasında, ürünlerin kurutulmasında vb. pek çok uygulamada kullanılmaktadır. FVT sistemler FV ve solar termal sistemlerin ayrı ayrı



Şekil 3: FV/T sistemlerin ısı transfer tekniklerine göre sınıflandırılması.

kurulumuna göre daha az yer kaplamaktadır ve ayrıca FV ve solar termal sistemlerin ayrı ayrı kurulumuyla neredeyse aynı kurulum maliyetine sahiptir. FVT sistemler birim alan başına düşük üretim ve kurulum maliyetine sahiptir ve bu yüzden bina, hastane ve endüstri gibi alan sıkıntısı olan yerlerde kullanımı anlamlı hale gelmektedir. FVT sistemlerde FV panel sürekli olarak düşük sıcaklıkta tutulduğu için yüksek verim elde edilir ve aynı FV paneli oluşturan Si hücrelere sıcaklığın vereceği zarar önlendiğinden panel ömrü uzun olur.

FVT sistemler farklı ısı transfer tekniklerine göre geleneksel FVT sistemler ve yeni nesil FVT sistemler olarak ikiye ayrılabilir.

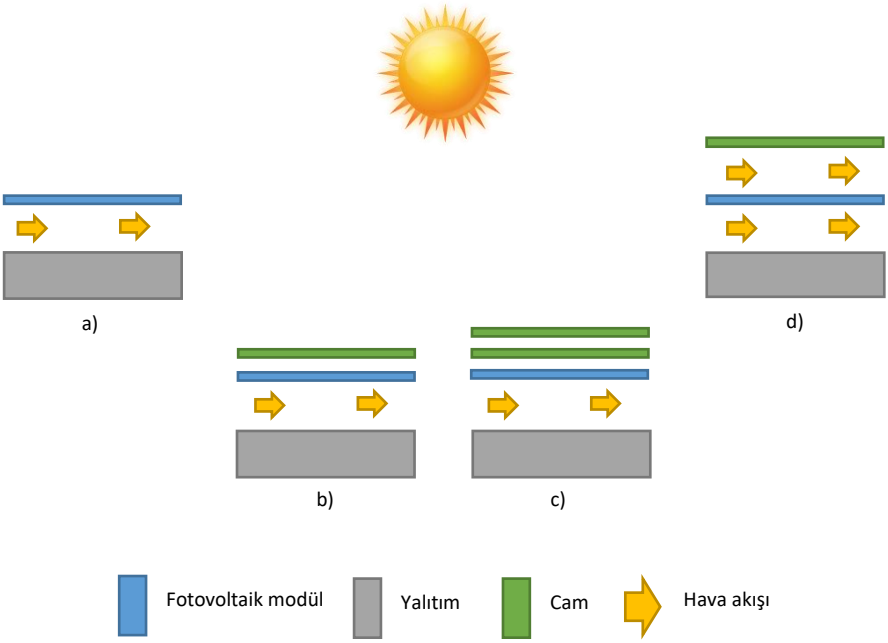
1.1. Geleneksel FVT Sistemler

FVT sistemlerin ısı transfer akışkanına bağlı olarak farklı uygulamaları vardır. Sistemlerde kullanılan akışkanlar sistemin performansını etkilemektedir. Geleneksel olarak, FVT sistemlerde termal akışkan olarak hava ve su kullanılmaktadır. Son yıllarda geleneksel FVT sistemlerin optimizasyonu üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada geleneksel FVT sistemler hava soğutmalı, su soğutmalı ve çift akışkan soğutmalı olmak üzere üç kısımda ele alınmıştır.

1.1.1. Hava Soğutmalı FVT Sistemler

Hava Soğutmalı FVT sistemlerde hava, FV modülden ısıyı uzaklaştırmak amacıyla kullanılır. Modülden ısının uzaklaşması sonucunda modülün aşırı ısınması önlenir ve böylelikle modülün

elektriksel verimi artar. Öte yandan FVT sistemlerde atık ısının değerlendirilmesi durumunda sistemin termal verimi de yükselir. Son zamanlarda geliştirilen hava soğutmalı FVT sistemlerin verimliliği (FV + termal) genel olarak %20 ila %40 (bazı uygulamalarda daha fazla) arasında değişmektedir. Silisyum güneş hücrelerinin FVT sistemlerin verimine katkısı %10-12 iken verime etki eden diğer kısım termal enerji kaynaklıdır (Al-Waeli, Sopiana, Kazem, & Chaichan, 2017).



Şekil 4: Hava soğutmalı FVT sistemlerin farklı şekillerinin şematik gösterimi (Zhang, Zhao, Smith, Xu, & Yu, 2012). (a) Camsız hava soğutmalı FVT kolektör. (b) Tek camlı hava soğutmalı FVT kolektör. (c) Çift camlı hava soğutmalı FVT kolektör. (d) Çift geçişli camlı FVT kolektör.

Hava soğutmalı FVT sistemlerde hava, su soğutmalı FVT sistemlerde su ısı transfer akışkanı olarak kullanılmaktadır. Su soğutmalı FVT

sistemler suyun havadan daha yüksek termofiziksel özelliklere sahip olması nedeniyle hava soğutmalı FVT sistemlerden daha verimlidir. Ancak, hava soğutmalı FVT sistemler düşük yapım (minimum malzeme kullanımı) ve işletme maliyetine sahip olması nedeniyle tercih edilmektedir. Şekil 4 farklı tiplerlerdeki hava soğutmalı FVT kolektörleri göstermektedir (Kumar, Baredar, & Qureshi, 2015).

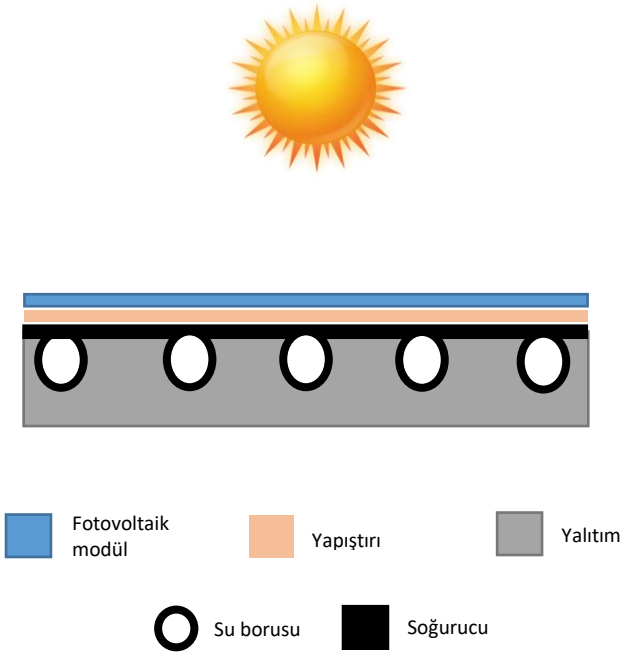
Hava soğutmalı FVT sistemler ısıtma, kurutma, ortam ısıtma ve havalandırma gibi amaçlarla birçok alanda kullanılmaktadır.

1.1.2. Su Soğutmalı FVT Sistemler

Son yıllarda, FVT sistemlerde ısı transfer akışkanı olarak havadan çok sıvılar kullanılmaktadır ve en yaygın kullanılan sıvı ise sudur. Su soğutma özellikleri, ulaşılabilirliği ve düşük fiyatı nedeniyle FVT sistemlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Tyagi, Kaushik, & Tyagi, 2012).

Su soğutmalı FVT sistemler aynı anda elektrik ve sıcak su üretebilen sistemlerdir. Su soğutmalı FVT kolektör düz yüzeyli güneş kolektörlerindekine benzer parçalardan oluşmaktadır. Ancak FVT kolektörlerde termal güneş kolektörlerinden farklı olarak kolektörün üstündeki şeffaf cam yerine yüzeye FV hücreler yerleştirilir. FV hücreler termal enerjiyi kolaylıkla taşıyan bir yapıştırıcı ile kolektörün üzerine yapıştırılır. Kolektörün FV hücrelerin altına yerleştirilmesinin temel sebebi FV hücrelerde artan ısıyı emerek FV hücrelerin sıcaklığını düşürmek ve verimini artırmaktır. Aynı zamanda FV

hücrelerden emilen bu atık ısı kolektördeki suyu ısıtır ve elde edilen



ısı; su ısıtma, ortam ısıtma gibi farklı amaçlarla kullanılabilir.

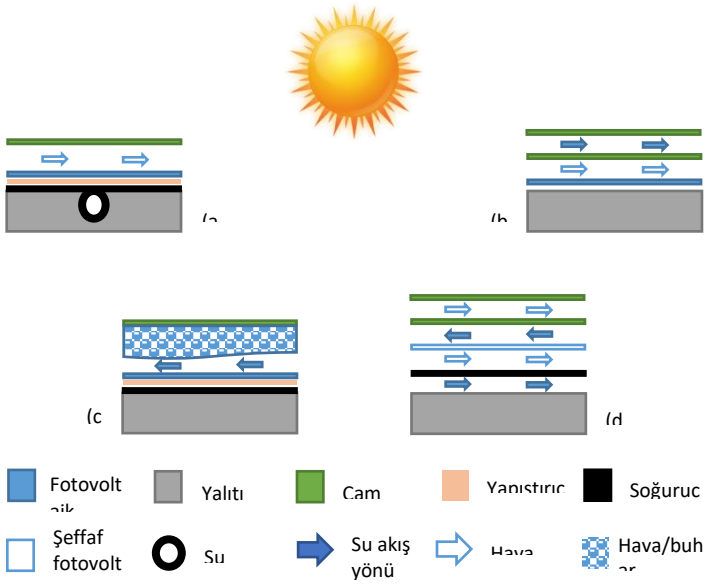
Şekil 5: Su soğutmalı FVT sistemin şematik gösterimi

Hava soğutmalı FVT sistemlerin bakım maliyeti su soğutmalı FVT sistemlere göre daha düşüktür, fakat çalışma sıvısı olarak su kullanan FVT sistemler daha kararlı termal performansa sahiptir (Kroiß, ve diğerleri, 2014). Su soğutmalı FVT sistemler suyun havadan daha fazla ısı kapasitesine sahip olması nedeniyle yüksek verime sahiptir ve bu yüzden hava soğutmalı FVT sistemlere göre daha popülerdir

(Herrando, Markides, & Hellgardt, 2014). Şekil 5 su soğutmalı FVT sistemi şematik olarak göstermektedir.

1.1.3. Çift Akışkan Soğutmalı FVT Sistemler

Çift akışkan soğutmalı FVT sistemler aynı anda iki akışkan kullanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine ve termal enerjiye (sıcak hava ve su) dönüştürmek için tasarlanmıştır. Bu sistemlerde genellikle su ve hava birlikte kullanılır. FV panellerde oluşan ısı kolektör içerisinden geçen hava ve suya aktarılır. Böylece sistemden aynı anda sıcak hava, sıcak su ve elektrik elde edilir (Rukman, Fudholi, Zaidi, & Sopian, 2018).



Şekil 6. Çeşitli su soğutmalı FVT sistemlerin şematik gösterimi. a) Levha ve boru tipi FVT, b) kanal FVT, c) serbest akışlı FVT, d) çift soğurmalı FVT (yalıtılmış tip)

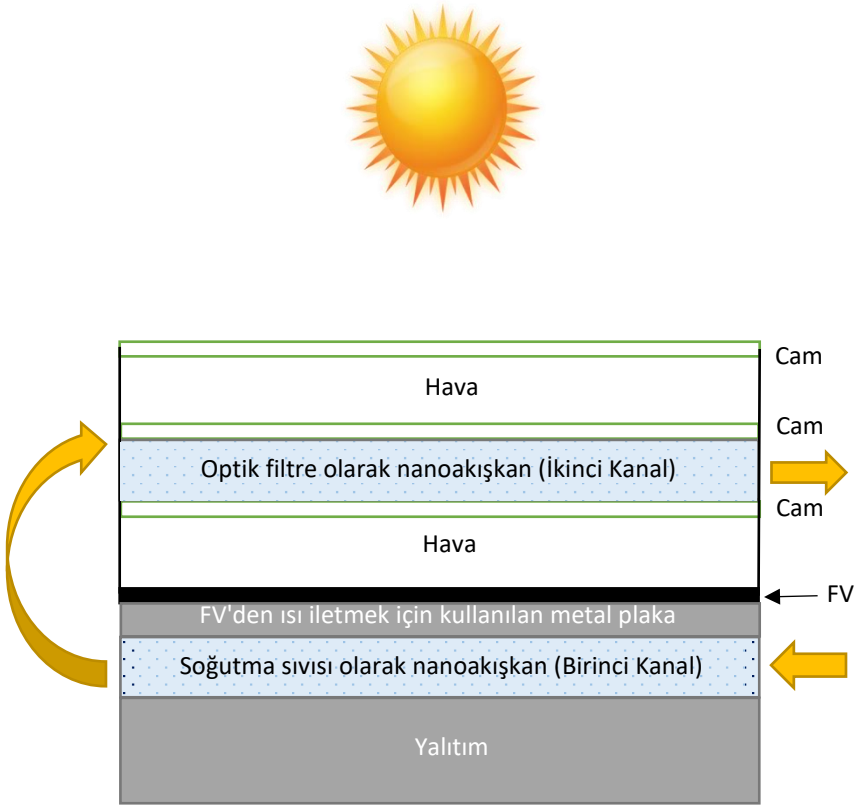
Çift akışkan soğutmalı FVT kolektörler dört tip olarak ele alınabilir. Bu tiplerin birer örneği Şekil 6'de verilmiştir. Bu şekilde; levha-boru tipi FVT kolektör, kanal FVT kolektör, serbest akışlı FVT kolektör ve çift soğurmalı FVT kolektörler örnek olarak verilmiştir (Zondag, Vries, Helden, Zolingen, & Steenhoven, 2003).

1.2. Yeni Nesil FVT Sistemler

Son yıllarda FVT teknolojiden beklentilerin artması nedeniyle su ve hava kullanan sistemlerden başka birçok yeni sistem geliştirilmiştir. Bu bölümde gelişmekte olan bu yeni sistemlerden; nanoakışkan soğutmalı FVT sistemlere, faz değiştiren malzemeli FVT sistemlere, soğutucu akışkan soğutmalı FVT sistemlere ve ısı borulu FVT sistemlere sistemlere yer verilmiştir.

1.2.1. Nanoakışkan Soğutmalı FVT Sistemler

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri güneş enerjisi sistemlerinde, özellikle de güneş kolektörlerinde, yenilikçi yöntemler geliştirilmesine neden olmuştur. Akışkanın termal iletkenliğinin artırılması FVT sistemlerin performansını artırmanın bir yoludur, bu nedenle birçok araştırmacı nanoakışkanların termal iletkenliğini araştırmıştır. Son yıllarda, nanoakışkanların FVT sistemlerde kullanılması, çalışma akışkanının termal iletkenlik katsayısında önemli bir iyileşme sağlamıştır (Esfe, Kamyab, & Valadkhani, 2020).



Şekil 7. Nanoakışkan soğutmalı FVT hibrit kolektörün şematik gösterimi (Saroha, ve diğerleri, 2015).

FVT sistemlerde nanoparçacık kullanılmasının amacı termal verimliliği artırmaktır. Nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri (termal difüzivite, iletkenlik, boyut vb.) kullanıldığı sistem için oldukça önemlidir. FVT sistemlerde kullanılan nanoparçacıklar çalışma akışkanının termofiziksel özelliklerini artırmaya yardımcı olur. Termofiziksel özellikleri iyileşen çalışma akışkanı, FVT sistemin termal verimliliğinin arttırılmasında önemli rol oynar. Soğutma amaçlı kullanımda, termal iletkenlik önemli bir performans göstergesi olarak kabul edilir. Ancak termal iletkenlik nanoparçacık seçimi için tek

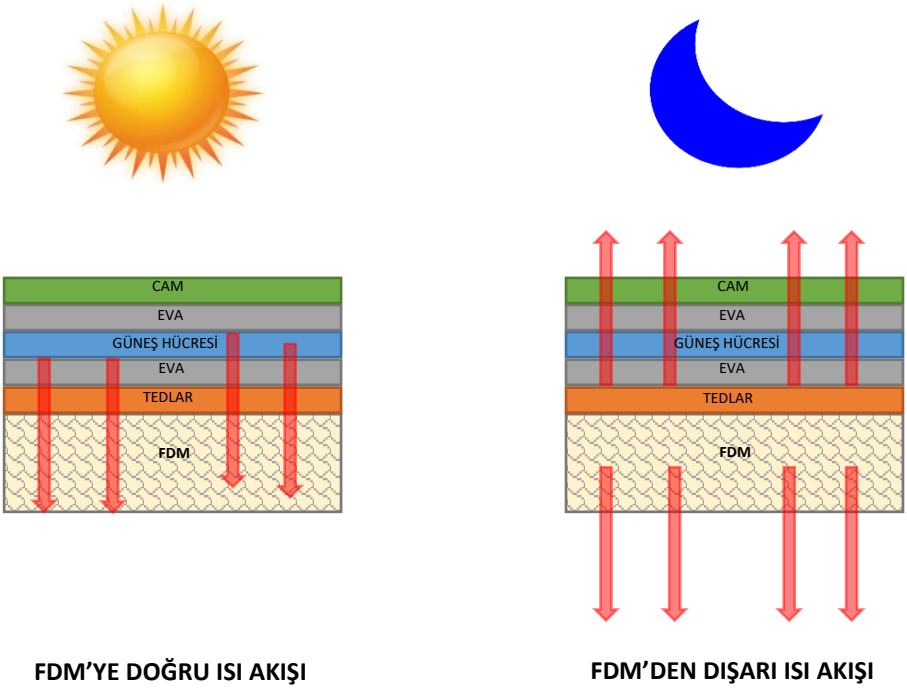
parametre değildir. FVT sistemlerde kullanılan nanoparçacıklar temel olarak ikiye ayrılır. Bunlar metal nanoparçacıklar ve metal oksit bazlı nanoparçacıklardır (Abbas, ve diğerleri, 2019). Şekil 7 nanoakışkan soğutmalı FVT hibrit kolektörü şematik olarak göstermektedir.

1.2.2. Faz Değiştiren Malzemeli FVT Sistemler

Faz değiştiren malzemeler FVT sistemlerde FV modülden ısı uzaklaştırmada kullanılan pasif soğutma tekniklerinden biridir. Faz değiştiren malzemeler FV modül tarafından üretilen aşırı ısıyı herhangi bir ısı transfer akışkanı veya hareketli parça kullanmadan soğurur. Faz değiştiren malzeme (FDM) ile soğutulan FVT sistemlerinde FV modül tarafından üretilen aşırı ısı, FDM katı haldeyken güneş ışınımının fazla olduğu saatlerde soğurulur. Soğurulan ısı, ortam koşullarının daha soğuk olduğu, güneş ışınımının olmadığı saatlerde FDM'nin sıvı halden katı hale geçmesi ile geri atılır (Biwole, Eclache, & Kuznik, 2013). Şekil 8 bir FV-FDM sistemi örneğini göstermektedir.

FVT sistemlerde FDM'lerin kullanılması 2010 yılından beri ilgi görmektedir. Bu alanda yapılan ilk çalışma Dublin Teknoloji Enstitüsü tarafından 2004 yılında yayınlanmıştır (Huang, Eames, & Norton, 2004).

Bu alanda yapılan çalışmalar, FDM'lerin PV panellerin sıcaklığını 10 °C ila 20°C arasında etkili bir şekilde azaltabildiğini aynı zamanda elde edilen elektriksel veriminde %3-5 oranında arttığını göstermiştir (Waqas, ve diğerleri, 2018).

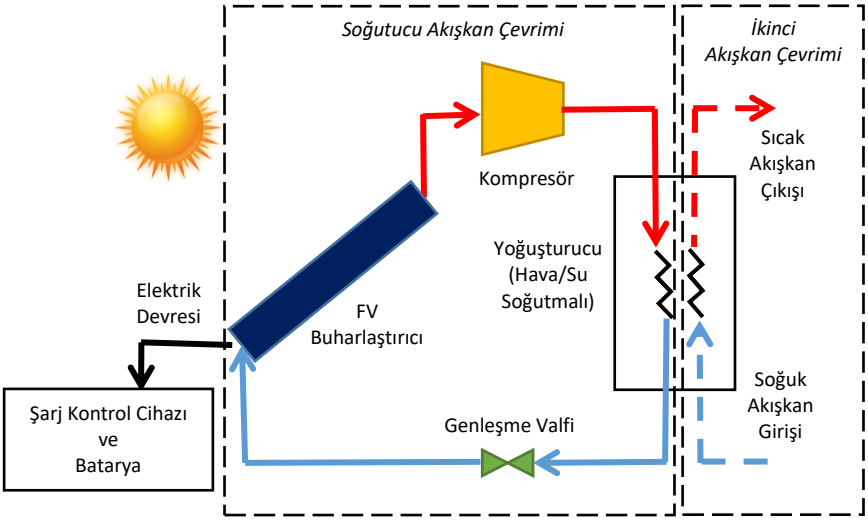


Şekil 8: FV-FDM sistemi örneği (Ma, Yang, Zhang, Lu, & Wang, 2015).

1.2.3. Soğutucu Akışkan Soğutmalı FVT Sistemler

Soğutucu akışkan soğutmalı FVT sistemler üzerine yapılan ilk araştırmalar, su ve hava soğutmalı FVT sistemlere kıyasla, özellikle güneş ışığının az olduğu ortam koşullarında, bu sistemlerin daha

yüksek bir termal ve elektrik performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum Fotovoltaik Termal Güneş Destekli Isı Pompası (PVT-SAHP) olarak da bilinen soğutucu akışkan soğutmalı FVT sistemler alanında araştırmalarda önemli bir artışa yol açmıştır. Şekil 9 bir soğutucu akışkan soğutmalı FVT sisteminin şemasını göstermektedir (Vaishak & Purnanand, 2019).



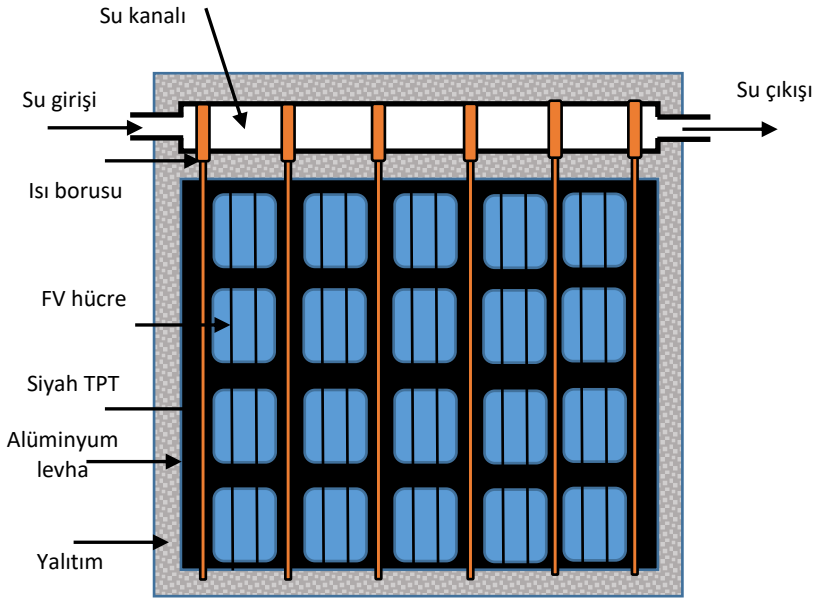
Şekil 9: Soğutucu akışkan soğutmalı FVT sistem (Vaishak & Purnanand, 2019).

Soğutucu akışkan soğutmalı FVT sistem ısı pompasına bağlı olarak çalışır. Bu sistemde FV panel arkasına soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlayan buharlaşma bobinleri yerleştirilir. Bu şekilde bobinler ısı pompasının buharlaşma bölümü olarak işlev görür ve soğutucunun 0-20 °C gibi düşük sıcaklıklarda buharlaşmasını sağlar. Sonuç olarak soğutucu akışkanın düşük sıcaklıklarda buharlaşması FV panelin de sıcaklığını düşürmektedir ve bu durum FV panellerin termal ve elektriksel verimini artırmaktadır. Isı pompasındaki

kompresör panellerde üretilen buharın basıncını artırmaktadır ve ısıtma sağlamak için yoğuşturucuya iletmektedir (Zhang, Zhao, Smith, Xu, & Yu, 2012). Yoğuşturucu ünitesinde elde edilen ısı çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Bu süreçte, kompresörün FV paneller tarafından üretilen elektrikle çalıştırılması, fosil yakıt enerjisinden bağımsız bir güneş enerjili ısı pompası ortaya çıkarmaktadır.

1.2.4. Isı Borulu FVT Sistemler

Isı boruları güneş enerjisi uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yüksek verimli ısı transfer araçlarıdır. Isı borularının FVT sistemlerde kullanılması yalnız FV panellerin kullanıldığı sistemlere göre verimliliği %15 ila %30 arasında artırmaktadır. (Islam, Pandey, Hasanuzzaman, & Rahim, 2016).



Şekil 10: Isı borulu FVT sistemi (Yazdanifard & Ameri, 2018)

Isı borulu FVT sistemler; buharlaştırıcı bölüm, adyabatik bölüm ve yoğuşturucu bölüm olmak üzere üç bölümden oluşur. Isı boruları dizisinin FV panelin arkasına yerleştirilen tarafı buharlaştırıcı bölümüdür. Isı borularının diğer ucu ise panelden geçen akışkana ısı aktaran yoğuşturucu bölümdür. Yoğuşturucu bölümden gelen soğuk sıvı adyabatik bölümden buharlaştırıcı bölüme geri döner. Şekil 10 Isı borulu FVT sistemi göstermektedir (Preet, 2018).

2. SONUÇ

Günümüzde; küresel ısınma, petrol ve doğalgaz fiyatlarındaki artış ve yenilenemeyen enerji türlerinin tükeneceğinin tahmin edilmesi gibi küresel problemlerden dolayı temiz ve yenilenebilir güneş enerjisinin kullanımı bu alanda yapılan araştırmaları teşvik etmektedir. Öte yandan FV ve solar termal sistemlerdeki verimin daha fazla artırılabileceği düşüncesi FVT sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

FVT sistemler güneş enerjisini elektrik ve ısı enerjisine çeviren sistemlerdir. Son yıllarda geleneksel FV ve solar termal sistemlere önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemler FV ve solar termal sistemleri bir araya getirmiş aynı zamanda yeni yaklaşımların da önünü açmıştır.

Bu bölümde son yıllarda geliştirilen FVT sistemler ısı transfer tekniklerine göre sınıflandırılmış ve kısaca özetlenmiştir. Farklı ısı

transfer akışkanı kullanan FVT sistemlerin tasarımlarına, avantajlarına uygulamalarına ve verimlerine yer verilmiştir.

Soğutma tekniklerine göre FVT sistemler geleneksel FVT sistemler ve yeni nesil FVT sistemler olarak ele alınmıştır. Geleneksel sistemler daha çok uygulama alanına sahip, olgunlaşmış sistemler iken yeni nesil sistemler ise araştırma aşamasında olan sistemlerdir. Bu bölümde yer verilen FVT teknolojiler hakkında şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Hava soğutmalı FVT sistemler diğer FVT sistemlere göre oldukça basit yapıdadır. Su soğutmalı sistemlerle karşılaştırıldığında düşük termal performansa sahiptirler. Elektriksel ve termal verimleri artırmak için farklı şekillerde soğurucu plakalar tasarlanmaktadır. Isınan hava çok az olduğu için sıcak iklimlere uygun değildir, ancak bazı uygulamalar ortam ısıtma ve tarım sektöründe kullanılmaktadır.
- Su soğutmalı FVT sistemler hava soğutmalı sistemlere göre daha karmaşık yapıdadır. Sistemin yapım maliyeti hava soğutmalı olanlara göre daha fazladır, ancak su soğutmalı sistemlerin termal ve elektriksel verimleri yüksektir.
- Çift akışkan soğutmalı sistemler su soğutmalı ve hava soğutmalı sistemleri bir araya getiren sistemlerdir. Bu sayede bu sistemlerden aynı anda sıcak hava, sıcak su ve elektrik elde edilebilmektedir.
- Nanoakışkan soğutmalı FVT sistemler iyi sonuçlar vermesine rağmen henüz yapılan deneysel çalışmalar yeterli düzeyde değildir. Nanoakışkanlar güneş enerjisi sistemlerinde uzun

yıllardır kullanılmaktadır, ancak FVT sistemler üzerine uygulamaları başlangıç düzeyindedir.

- Faz değiştiren malzemeler FV panellerin ısınması önlemede verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Faz değiştiren malzemeli FVT sistemler atık ısının; FV panelden faz değiştiren malzemeye, faz değiştiren malzemeden termal sistemlere aktarılması sistem performansını artırmak için oldukça önemlidir.
- Soğutucu akışkan soğutmalı FVT sistem FV panelin ısı kaynağı olarak kullanıldığı ısı pompasıdır. Bu sistemler de yoğuşturucudan atılan atık ısı; su, hava gibi akışkanların ısıtılmasında kullanılabilmektedir. Bu sistemler güneş ışığının az olduğu hava koşullarında hava ve su ile soğutulan sistemlerden daha iyi performans sergilemektedir.
- Isı borusu başka bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan çalışmaktadır ve ısıyı hızlıca transfer etmektedir. Isı boruları birçok FVT sistemde kullanılmaktadır, ancak yüksek güç üreten sistemlerde ısı borusu üretmek ve bu ısı borularını FVT sistemlere entegre etmek zordur.

FVT sistemlerin henüz yeni bir teknoloji olması, düşük termal çıkış elde edilmesi, performans çıktılarının uzun sürede alınması gibi nedenlerden dolayı FVT sistemler ticari olarak küçük bir pazara sahiptir. Tüm bunlara rağmen, FVT sistemler dünyanın iki temel enerji ihtiyacını karşılamaya aday sistemler olduğu için yenilenebilir enerji kaynakları arasında gelecekteki güçlü alternatiflerinden biridir.

KAYNAKÇA

Abbas, N., Awan, M. B., Amer, M., Ammar, S. M., Sajjad, U., Ali, H. M., . . . Jafry, A. T. (2019). Applications of nanofluids in photovoltaic thermal systems: A review of recent advances. *Physica A*, 122513.

Al-Waeli, A. H., Sopiana, K., Kazem, H. A., & Chaichan, M. T. (2017). Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109-130.

Biwole, P. H., Eclache, P., & Kuznik, F. (2013). Phase-change materials to improve solar panel's performance. *Energy and Buildings*, 59-67.

Esfe, M. H., Kamyab, M. H., & Valadkhani, M. (2020). Application of nanofluids and fluids in photovoltaic thermal system: An updated review. *Solar Energy*, 796-818.

Herrando, M., Markides, C. N., & Hellgardt, K. (2014). A UK-based assessment of hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heating and power: System performance. *Applied Energy*, 288-309.

Huang, M., Eames, P., & Norton, B. (2004). Thermal regulation of building-integrated photovoltaics using phase change materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2715-2733.

Islam, M., Pandey, A., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. (2016). Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on photovoltaic thermal-phase change material systems. *Energy Conversion and Management*, 177–204.

Jia, Y., Alva, G., & Fang, G. (2019). Development and applications of photovoltaic–thermal systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 249-265.

Joshi, S. S., & Dhoble, A. S. (2018). Photovoltaic -Thermal systems (PVT): Technology review and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 848-882.

Kroiß, A. l., Präbst, A., Hamberger, S., Spinnler, M., Tripanagnostopoulos, Y., & Sattelmayer, T. (2014). Development of a Seawater-proof Hybrid Photovoltaic/thermal (PV/T) Solar Collector. *Energy Procedia*, 93-103.

Kumar, A., Baredar, P., & Qureshi, U. (2015). Historical and recent development of photovoltaic thermal (PVT) technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1428-1436.

Ma, A. T., Yang, H., Zhang, Y., Lu, L., & Wang, X. (2015). Using phase change materials in photovoltaic systems for thermal regulation and electrical efficiency improvement: A review and outlook. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1273-1284.

Preet, S. (2018). Water and phase change material based photovoltaic thermal management systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 791-807.

Rukman, N. S., Fudholi, A., Zaidi, S. H., & Sopian, K. (2018). Overview of Bifluid-based Photovoltaic Thermal (PVT) Systems. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 1912-1917.

Saroha, S., Mittal, T., Modi, P. J., Bhalla, V., Khullar, V., Tyagi, H., . . . Otanicar, T. P. (2015). Theoretical Analysis and Testing of Nanofluids-Based Solar Photovoltaic/Thermal Hybrid Collector. *Journal of Heat Transfer*, 091015-1-091015-8.

Sathe, T. M., & Dhoble, A. (2017). A review on recent advancements in photovoltaic thermal techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 645–672.

Tyagi, V., Kaushik, S., & Tyagi, S. (2012). Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1383–1398.

Vaishak, S., & Purnanand, V. B. (2019). Effect of dust deposition on performance characteristics of a refrigerant based photovoltaic/thermal system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 100548.

Waqas, A., Ji, J., Xu, L., Ali, M., Zeashan, & Alvi, J. (2018). Thermal and electrical management of photovoltaic panels using phase. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 254-271.

Wolf, M. (1976). Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences. *Energy Conversion*, 79-90.

Yazdanifard, F., & Ameri, M. (2018). Exergetic advancement of photovoltaic/thermal systems (PV/T): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 529-553.

Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., & Yu, X. (2012). Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(1), 599-617.

Zondag, H., Vries, D. d., Helden, W. v., Zolingen, R. v., & Steenhoven, A. v. (2003). The yield of different combined PV-thermal collector designs. *Solar Energy*, 253-269.

Zuhur, S., Ceylan, İ., & Ergün, A. (2019). Energy, exergy and environmental impact analysis of concentrated PV/cooling system in Turkey. *Solar Energy*, *180*, 567-574.

BÖLÜM 2

PNÖMATİK SİSTEMLERE GİRİŞ

Öğr. Gör. Gökhan YALÇIN [1]

Doç. Dr. Süleyman NEŞELİ [2]

[1] Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Konya, Türkiye, gyalcin@ktun.edu.tr

[2] Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Konya, Türkiye, sneseli@selcuk.edu.tr

GİRİŞ

Basıncı kontrol edilebilen, fizikse hali değiştirilebilen ve/veya sıkışabilen hava ve gazlar ile çalışan sistemler pnömatik sistem olarak adlandırılır denir. Gümümüz teknolojik ilerleyiş sürecine büyük katkı ve etkisi olan pnömatik sistemler sayesinde sürekli, hızlı ve kontrol edilebilir otomasyon üretimleri gerçekleştirilebilmektedir.

Pnömatik terimi, Yunanca pneuma (rüzgâr, hava) kelimesinden türetilmiştir. Tarihte gazların sıkıştırılabilirlik özelliğinden yararlanılarak çalışan birçok makine ve teçhizat kullanılmıştır. Özellikle endüstriyel alanlardaki uygulamaların yaygınlaşması 1945-1950 yıllarında başlar. Dar ve sınırlı alanlarda hızlı, tedariği kolay ve düşük maliyetli olan basınçlı hava enerjisi özellikle geçen 20 yıllık zaman zarfında endüstrinin ilgili branşlarınca diğer enerji çeşitlerine göre tercih edilir hale gelmiştir. Bu sayede mekanizma hareketlerinin pnömatik sistemlerden yararlanılarak gerçekleştirilmesi ile daha ekonomik ve hızlı çözümler üretilebilmektedir. Özellikle imalat sektöründe üretim otomasyon sistemlerinde gaz veya hava gibi akışkanların sıkıştırılabilirlik (değişitirilebilen fiziksel) özelliklerinden yararlanılmaktadır.

Atmosferde oldukça fazla miktarda bulunan hava bazı yöntemlerle her türlü kapta muhafaza edilebilir ve sıkıştırma enerjisini basınç olarak muhafaza etmesi sağlanabilir. Basınçlı hava enerjisi ise makine parçalarının hız dönüşümlerinde kullanımı sayesinde üretim

maliyetlerinin minimize edilmesi mümkün olmaktadır. Fiziksel durum değişimi gösterebilen hava ise herhangi bir çevresel olumsuzluğa sebep olmadan tekrar atmosfere salınabilir. Ancak bu durum kimi gazlar için çevre ve insan sağlığını tehdit edebilir. İlaveten atmosferde bol miktarda bulunan havanın az maliyetle kullanılabilirliği, pnömatik sistem kullanılarak yapılan üretimin maliyetlerinin düşmesine neden olur.

1. PNÖMATİĞİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARI

Endüstride bir sistemin tercih edilmesi aşamalarında, o sistemin maliyet ve işe olan uygunluğunun yani muadillerine göre avantaj ve dezavantajlarının göz önünde bulundurulması gerekir. Genelleme yapılacak olursa; çalışma hızı yüksek fakat düşük kuvvetlere gereksinim duyulan endüstriyel alanlarda tercih edilen pnömatik sistemlere olan talep, özellikle çevresel temizlik ve emniyetli çalışma zorunluluğu olan spesifik alanlar da oldukça fazladır. Buna göre pnömatik sistemler; otomasyon ve robotik uygulamalarda, tarım ve hayvancılıkta, dolum ve ambalaj makinelerinin çalıştırılmasında, temizlik işlemlerinde, boyama işlemlerinde, montaj hatlarında, CNC makinelerinde, vakum uygulamalarında (tutma ve taşıma işlevi), tekstil sanayinde, gıda sektörü, enerji dönüşüm santrallerinde, gemi ve denizcilik endüstrisinde, iş makineleri ve motorlu araçlarda, madencilik sanayinde, taşımacılık işlemlerinde, elektronik sanayinde, nükleer santrallerin kontrolünde, ağaç işleri endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

2. PNÖMATİK SİSTEMLERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Pnömatik sistemlerin avantajlarına yönelik bazı ifadeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a. Pnömatik sistemler için kullanılacak hava atmosferde istenilen miktarda mevcuttur.

b. Hava uzak mesafelere kolayca taşınabilir, taşınım sırasında oluşan sürtünme kayıpları son derece küçük değerlerdedir.

c. Basınçlı hava ile çalışan pnömatik sistemlerin kullanıldığı ortamlar temizdir. Sistemde oluşabilecek sızıntılar çevreyi kirletmez.

d. Doğrusal, eğrisel ve açısal hareket gereken endüstriyel uygulamalarda güvenle kullanılabilir.

e. Hali hazırda kullanılan sistem ekipmanları yerine muadili başka bir marka ekipman tercih edilebilir ve aynı performans elde edilebilir.

f. Pnömatik devre elemanları basit yapılı ve ucuzdur.

g. Ekipmanların montajı, tamir ve periyodik bakımları kolaydır.

h. Sistemde kullanılan sıkıştırılmış havanın yanma ve patlama gibi bir tehlikesi yoktur.

i. Havanın sıcaklığa karşı duyarlılığı az olduğundan sistemin çalışma hızı ayarları sıcaklıktan etkilenmez.

j. Basınçlı hava, hal değişim enerjisinden gerektiğinde yararlanabilmek maksadıyla uygun kaplarda depo edilebilir.

k. 3 m/sn gibi yüksek çalışma hızlarına ulaşmak mümkündür.

Pnömatik sistemlerin avantajlarına mukabil ifade edilebilecek bazı dezavantajları ise aşağıda sıralanmıştır:

a. Basınçlı havanın devre elemanlarına zarar vermemesi için öncelikle talaşlı veya talaşsız imalat yöntemleri kullanılarak uygun geometriye getirilmesi gerekmektedir.

b. Çalışma basıncına bağlı olarak maksimum 4-5 tonluk kuvvetler elde edilebilir.

c. Hava sıkıştırılabilir özellikte olduğundan düzgün bir hız elde etmek zordur.

d. Yüksek çalışma basınçları elde edilemez, bazı uygulamalarda verimlilik %20'ye kadar düşebilir.

e. Hava içindeki nem miktarı basınçlı havanın kullanımını sınırlar. Faklı sanayi dallarında basınçlı havanın iyi derecede şartlandırılması gerekir.

3. PNÖMATİK DEVRE ELEMANLARI

3.1. Kompresör

Atmosferden emilen havanın veya gazların hacmini düşürerek basıncını artıran ve yüksek basınç değerlerinde depo edebilen, gerektiğinde bu basınç etkisiyle mekanik hareket oluşturabilecek sisteme basınçlı havayı yeniden gönderebilen devre elemanlarına kompresör denir. Hava kompresörleri, gaz kompresörlerinin spesifik bir türüdür. Esasen kompresörler, basıncı artırıp akışkanı sisteme gönderen bir pompa gibi düşünülebilir. Kompresör seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli iki unsur kapasite göstergesi olan debi

(lt/dk, m^3/dk) ve kompresör çıkış basıncıdır (Bar). Kompresör çeşitlerinin sınıflandırılması soğutma sistemlerine ve ürettikleri havanın içeriğine göre yapılabilir. Soğutma sistemlerine göre; su soğutmalı kompresörler, hava soğutmalı kompresörler olmak üzere ve ürettikleri havanın içeriği açısından ise; yağlı kompresörler ve yağsız kompresörler olacak şekilde sınıflandırılabilir.

3.2. Borular (Hortum)

Pnömatik sistemlerin önemli kısımlarından biri de hava dağıtım elemanları olan borulardır. Burada boru/hortum kavramı, her bir valfin sistemdeki diğer ekipmanlar arası bağlantıyı kurabilmek için ihtiyaç duyulan parçaların tamamını içine alan anlamındadır.

Aslında pnömatik boru tesisatları genel olarak, boru, hortum, rekor gibi bağlantı elemanlarından oluşan bütünlerdir/ünitelerdir. Sistemin çalışma güvenliği açısından boru ve diğer tüm birleştirme elemanlarının çalışma basıncı, sıcaklığı, çalışma zaman aralığı ve süresi gibi şartlara karşı dayanımlarının yüksek olması elzemdir. Boru malzemesinin seçiminde dikkate alınması gereken, çalışma şartları, çevre sıcaklıkları, rutubet ve toz durumu, korozyona sebep olacak buharlar durumlardandır. Boruların iş ortamındaki montajları sırasında hat boyunca 1°–2º eğim yapılarak kullanılması gereklidir. Çalışma emniyetinin sağlanabilmesi için birleştirmeler pirinç rekorlar, contalar, kelepçeler, L veya T şekilli yardımcı bağlantı parçaları yapılan tasarıma bağlı olarak kullanılabilir.

3.3. Şartlandırıcılar

Şartlandırıcı, havanın iletim hattı üzerindeki pnömatik sisteme giriş bölümünde kullanılan ve havayı sistem içerisinde kullanılacak hale dönüştüren elemanlara denir. Transfer hattı olan boruların içerisinden hava geçişi sırasında sürtünme kaynaklı yoğuşma oluşacak ve hattın içerisinde su buharı ile beraber su damlacıkları meydana gelecektir. Doğal olarak bu arada basıncı yükselecektir. Ayrıca transfer sırasında hava, boru içindeki metal tozları ve artıkları ile bir miktarda olsa kirlenecek ve bu kirli hava sisteme taşınacaktır. Kirli havanın sisteme ulaşmasını engellemek maksadıyla ise şartlandırıcılar kullanılır. Bahsedilen görevine ilaveten şartlandırıcılar;

- Sistemde dolaşan buhar veya damlacık haldeki suyu sisteme vermeme
- Akış halindeki hava basıncını ayarlama
- Var olan kalıntı ve metalik tozlarla kirlenen havayı temizleme
- Hava sürtünmesini azaltmak ve sistem çalışma ömrünü artırmak maksadıyla kuru havayı yağlama

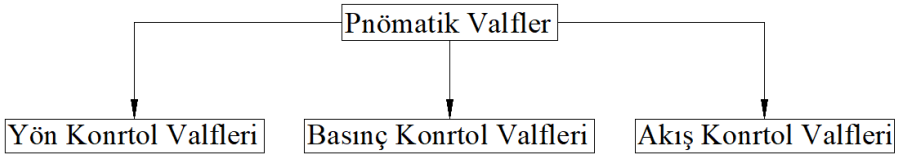
gibi görevleri yaparlar. Şartlandırıcı dört farklı pnömatik elemandan meydana gelen bir ünite olarak kullanılır. Şartlandırıcı ve bileşenleriyle birlikte bir bütün olarak kullanılan şartlandırıcıya ait görsel Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Şartlandırıcı ve Elemanları (https://www.serkanhoca.org)

Şartlandırıcı üzerindeki filtreden geçen hava temizlenerek, regülatör ile manometreden istenilen çalışma basıncına ayarlanır. Daha sonra kurutularak sisteme alınan havanın sistem içindeki elemanlarla sürtünmesini azaltmak ve paslanma veya korozyona sebep olmayacak şekilde çalışma ömrünü artırmak amacıyla yağlama ünitesi kullanılır. Bu ünite ile hava içine yağ damlatılarak havanın sistemde kullanmak üzere hazır hale getirilmesi saplanmış olur.

3.4. Valfler

Valf, hava akışını başlatan veya durduran, akışın yönünü ayarlayabilen, debi ve basınç değerlerinde değişiklik yapabilen pnömatik sistem elemanlarıdır. Valfler kontrol ettiği sistem özelliğine göre sınıflandırılır ve Şekil 2'de verildiği üzere üç grupta incelenebilir.



Şekil 2. Pnömatik Valf Çeşitleri

3.4.1. Yön kontrol valfi

Sistem içerisindeki akışkanın akış yönünü değiştiren, akışkanın geçişine izin veren ya da durduran, sistemdeki hava tahliyesini atmosfer ortamına yapan devre elemanına yön kontrol valfi denir. İhtiyaç duyulan yön kontrol valflerinin gerektiğinde talebi ancak valflerin pnömatik sistemlerdeki önemini ve görevlerini anlamayla, ve standart sembollerini tanımayla mümkün olabilir. O halde Yön kontrol valflerinin tanımlanmaları için kullanılan sembol karakterlerinin, yol sayılarının, konum sayılarının, kumanda çeşitlerinin, valf hareket sinyallerinin, valf normal konumlarının bilinmesi uygun valf seçiminin yapılabilmesi için bir gerekliliktir.

Sembollere ait karakteristiklerin tanımlanması için sayılar (1-2-34-5) ya da harfler (P-A-B-R-S-T) kullanılabilir. Sembollerin üzerinde bulunduğu kutu o valfin sinyal almadığı durumdaki konumunu gösterir.

Yön kontrol valflerinin adlandırılmalarında yaygın olarak kullanılan sayı sembollerinin aralarına “ / “ konularak sayılar birbirlerinden ayrılır (3/2, 4/3, 5/2 vb.). Bu tanımlamada soldan başlanarak

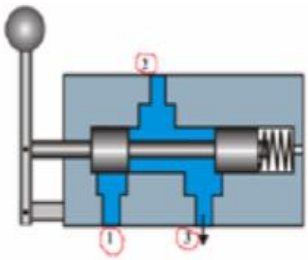
kullanılan ilk değer valfin yol sayısını, ikinci sayı ise valfin konum sayısını belirtir. Aşağıdaki tablo 1'de hat tipine göre kullanılması muhtemel yön kontrol valfinin seçimi ve diğer detayları verilmiştir.

Tablo 1. Valflerin adlandırılması

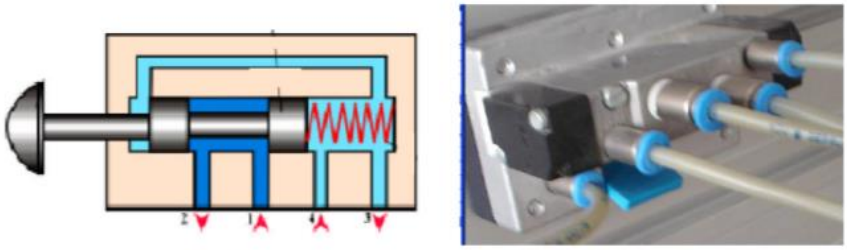
HATTIN ADI	RAKAMLA	HARFLE	
Basınç hattı	1	P	3 / 2 Yol sayısı / Konum sayısı
Çalışma (İş) hatları	2-4	A-B	
Egzoz- Tank hatları	3-5	R-S-T	

Akışkanın valf içerisinde izlediği yönlere ait doğrultular, yol sayısını verir. Akışkan giriş, çıkışı, tank ve egzoz kapıları ise valfin yol sayısını verir. Valfte görülen bağlantı delik sayısı da yol sayısı hakkında ipucu verir. Aşağıda yol sayılarına göre verilmiş bazı yön kontrol vaflerine örnekler mevcuttur (Bkz. Şekil 3).

İki yollu

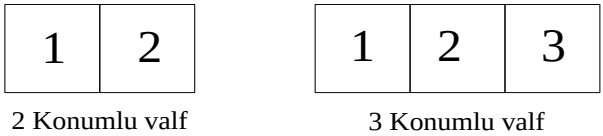


Üç yollu



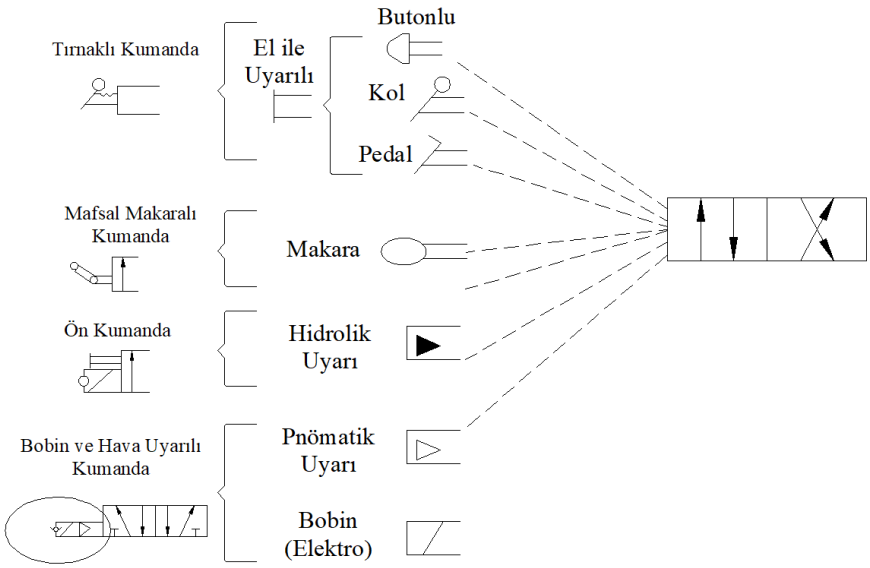
Şekil 3. Yön Kontrol Valflerine Örnekler

Valf kullanılarak elemanına yaptırdığı her bir iş, o valfin konum sayısını verir ve kare kutu ile sembolleştirilir. Şekil 4'te valf konumları görülmektedir.



Şekil 4. Valf Konumları

Yön kontrol valfinin konum değiştirme uyarısına (emrine) kumanda adı verilir. Valfin kumanda tipi sol kutusuna birleşiktir. Yön kontrol valfi, sol kutusunun yanındaki kumandadan aldığı uyarı sinyali ya da uyarı etkisiyle hareket ettirilir. Bu sayede yapılmak istenen ne ise (kutular itilir, cisimler kaldırılır, motorlar döner) gerçekleştirilebilir. Yön kontrol valfinin sağ kutusundan verilen emre ise geri dönüş kumandası denir. Yön kontrol valflerinin geri dönüş kumandası genelde yay etkisi ile olup adlandırılması "yay geri dönüşlü yön kontrol valfi" şeklindedir. Kumanda tiplerine ait bazı örnekler aşağıdaki şekil 5'te sembolik olarak verilmiştir.



Şekil 5. Valf Kumanda Konumları

3.4.2. Basınç Kontrol Valfi

Pnömatik sistemlerdeki akışkanların istem dışı yükselen çalışma basınç değerlerine karşın, basıncı uygun değerler arasında tutmak maksatlı kullanılan valflerdir. Kullanıcı ve sistem elemanlarının güvenliği açısından önemli bir sistem bileşenidir.

3.4.3. Akış Kontrol Valfi

Pnömatik sistemlerdeki akışkanın debisini ayarlamak için kullanılan valflerdir. Sabit debiye sahip akışkanın hızı da sabittir. Hatta dolaşan akışkanın hızında değişiklik yapmak istendiğinde akış hattı kesit ölçüsü daraltılarak debi ayarı yapılabilmekte ve böylece hız kontrolü

mümkün olmaktadır. Akış kontrol valfleri kullanım amaçlarına göre çek valf, akış kısma valfi, mantık valfleri ve vanalar olarak sınıflandırılabilir.

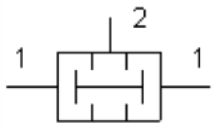
- **Çek valfler:** Akışkanın sadece bir yönde geçiş yapmasını sağlayan valflere çek valf denir. Çek valflerin sızdırmazlığı üst seviyede olabilmesi için iç tasarımları oturmalı olarak yapılır. Çek valfler, akışkan sızdırma ihtimalinin mümkün olabileceği yön kontrol valflerinden sonra emniyet için de kullanılır.

- **Akış kısma valfi: Devre iş elemanları olan, silindirlerin** hareket hızını yavaşlatmak ya da motorların dönüş devir sayısını ayarlamak için kullanılan elemandır. Aşağıda şematik görüntüsü verilen akış kısma valfi ile akış her iki yönden de kısılabilir. Pnömatik sistemlerde daha çok akış kısmanın tek yönlü yapılabilmesi istenir. Bu amaçla kullanılan elemana tek yönlü akış kısma valfi denir. Şekil 6'da akış kısma valfi örneği görülmektedir.

Şekil 6. Akış Kısma Valfi

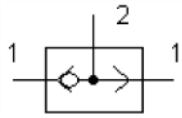
- **Mantık valfleri:** Pnömatik sistemleri oluşturan elemanların bir sıra takip ederek çalışması mantık esaslı çalışma olarak tanımlanabilir. Bu maksatla sistemlerde “VE” yada “VEYA” mantık valfleri kullanılır.

- **VE valfi:** Sisteme iki akışkan girişi olmadan çıkış sinyali vermeyen valflere denir. Pres tezgâhlarındaki bağlama ve kilitleme işlemlerini veya benzeri sistemleri kullananların emniyetleri için tercih edilir. Şekil 7’de şematik bir VE valfi gösterilmiştir.



Şekil 7. VE Valfi

- **VEYA valfi**: Sistemdeki iki akışkan girişinden herhangi birisine giriş olduğunda çıkış sinyali veren valflere denir. Pnömatik kontrol cihazlarını paralel bağlamada kullanılır. Sinyal girişi yapılan tarafın karşısını kapatabilmek için yol tıkama elemanı olarak bilye, konik yüzey veya disk kullanılır. Şekil 8’de şematik bir VEYA valfi gösterilmiştir.



Şekil 8. VEYA Valfi

- **Vanalar:** Akışkan yolunu açma-kapama yaparak akışkan akışını durdurma ya da yol verme işini yapan elemanlardır.

3.5. Özel Valfler

Pnömatik sistemlerde çabuk egzoz valfleri, oransal valfler ve servo valfler gibi özel amaçlı kullanım ihtiyacına göre tasarlanmış valflerdir.

3.6. Akümülatörler

Basınçlı akışkanı gerektiğinde sisteme göndermek üzere depolayan devre elemanına akümülatör denir. İstenildiğinde geciktirme elemanı olarak da kullanılabilirler. Akümülatör, pompanın arızalanması ya da elektrik kesilmesi durumunda sistemden beklenen görevin yapılabilmesi için güç depolayan ünitelerdir.

3.7. Algılayıcılar

Pnömatik sistemlerdeki değişen fiziksel büyüklükleri kontrol ünitesinin anlayacağı elektrik sinyallerine çeviren cihazlara algılayıcı ya da sensör denir. Tezgâhlarda değişen ısı, renk, ağırlık, cisim varlığı, emniyet durumu gibi özelliklerin tanımlanması ile işlemlerin sıralanması amacı doğrultusunda kullanılır.

3.8. Sınırlayıcılar

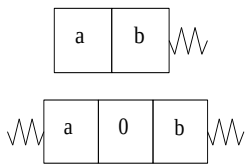
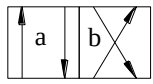
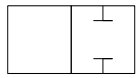
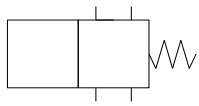
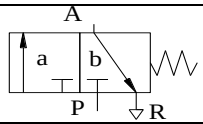
Pnömatik sistemlerde değişen konumlarla farklı işlerin otomatik yapılmasını sağlayan elemanlara sınırlayıcı (switch) denir.

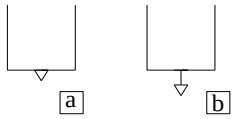
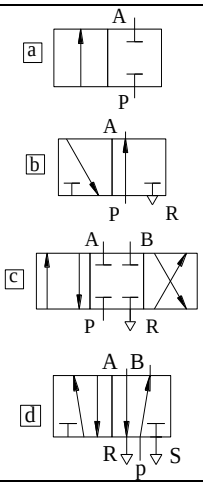
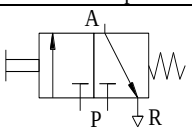
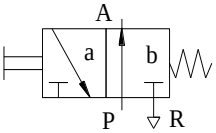
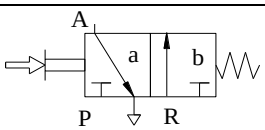
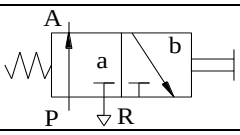
Sınırlayıcılar, pnömatik elemanlar için elektrik sinyali üreterek sistemlerin görev hızlarını arttırır.

4. PNÖMATİK'TE KULLANILAN STANDART SEMBOLLER

Yön kontrol valflerinin sembolleri TS 1306, ISO 1219 ve DIN 24300 numaralı standartlarla belirlenmiştir. Standart semboller, valflerin fonksiyonları ve içlerinden geçen akışkanın yönleri dikkate alınarak bir mantık içinde belirlenmiştir. Standart semboller, dünyanın her tarafında valflerin aynı çizgilerle tanımlanmalarını sağlarken, bu alanda ortak bir dil görevi de görmektedir. Aşağıda yön kontrol valflerinin sembolleri kolayca anlaşılacak Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Valflerin sembolik gösterimi

Valflerin konumları a, 0, b harfleri ile gösterilir. İki konumlu olan valflerde tek tarafa yay, üç konumlu olan valflerin iki tarafında da yay olur.	
Valf konumu a, b, dört yollu ve iki konumlu (4/2) valf	
İki konumlu, tek konumda akış hatları kapalı	
Basınçlı akışkan valflerin normal konumlarına bağlanır. Normalde açık olan valf de boru bağlantıları basınçlı akışkanın P den A'ya doğru gitmesini sağlayan konuma bağlanır.	
Normalde kapalı 3 yollu ve 2 konumlu (3/2) valf. Basınçlı hava boruları valfin normal konumu kapalı olan kareye bağlanmıştır.	

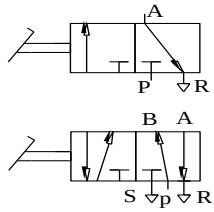
Havanın yön kontrol valfinden çıkış şekli: a) Vidasız b) Vidalı bağlantının sembolü	
Çeşitli valf sembolleri: a)Normalde kapalı 2 yollu ve 2 konumlu valf (2/2) b) Normalde açık 3 yollu ve 2 konumlu valf (3/2) c) Kapalı merkezli, normalde kapalı 4 yollu ve 3 konumlu valf (4/3) d) 5 yolu ve 2 konumlu valf (5/2)	
Genel kontrollü normalde kapalı valf (3/2)	
Normalde açık 3 yollu ve 2 konumlu valf (3/2)	
Normalde kapalı genel kontrollü valf (3/2)	
Normalde açık (3/2) valfin simetrik olarak gösterimi	

EKLER

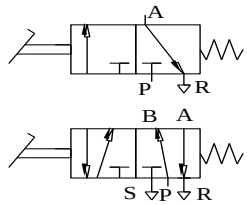
Yön Kontrol Valfleri

SEMBOL

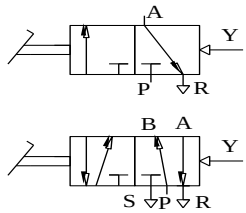
Ayak Kumandalı
(İki Yönde)



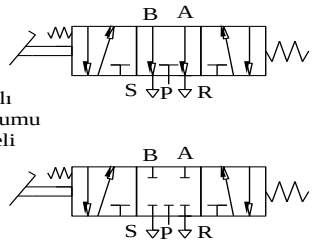
Ayak Kumandalı
(yay geri dönüşlü)



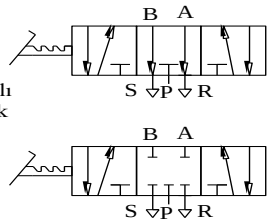
Ayak Kumandalı
(Sinyal geri dönüşlü)



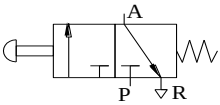
Ayak Kumandalı
5/3 YKV orta konumu
yay merkezlemeli



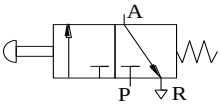
Ayak Kumandalı
5/3 YKV tırnak
hareketli



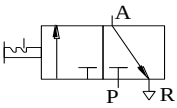
SEMBOL



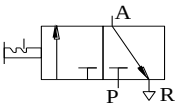
3/2 YKV
Butonlu yay geri dönüşümlü
(normalde kapalı-geniş başlı)



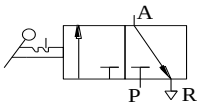
3/2 YKV
Tırnaklı iki tarafı
(normalde kapalı)



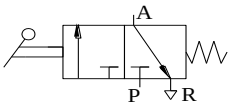
3/2 YKV
Kilitli iki tarafı
(normalde kapalı)



3/2 YKV
Kollu tırnaklı
(normalde kapalı)



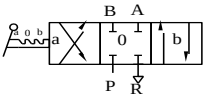
3/2 YKV
Kollu yay geri dönüşümlü
(normalde kapalı)



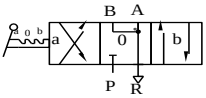
Pnömatik Sistemlerde Kullanılan Yön Kontrol Valf Sembolleri

SEMBOL

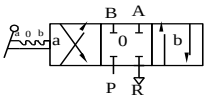
4/3 YKV
Kollu tırnaklı
(normalde kapalı, konum kol ayarlı)



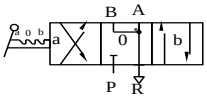
4/3 YKV
Kollu tırnaklı
(normalde serbest hareket, konum kol ayarlı)



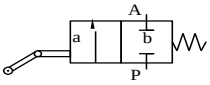
4/3 YKV
Dönel Kollu tırnaklı
(normalde kapalı, konum kol ayarlı)



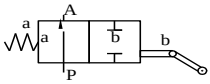
4/3 YKV
Dönel kollu tırnaklı
(normalde serbest hareket, konum kol ayarlı)



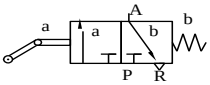
2/2 YKV
Makara mafsallı
(normalde kapalı, yay geri dönüşlü)



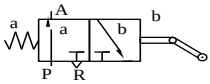
2/2 YKV
Makara mafsallı
(normalde açık, yay geri dönüşlü)



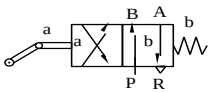
3/2 YKV
Makara mafsallı
(normalde kapalı, yay geri dönüşlü)



3/2 YKV
Makara mafsallı
(normalde açık, yay geri dönüşlü)

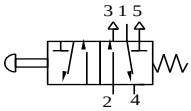


4/2 YKV
Makara mafsallı
(yay geri dönüşlü)

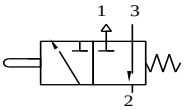


SEMBOL

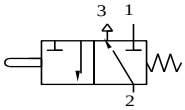
5/2 YKV
Butonlu mafsallı
(yay geri dönüşlü)



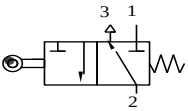
3/2 YKV
Pimli
(kapalı, yay geri dönüşlü)



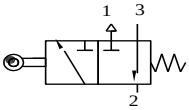
3/2 YKV
Pimli
(Açık, yay geri dönüşlü)



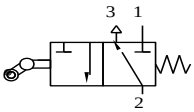
3/2 YKV
Makaralı pimli
(Açık, yay geri dönüşlü)



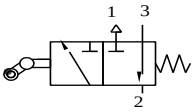
3/2 YKV
Makaralı pimli
(Kapalı, yay geri dönüşlü)



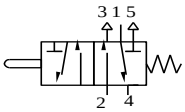
3/2 YKV
Makaralı mafsallı
(Açık, yay geri dönüşlü)



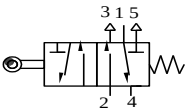
3/2 YKV
Makaralı mafsallı
(Kapalı, yay geri dönüşlü)



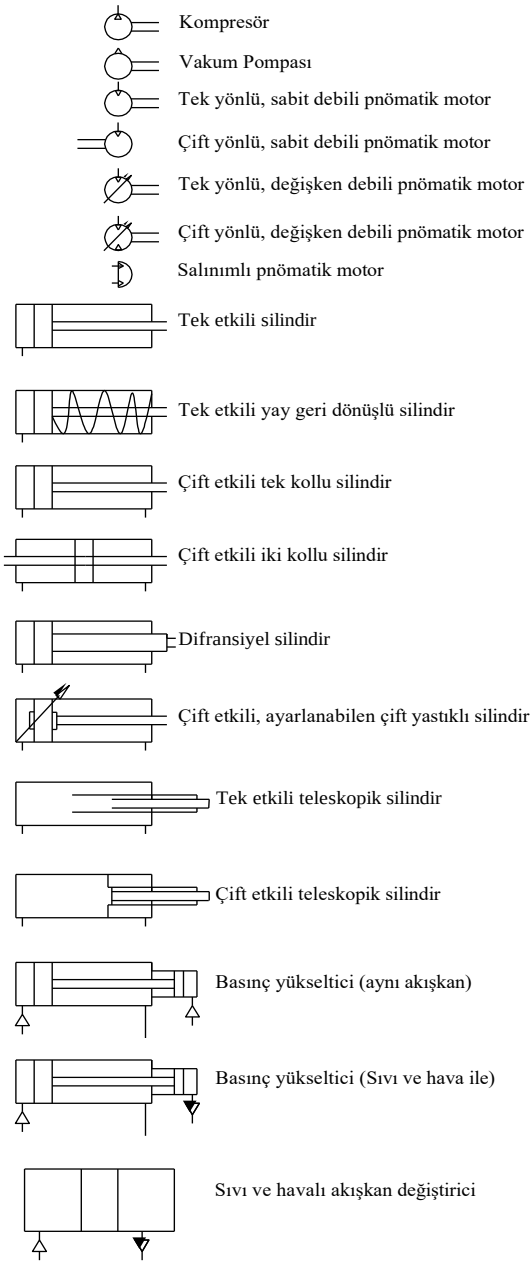
5/2 YKV
Pimli
(Açık, yay geri dönüşlü)



5/2 YKV
Makaralı pimli
(Açık, yay geri dönüşlü)



Enerji Dönüştürme Elemanları



KAYNAKÇA

Demirsoy, Ö., (2006). “Pnömatik’te Temel Devreler”, HP Dergisi Sayı:23 Sayfa:48-80.

Kervancıoğlu E., (2007). “Automation Studio 5.0 User Guide ile Temel Pnömatik Devreler”, ders notu.

MEGEP., (2007). “Temel Pnömatik”, Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri, Ankara.

MEGEP., (2012). “Pnömatik Devreler”, Makine Teknolojisi, Ankara.

Patient, P., Pickup, R., Powell, N., (1994), “Endüstriyel Okullar İçin Pnömatik”, Milli Eğitim Basımevi Çeviri Ders Kitabı.

Zorlu A., (2002). “Pnömatik Bir Sistemin Deneysel Modellenmesi ve Simülasyonu”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.

http://www.elektrik.gen.tr/2016/05/hidrolik-ve-pnomatik-devre-elemanlar-sembolleri/3865

https://www.festo-didactic.com/tr-tr/egitim-sistemleri

https://www.makinaegitimi.com/makine-elemanlari/hidrolik-pnomatik/sistemler/pnomatik-uygulama-ornekleri-ornek-devreler.html

https://www.serkanhoca.org/2018/01/fry-sartlandrc-hava-hazrlayc.html

http://www.akder.org/tr/makale/239-4-3-yoen-valfi-nedir#.XtDWTzozaUk

BÖLÜM 3

TÜRKİYE DENİZLERİNİN PETROL VE DOĞALGAZ POTANSİYELİ, GELECEK HİDROKARBON ARAMA FAALİYETLERİ İÇİN HEDEF ALANLAR VE SONDAJ LOKASYONLARI

Adil ÖZDEMİR[1], Yıldıray PALABIYIK[2], Atilla KARATAŞ[3]

[1] Adil Özdemir Danışmanlık, Ankara, adilozdemir2000@yahoo.com
[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, palabiyiky@itu.edu.tr
[3] Marmara Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, atilla.karatas@marmara.edu.tr

1. GİRİŞ

Her ne kadar, Türkiye denizlerinde (Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi) delinen bazı kuyularda hidrokarbon emarelerine rastlanmış olsa da, bugüne kadar uzun süreli üretim yapılabilecek herhangi bir ekonomik petrol ve doğalgaz sahası keşfi yapılamamıştır. Bununla birlikte, Türk Hükümeti Türkiye denizlerinde hidrokarbon keşfi yapmak için kararlı girişimlerde bulunmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye denizlerinde hidrokarbon keşfi için sismik araştırma ve sondaj süreçleri devam etmektedir. Türkiye'nin Münhasır Ekonomik Bölgeleri (MEB)'ndeki sondaj çalışmaları FATİH, YAVUZ ve KANUNİ adlı sondaj gemileri (Şekil 1), sismik araştırmalar ise BARBAROS HAYREDDİN PAŞA ve ORUÇ REİS adlı sismik gemileri (Şekil 2) tarafından yürütülmektedir. Bu çalışmanın amacı, bu araştırma ve arama faaliyetlerine katkı sağlamaktır. Bu noktadan hareketle, Türkiye denizlerinde gelecekteki hidrokarbon arama faaliyetleri için hedef alanları belirlemek amacıyla, jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik çalışmalara ait verilerin yanı sıra, deniz ve denize yakın kara alanlarında delinen sondaj kuyularının logları dahil olmak üzere geniş bir veri seti incelenmiş ve her 3 denizin hidrokarbon potansiyeli, gelecek arama faaliyetleri için hedef alanları ve bu alanlarda açılması önerilen kuyuların koordinatları belirlenerek bu çalışmada sunulmuştur.

2. AKDENİZ'İN HİDROKARBON POTANSİYELİ VE ARAMA HEDEFLERİ

Akdeniz Havzası'nda, şimdiye kadar birçok hidrokarbon sahası keşfedilmiş ve sondaj faaliyetleri çok uluslu ve uluslararası şirketler de dahil olmak üzere bazı konsorsiyumlar tarafından başlatılmıştır. Leviathan, Tamar, Zohr ve Afrodit sahalarındaki doğalgaz keşifleri ve İsrail'in bölgede doğalgaz üretimine başlaması hidrokarbon arama ve üretimi açısından dikkatleri Akdeniz'in üzerine çekmiştir (Şekil 1). Bu çalışmada sunulan jeolojik ve jeofizik veriler, Akdeniz Havzası'nın alt havzaları olan Antalya, Finike, Rodos ve İskenderun Havzaları'nda dev (giant) petrol ve doğalgaz rezervlerinin bulunabileceğini göstermektedir.

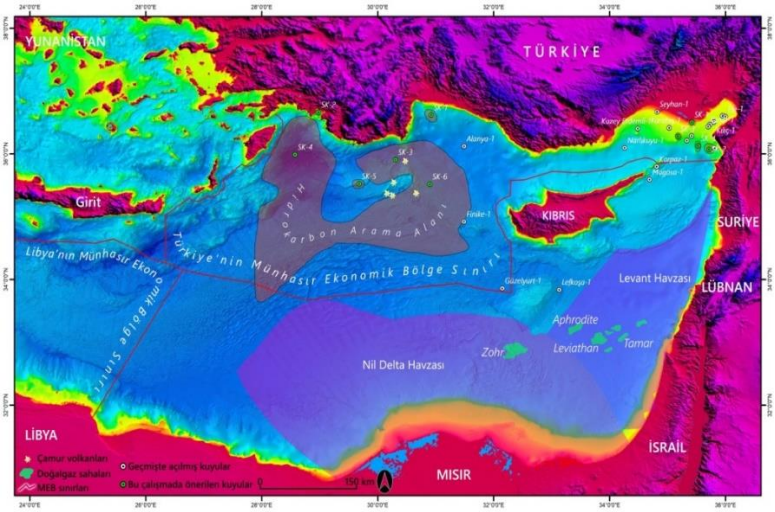
Şekil 1. Türkiye'nin sondaj gemileri

Şekil 2. Türkiye'nin sismik araştırma gemileri

2.1. Akdeniz'in Hidrokarbon Potansiyeli

Türkiye'nin içerisinde bulunduğu Alpin Mobil Kuşağı (Tetis Bölgesi), büyük bir petrol ve doğalgaz kuşağıdır. Yüksek verimli kaynak kayalar, Gondwana ile kuzey kıta grupları (Boreal) arasında Siluriyen-Holosen döneminde bir deniz yolu olan Tetis Bölgesi'nde zengin petrol ve doğalgaz rezervlerini oluşturmuştur. Bölgedeki kaynak kaya

depolanması, Paleotetis ve Neotetis'in art arda açılması ve kapanması ile sürekli olarak desteklenmiştir. Bu tektono-sedimantasyon sistem, Tetis Bölgesi'ne özgü petrol oluşumu ve birikimi üzerinde büyük bir etkiye sahip olmuştur (Özdemir ve Palabıyık, 2019a) (Şekil 5 ve 6).

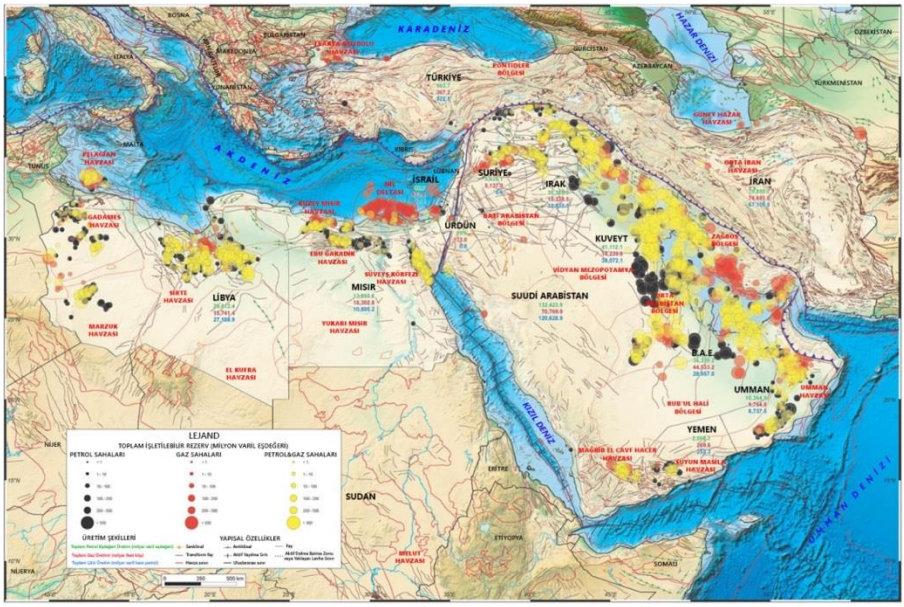


Şekil 3. Türkiye'nin Akdeniz'deki MEB sınırları

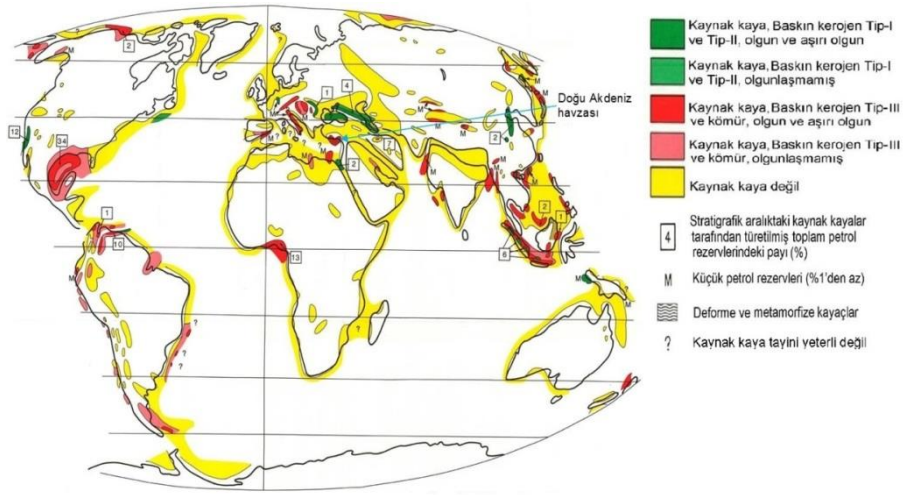
Şekil 4. Türkiye'nin Akdeniz'de bugüne kadar delmiş olduğu petrol ve doğalgaz arama kuyularının konumları

Tablo 1. Türkiye'nin Akdeniz'de bugüne kadar delmiş olduğu hidrokarbon arama kuyularının koordinatları (bkz. Şekil 4).

Kuyu Adı	Enlem	Boylam
Ceylan Deniz-1	36.21°	35.33°
Mercan Deniz-1	36.29°	35.41°
Ayşe-1	36.09°	35.81°
Payas-1	36.61°	35.95°
Kılıç-1	36.51°	35.80°
İskenderun Deniz-1	36.47°	35.73°
Çınar-1	36.43°	35.70°
Efe-1	36.59°	36.00°
Seyhan-1	36.67°	34.82°
Karataş-1	36.42°	35.03°
Finike-1	34.92°	31.49°
Kuzey Erdemli-1	36.40°	34.48°
Alanya-1	36.12°	31.49°
Karpaz-1	35.80°	34.81°
Magosa-1	35.59°	34.69°
Narlıkuyu-1	36.10°	34.26°
Güzelyurt-1	33.86°	32.15°
Lefkoşa-1	33.84°	33.13°



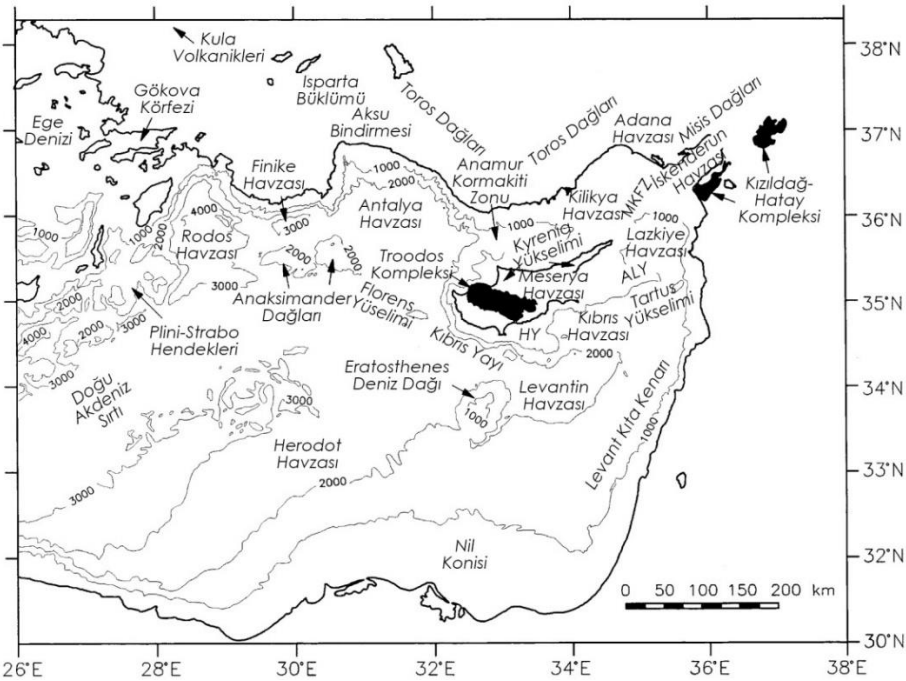
Şekil 5. Tetis Bölgesi'nin ana petrol ve doğalgaz kuşakları. Sarı daireler: petrol + doğalgaz sahaları, kırmızı renkli daireler: doğalgaz sahaları, siyah renkli daireler: petrol sahaları (Marlow ve diğ., 2014).



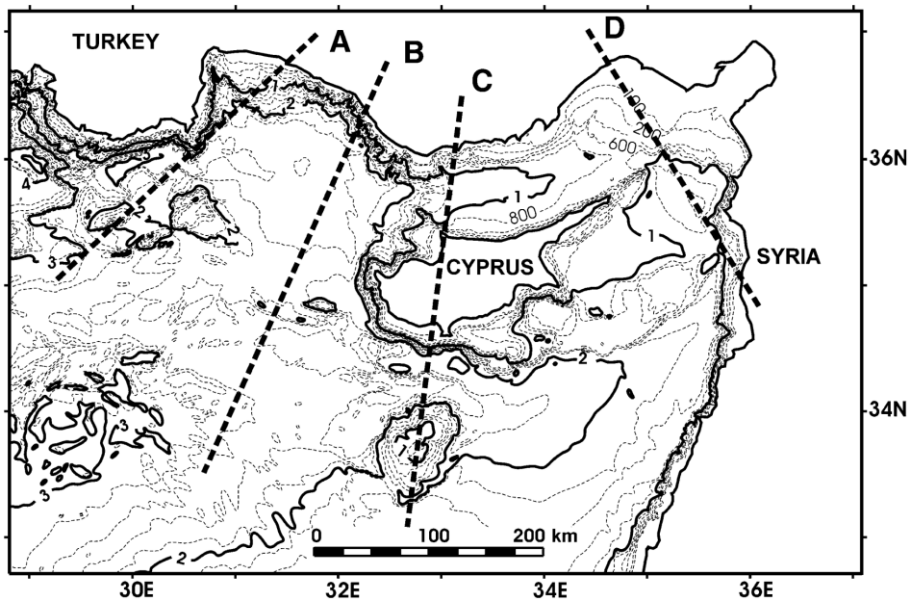
Şekil 6. Oligosen-Miyosen dönemi petrollü havzaları ve hidrokarbon tipleri (Klemme ve Ulmishek, 1990; Özdemir ve Palabıyık, 2019a'dan).

2.2. Akdeniz'deki Gelecek Petrol ve Doğalgaz Arama Hedefleri

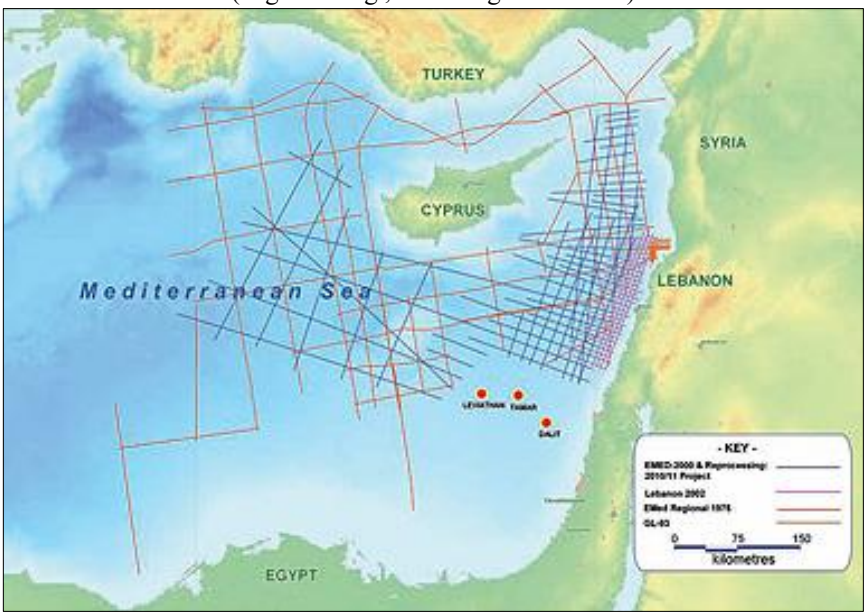
Türkiye'nin Akdeniz'deki MEB ile ilgili jeofizik veriler (sismik ve gravite) ve bu verilerin jeolojik yorumlarını içeren birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin Akdeniz'deki gelecekteki hidrokarbon arama hedef alanlarını belirlemek için bu büyük veri seti ve bu veri setinden üretilen jeolojik yorumlar ve sondaj kuyuları da dahil olmak üzere literatürdeki birçok yayın incelenmiştir. Yazarlar tarafından yapılan bu incelemenin sonucunda, Antalya, Finike, Rodos ve İskenderun Havzaları'nda dev (giant) petrol ve doğalgaz rezervlerinin bulunabileceği tespit edilmiştir (Şekil 7 ve 8).



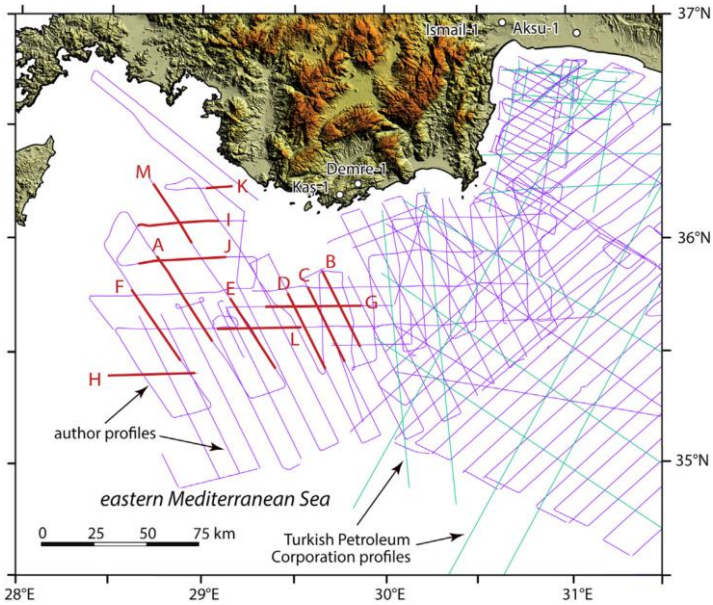
Şekil 7. Akdeniz'in basitleştirilmiş batimetri haritası (Aksu ve diğ., 2005).



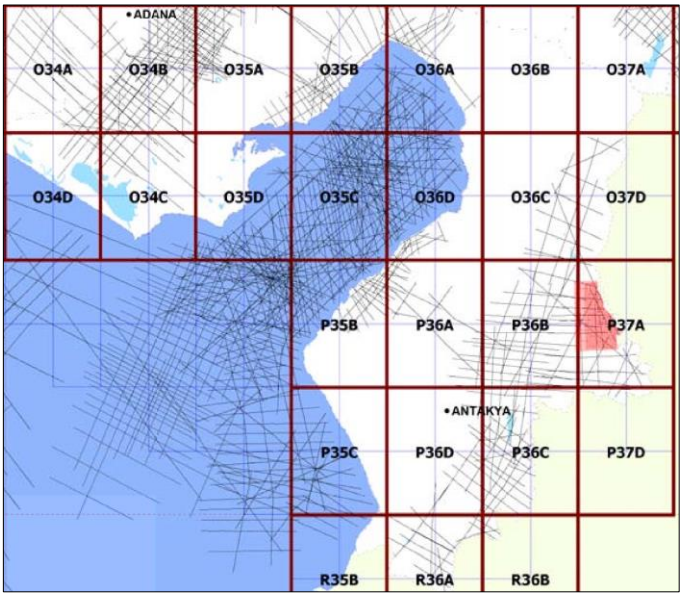
(Ergün ve diğ., 2005'in gravite verisi)



(www.spectrumgeo.com'un sismik verisi)



(Aksu ve diğ., 2019'un sismik verisi)



(MAPEG'in sismik verisi)

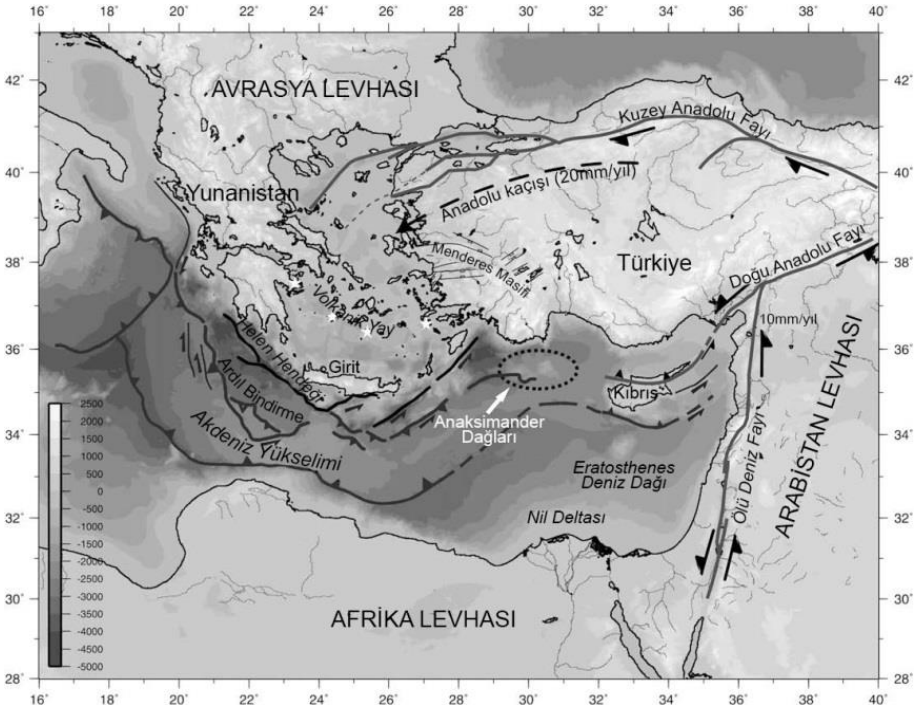
Şekil 8. Bu çalışmada kullanılan sismik ve gravite veri setleri ile jeolojik yorumları.

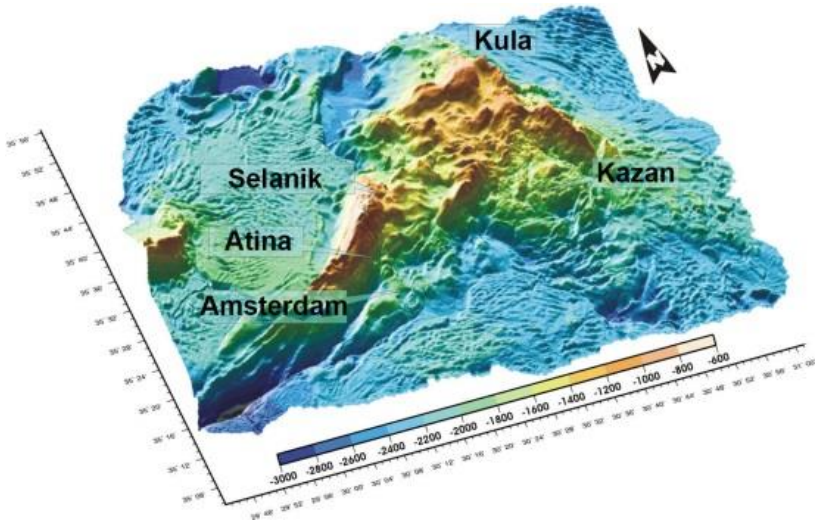
2.2.1. Antalya, Finike ve Rodos havzaları

Çamur volkanları (mud volcanoes) ile petrol ve doğalgaz sahaları arasında sıkı bir ilişki vardır. Çamur volkanları, petrol ve doğalgaz sahalarında yaygın olarak görülen oluşumlardandır. Gaz ve su çıkışları ile yakın ilişkili olan bu volkanlar, genellikle antiklinal doruklarına veya kıvrımlanma sonucu oluşan kırıklara yakın yerlerde oluşurlar. Petrollü seviyeler içeren ve yüzeye yakın antiklinaller üzerinde daha çok sayıda çamur volkanı görülmektedir. Öte yandan, petrollü seviyelerin çok derinde olduğu alanlarda ise, çok az sayıda çamur volkanı görülür. Çamur volkanları, özellikle Tersiyer yaşlı (çoğunluğu Neojen ve bir kısmı Kuvaterner yaşlı olmak üzere) petrol ve doğalgaz sahalarının belirgin özelliğidir. Örneğin, Azerbaycan'da 220'ye yakın çamur volkanının varlığı bilinmektedir. Bu çamur volkanları, Bakü'nün batı ve güneybatısında yer almaktadır. Bu bölge, aynı zamanda petrol ve doğalgaz sahalarının da en yoğun olduğu bölgedir (İnan, 1982). Çamur volkanları ve petrol sistemleri arasındaki ilişkiler, literatürdeki bazı çalışmalarda detaylı olarak incelenmiştir (Guliev ve Feizullayev, 1996; Planke ve diğ., 2003; Guliev ve diğ., 2003; Mazzini ve diğ., 2009; Mazzini and Etiope, 2017; Alizadeh ve diğ., 2017).

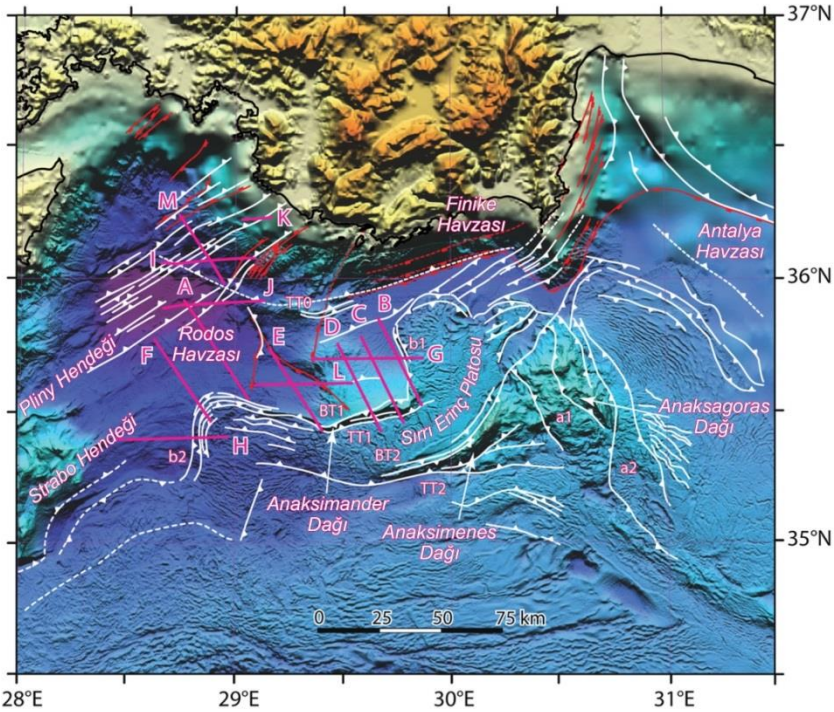
1970'lerde Akdeniz'deki ilk çamur volkanlarının keşfinden bugüne, farklı alanlarda birçok çamur volkanı, çamur diyapiri ve soğuk sızıntı belirlenmiştir. Bunların çoğunluğu, Helenik Yayı'nın yığışım prizması üzerindeki Anaximander Dağları'nda bulunmaktadır. Akdeniz'deki çamur volkanları (Amsterdam, Atina, Kazan, Kula ve Selanik),

Türkiye'nin Akdeniz'deki MEB'ndeki büyük hidrokarbon kaynaklarının varlığı için kanıttır. Akdeniz'deki çamur volkanları, Lykousis ve diğ. (2009) ve Deyhle ve diğ. (2003)'nin çalışmalarında, bölgenin yeraltı jeolojisi de Aksu ve diğ. (2009 ve 2019) çalışmalarında incelenmiştir (Şekil 9 ve 10). Yazarlar tarafından Antalya, Finike ve Rodos Havzaları'nda tespit edilen potansiyel hidrokarbon arama hedefleri ve bu hedef alanlarda delinmesi önerilen sondaj kuyularının koordinatları Şekil 11 ve Tablo 2'de verilmiştir.

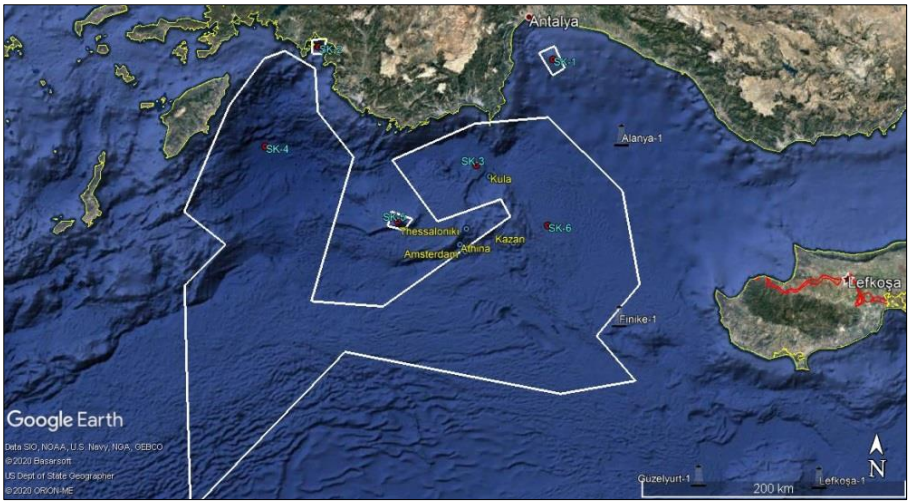




Şekil 9. Akdeniz'deki çamur volkanları (Lykousis et al., 2009).



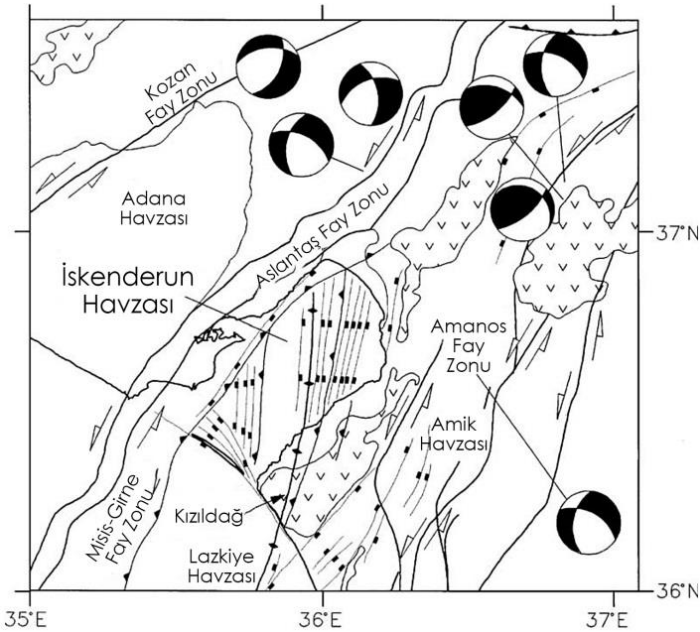
Şekil 10. Antalya, Finike ve Rodos havzalarının tektonik haritası (Aksu ve diğ., 2019).



Şekil 11. Antalya, Finike ve Rodos havzalarındaki potansiyel hidrokarbon arama hedefleri (beyaz çokgenler) ve bu hedef alanlarda (çamur volkanları: Amsterdam, Athina, Kazan, Kula ve Selanik) delinmesi önerilen sondaj kuyularının konumları.

2.2.2. İskenderun havzası

Bugüne kadar İskenderun Havzası'nda birçok hidrokarbon arama kuyusu delinmiştir. Bu kuyulardan bazılarında, İskenderun Havzası'nda çalışan bir petrol sisteminin varlığını kanıtlayan petrol ve doğalgaz emarelerine rastlanmıştır. Havzanın yeraltı jeolojisi ve hidrokarbon potansiyeli üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur (Işık, 1998, Aksu, 1999, Garcı´a-Garcı´a ve diğ., 2004; Aksu ve diğ., 2005; Öztürk, 2005; Çiftçi, 2018) (Şekil 12). Şekil 13 ve Tablo 2'de, İskenderun Havzası'ndaki potansiyel hidrokarbon arama hedefleri ve yazarlar tarafından bu hedef alanlarda delinmesi için önerilen kuyuların konumları verilmiştir.



Şekil 12. İskenderun Havzası'nın tektonik haritası. Ana bindirmeler/fay zonları, taban blokta tırnaklar ile temsil edilen normal faylar (siyah dikdörtgenler), taban blokta tırnaklar ile temsil edilen bindirme/ters faylar (siyah üçgenler) ve ofiyolitler (v) (Aksu ve diğ., 2005).

Şekil 13. İskenderun Havzası'ndaki hidrokarbon arama hedefleri (beyaz dörtgenler) ve bu hedeflerde delinmesi önerilen sondaj kuyularının konumları (Lagos: çopur - pockmark).

Tablo 2. Akdeniz'de hidrokarbon arama için açılması önerilen sondaj kuyularının koordinatları (bkz. Şekil 11 ve 13).

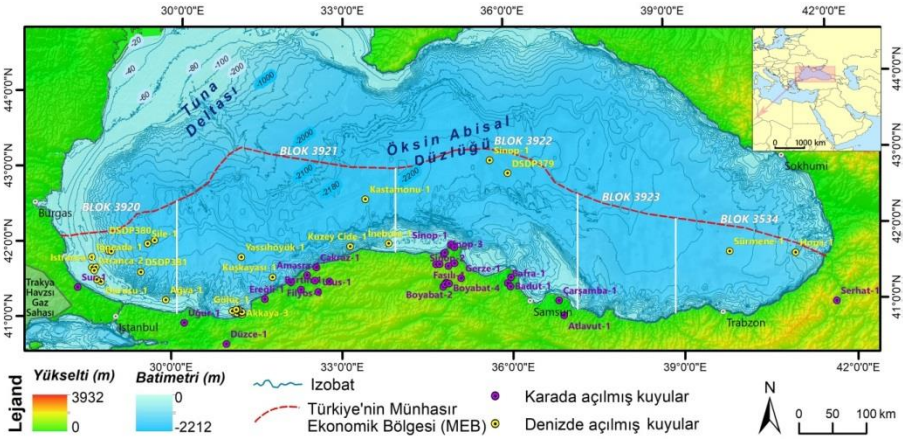
Havza	Kuyu	Enlem	Boylam
Antalya	SK-1	36.62°	30.92°
Rodos	SK-2	36.66°	28.98°
Finike	SK-3	35.91°	30.30°
Rodos	SK-4	35.99°	28.57°
Finike	SK-5	35.53°	29.68°
Antalya	SK-6	35.52°	30.90°
İskenderun	SK-1	36.51°	35.42°
İskenderun	SK-2	36.07°	35.71°
İskenderun	SK-3	36.28°	35.18°
İskenderun	SK-4	36.13°	35.53°

3. KARADENİZ'İN HİDROKARBON POTANSİYELİ VE ARAMA HEDEFLERİ

Karadeniz, dünyanın en büyük iç denizlerinden biridir. Oval şekilli bir havza olan Karadeniz Havzası, çok ilginç bir jeolojik yapıya sahiptir (Şekil 14). Birçok çamur volkanı, sediman taşınmasında önemli rol oynayan aktif kanallar, aktif faylar ve metan sızıntıları gibi çeşitli jeolojik oluşumlar içermektedir. Karadeniz'in jeolojik ve tektonik yapısı hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte, Karadeniz'in oluşumunu, bölgesel havza yapısını ve özellikle de Orta Karadeniz Yükselimi'nin iki yan havzasının (Batı ve Doğu Karadeniz havzaları) Türkiye'nin kıyı alanları ile olan ilişkisini kontrol eden mekanizmalar halen tartışmalıdır.

Karadeniz, petrol jeologları için büyük bir cazibeye sahiptir ve derin deniz arama sektöründe çok az sayıda kuyu açılmış bir havzadır. Bol miktarda hidrokarbon sızıntısı, kıta kenarları yakınındaki potansiyel

kaynak kaya mostraları, sismik kesitlerde görüntülenen olası kapanlar, Karadeniz'de önemli bir hidrokarbon potansiyeline işaret etmektedir (Simmons ve diğ., 2018). Karadeniz'de son 30-40 yılda detaylı jeofizik ve sondaj verisi elde edilmiştir. Buna ek olarak, bu veriler farklı araştırmacılar tarafından aynı litostratigrafik veya tektonik birimler için farklı tanımlar, terminolojiler ve isimler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde, ortak bir yaklaşımın benimsenmesi bölgedeki petrol ve gaz yataklarının keşfi açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye tarafından Karadeniz'de birçok sondaj kuyusu delinmiştir. Ancak, bu kuyularda uzun süreli üretim yapılabilir herhangi bir petrol ve/veya doğalgaz sahası keşfi yapılamamıştır (Şekil 14, Tablo 3 ve 4).



Şekil 14. Türkiye'nin Karadeniz'deki MEB'nde (kırmızı kesikli çizgi ile sınırlanmış) delinmiş olan kara ve deniz alanlarındaki hidrokarbon arama kuyuları (taban harita: Ross ve diğ., 1978'den değiştirilerek)

3.1. Karadeniz'in Hidrokarbon Potansiyeli

Hidrokarbon emareli kuyular, deniz havzasındaki çamur volkanları ve denize yakın kara alanlarındaki hidrokarbon sızıntıları, Türkiye'nin Karadeniz MEB'ndeki çalışan petrol sistemlerinin kanıtıdır (Şekil 15). Özdemir ve Palabıyık (2019a, b) çalışmalarında, petrol kaynak kayalarının rift zonlarında oluştuğu belirtilmiştir. Karadeniz rift havzasının gelişimi de, bazı çalışmalarda incelenmiştir (Robinson ve diğ., 1996; Tari, 2015; Tari ve diğ., 2015a; Keskin ve Tüysüz, 2017). Dolayısıyla, Karadeniz Havzası'ndaki hidrokarbonları türeten kaynak kayalar, bu riftleşme içeren jeolojik dönemlerde oluşmuş olmalıdır (Şekil 15 ve 16).

Karadeniz yay gerisi havzasının güney kıta kenarı, baskın olarak Apsiyen (Alt Kretase)'den Holosen'e kadar kalın bir kırıntılı kaya istifi ile temsil edilmektedir. Bu serinin çeşitli stratigrafik seviyelerinde, potansiyel kaynak, rezervuar ve örtü kayaları yaygındır. En muhtemel kaynak ve rezervuar kayaları havzanın riftleşme aşamasında birikmiş gibi görünmektedir (Şekil 16). Bu aşamada, rift nispeten sığ olmakla birlikte, güneydeki Neotetis okyanusu ile irtibatı kesilmiştir. Rift sonrası aşamada, sınırlı kaynak ve rezervuar potansiyeline sahip kalın bir volkanoklastik türbidit ve alt pelajik kireçtaşı serisi birikmiştir. Bu birikim, Alt Eosen sonunda, Neotetis'in kapanmasından kaynaklanan sıkışma tektoniği ile kesintiye uğramıştır. Rift sonrası sedimantasyon, muhtemelen daha önceki kaynak kayaları hidrokarbon türetme penceresine taşırken, Eosen

sıkışma tektoniği ana kapanlanmaları oluşturmuştur (Robinson ve diğ., 1996; Görür ve Tüysüz, 1997).

Karadeniz, dünyadaki en büyük anoksik (oksijensiz) havzadır ve organik maddenin korunması için ideal koşullar sunmaktadır. Maykop Serisi, Karadeniz deniz havzasında, Büyük Kafkas ve Güney Hazar Denizi'ni içeren bölgede Oligosen-Alt Miyosen'de birikmiş organik karbonca zengin sedimanlara verilen isimdir. Birikme, Eosen sonunda ve Oligosen başında Paratetis'in ilk yalıtımı ile ilişkilidir. Oligosen-Miyosen dönemi, deniz seviyesinde çeşitli östatik ve bölgesel değişiklikler içermektedir. Bu değişiklikler, Maykop Serisi'nin ince taneli organik maddece zengin sedimanları ve kumtaşı paketlerinin ardalanmalı birikimine sebep olmuştur (Şekil 16) (Simmons ve diğ., 2018).

Tablo 3. Türkiye'nin Kardeniz MEB'nde günümüze kadar delinmiş olan deniz hidrokarbon arama kuyuları (bkz. Şekil 14).

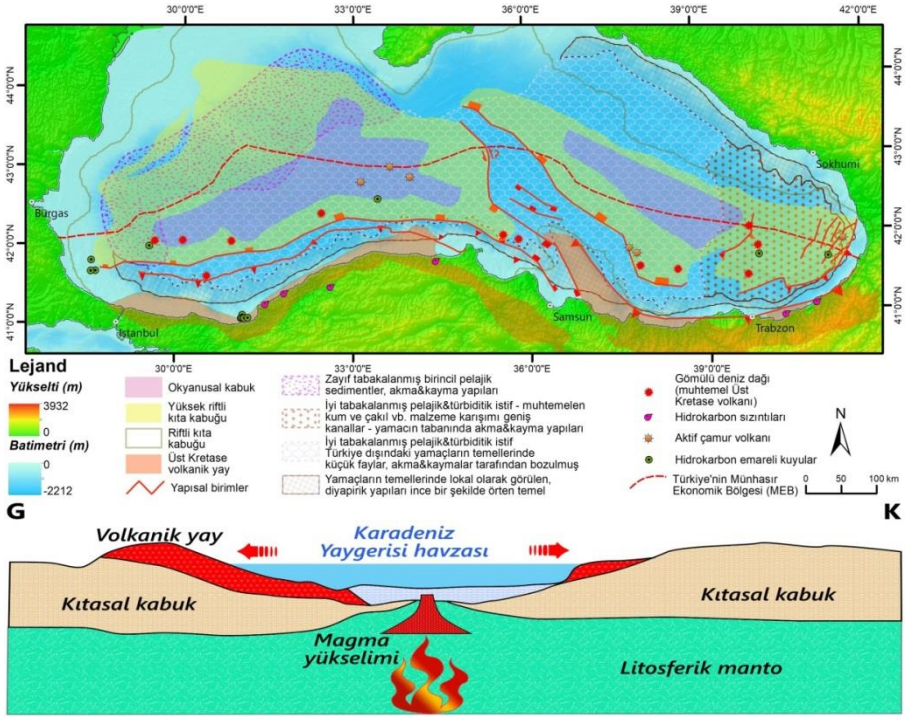
Blok	Kuyu Adı	Enlem	Boylam	Derinlik (m)	Hidrokarbon Bulgusu
3920	Şile-1	42.05°	29.52°	4520	Petrol emaresi
	DSDP380	42.10°	29.64°	3189	Sedimanlarda C1-C7 hidrokarbonlar
	DSDP381	41.67°	29.42°	2254	Sedimanlarda C1-C7 hidrokarbonlar
	Limanköy-1	41.93°	28.83°	2755	Hafif petrol emaresi
	Limanköy-2	41.93°	28.87°	3326	Hafif petrol emaresi
	İğneada-1	41.84°	28.54°	3118	Petrol emaresi
	Karadeniz-1	41.70°	28.55°	2597	Petrol emaresi
	Istranca-1	41.71°	28.62°	3650	Gaz emaresi
	Istranca-2	41.66°	28.59°	3900	Kuru
	Karaburun-1	41.54°	28.64°	1223	Kuru
	Durusu-1	41.52°	28.72°	2510	Kuru
	Ağva-1	41.31°	29.88°	1300	Kuru
3921	Ayazlı-1	41.17°	31.11°	1803	Kısa süreli gaz üretimi
	Ayazlı-2	41.17°	31.10°	1213	Kısa süreli gaz üretimi
	Ayazlı-3	41.17°	31.10°	1335	Kısa süreli gaz üretimi
	Doğu Ayazlı-1	41.16°	31.14°	1240	Kısa süreli gaz üretimi
	Doğu Ayazlı-2	41.16°	31.14°	1456	Kısa süreli gaz üretimi
	Bayhanlı-1	41.16°	31.16°	1595	Kısa süreli gaz üretimi
	Akkaya-1	41.17°	31.22°	1275	Kısa süreli gaz üretimi
	Akkaya-2	41.17°	31.21°	1350	Kısa süreli gaz üretimi
	Akkaya-3	41.17°	31.23°	1822	Kısa süreli gaz üretimi
	Kuzey Akkaya-1	41.18°	31.20°	1582	Kuru
	Doğu Akkaya-1	41.18°	31.23°	1400	Kuru
	Alaplı-1	41.19°	31.22°	1375	Kısa süreli gaz üretimi
	Gülüç-1	41.21°	31.17°	1614	Kısa süreli gaz üretimi
	Akçakoca-1	41.21°	31.13°	2284	Kısa süreli gaz üretimi
	Akçakoca-2	41.21°	31.15°	1643	Kısa süreli gaz üretimi
	Akçakoca-3	41.21°	31.14°	2200	Kısa süreli gaz üretimi
	Akçakoca-4	41.21°	31.13°	1864	Kısa süreli gaz üretimi
	Akçakoca-5	41.21°	31.13°	1757	Kısa süreli gaz üretimi
	Batı Eskikale-1	41.19°	31.06°	2092	Kısa süreli gaz üretimi
	Çayağzı-1	41.15°	31.23°	1200	Kuru
	Yassıhöyük-1	41.91°	31.20°	5343	Kuru
	Kuzey Cide-1	42.06°	31.15°	2526	Kuru
	İnebolu-1	42.11°	33.84°	2200	Kuru
	Kastamonu-1	42.70°	33.42°	5272	Gaz emaresi
	Kuşkayası-1	41.65°	31.76°	2147	Gaz emaresi
3922	Sinop-1	42.07°	34.95°	5531	Kuru
	DSDP379	43.00°	36.01°	2795	Sedimanlarda C4-C7 hidrokarbonlar
3534	Hopa-1 (HPX-1)	41.70°	41.08°	4700	Petrol ve gaz emaresi
	Sürmene-1	41.80°	39.92°	4830	Petrol emaresi

Tablo 4. Karadeniz Bölgesi kara alanlarında günümüze kadar delinmiş hidrokarbon arama kuyuları (bkz. Şekil 14).

Kuyu Adı	Enlem	Boylam	Derinlik (m)	Hidrokarbon Bulgusu
Uğur-1	41.02°	30.22°	2971	Su emaresi
Ereğli-1	41.36°	31.63°	2434	Su emaresi
Amasra-1	41.68°	32.38°	2609	Kuru
Çakraz-1	41.79°	32.54°	1595	Su emaresi
Ulus-1	41.46°	32.58°	1680	Gaz emaresi
Ulus-2	41.60°	32.78°	3000	Kuru
Bartın-1	41.49°	32.27°	3939	Gaz emaresi
Gegendere-1	41.61°	32.52°	2964	Gaz emaresi
Filyos-1	41.58°	32.09°	3103	Gaz emaresi
Fasılı-1	41.82°	34.68°	2626	Gaz emaresi
Soğuksu-1	41.80°	34.90°	2760	Gaz emaresi
Erfelek-1	41.83°	35.01°	4515	Kuru
Gerze-1	41.62°	35.12°	2750	Kuru
Sinop-1	42.07°	34.95°	717	Kuru
Sinop-2	42.04°	35.01°	523	Kuru
Sinop-3	41.95°	34.82°	823	Kuru
Karasu-1	41.97°	34.84°	2388	Kuru
Akveren-1	41.82°	34.74°	4645	Kuru
Boyabat-1	41.52°	34.80°	2176	Kuru
Boyabat-2	41.55°	34.83°	4269	Gaz emaresi
Boyabat-3	41.57°	34.86°	3400	Kuru
Boyabat-4	41.56°	34.90°	4258	Gaz emaresi
Badut-1	41.62°	36.01°	2609	Gaz emaresi
Bafra-1	41.54°	35.95°	2573	Kuru
Çarşamba-1	41.29°	36.84°	1830	Kuru
Serhat-1	41.02°	41.72°	3707	Kuru

Karadeniz ile Hazar Denizi arasında petrol jeolojisi özellikleri açısından önemli benzerlikler bulunmaktadır. Bununla birlikte, Karadeniz Havzası'ndaki ilk arama faaliyetleri, söz konusu havzada çeşitli hidrokarbonlu alanların varlığını belirtmesine rağmen, bugüne

kadar ekonomik hidrokarbon keşfi anlamında belirgin bir başarı elde edilememiştir. Çünkü, Karadeniz'in küresel hidrokarbon üretimine bugünkü katkısı, özellikle komşu Hazar Denizi ile karşılaştırıldığında bile oldukça düşüktür (Robinson ve diğ., 1996; Simmons ve diğ., 2018; Tari ve Simmons, 2018). Karadeniz'deki silisiklastik rezervuarların varlığı ve kalitesinin öngörülebilirliğindeki zorluklar, öncel çalışmalarda kanıtlanmıştır. Bu zorlukların aşılması, havzadaki ilişkilerin (özellikle sediman kanallarının gömülmesinin jeolojik tarihçesi), kaynak kaya ve potansiyel rezervuarları oluşturmak için aşınan kayaların doğasının anlaşılmasını gerektirir. Hidrokarbon birikimi, arama başarısını sınırlayan bir husus olabilir. Bu nedenlerle, Maykop Serisi ve eşdeğerleri, genellikle varsayıldığı gibi Karadeniz Havzası'nın yüksek kaliteli kaynak kayaları olmayabilir. Kuma Serisi gibi eski kaynak kayaların, Karadeniz'in hidrokarbon potansiyeli üzerindeki etkisinin ne kadar önemli olduğu bir soru işaretidir. Diğer bir tartışma konusu ise, bu birimin gömülme derinliği göz önüne alındığında, Karadeniz'in doğalgaz potansiyelinin petrol potansiyelinden daha yüksek olup olmadığıdır (Simmons ve diğ., 2018).



Şekil 15. Farklı kabuk türlerine sahip Karadeniz'in tektonik modeli. Koyu mavi çokgen: okyanusal kabuk, sarımsı yeşil çokgen: yüksek riftli kıta kabuğu, turuncu çizgi: riftli kıta kabuğu, yeşil çokgenler: volkanik yay, yıldızlar: volkanlar, yeşil üçgenler: çamur volkanları, pembe üçgenler: hidrokarbon sızıntıları, kırmızı daireler: hidrokarbon emareli kuyular (veriler: Robinson ve diğ., 1996; Derman ve Iztan, 1997; Nikishin ve diğ., 2015; Tari, 2015; Simmons ve diğ., 2018; Tari ve diğ., 2018; Palabıyık ve Özdemir, 2019).

3.2. Karadeniz'deki Gelecek Petrol ve Doğalgaz Arama Hedefleri

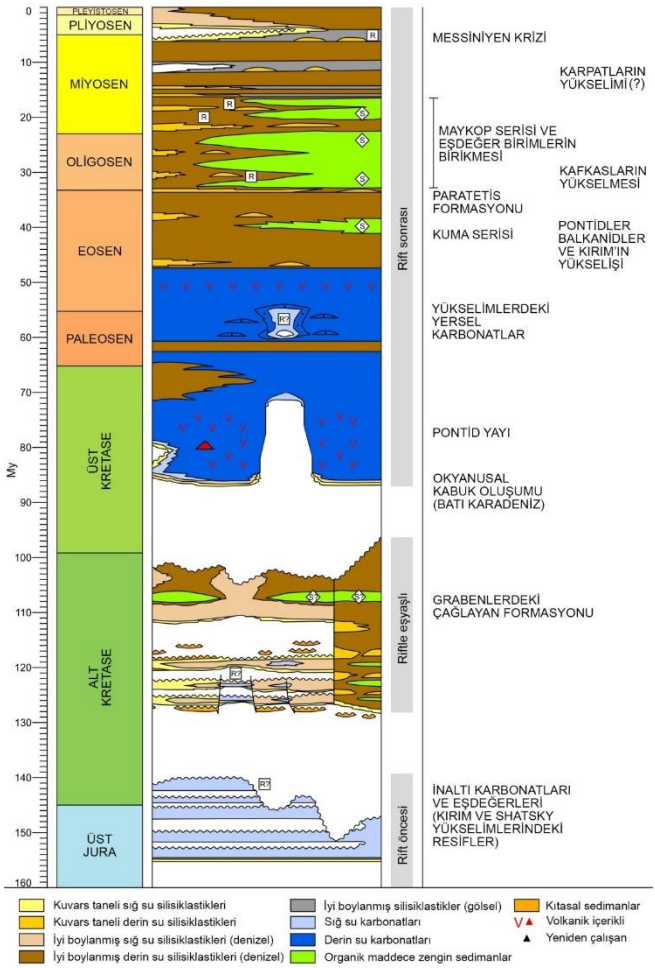
Karadeniz'in MEB ile ilgili detaylı jeofizik (sismik, gravite ve manyetik) ve jeokimyasal verileri literatürde mevcuttur (Şekil 17). Ayrıca, Karadeniz Havzası'nın yeraltı jeolojisi ve hidrokarbon potansiyeli hakkında birçok araştırmacı tarafından da çalışmalar yapılmıştır (Ross ve diğ., 1978; Neprochnov ve Ross, 1978; Finetti ve diğ., 1988; Robinson ve diğ., 1995 ve 1996; Berton, 1997; Derman ve

İztan, 1997; Görür ve Tüysüz, 1997; Tolun, 2001; Ergün ve diğ., 2002; Tezcan, 2008; Menlikli ve diğ., 2009; Kaymaz, 2010; Ünal, 2009; Nikishin ve diğ., 2011 ve 2015; Maden ve Dondurur, 2012; Özel (S), 2012; Özel (K), 2012; Sipahioğlu ve diğ., 2013; Yegorova ve diğ., 2013; Cloetingh ve diğ., 2015; Tari ve diğ., 2015b; Tari ve diğ., 2016; İşcan ve diğ., 2017; Parlak, 2017; Tütünsayar, 2017; Merey, 2017; Tari ve Simmons, 2018; Simmons ve diğ., 2018; Sipahioğlu ve Batı, 2018; Tari ve diğ., 2018; Ocakoğlu ve diğ., 2018; Shillington ve diğ., 2018; Monteleone ve diğ., 2019; Önal ve Demirbağ, 2019). Ayrıca, günümüze kadar Karadeniz MEB'nde de birçok hidrokarbon arama kuyusu delinmiştir (Şekil 14, Tablo 3 ve 4).

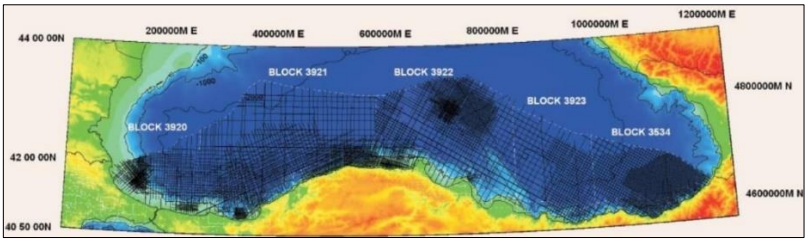
Bu çalışmada, Türkiye'nin Karadeniz'deki hidrokarbon arama hedef alanlarını belirlemek için, denizdeki ve kıyıya yakın petrol ve doğalgaz arama kuyuları ve jeolojik yorumları da içeren geniş bir jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal veri seti detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 17). Yazarlar tarafından yapılan bu kapsamlı inceleme sonucunda, Türkiye'nin Karadeniz MEB'nde bazı petrol ve doğalgaz rezervuarlarının bulunabileceği tespit edilmiştir (Şekil 18 ve Tablo 5).

Orta Karadeniz Yükselimi'nin batısındaki dar Batı Karadeniz şelfinde, Batı Pontidler bindirme kuşağının denizdeki uzantısı yer almaktadır. Bu şelfte, büyük miktarda birikme aşındırması gözlenmiştir (Robinson ve diğ., 1996). Bu durumda, Batı Karadeniz'deki (Blok 3920, 3921 ve 3922'nin batısı) olası rezervuarlar düşük kaliteli olacaktır (Şekil 18 ve 19). Ayrıca, Batı Karadeniz Havzası'nda delinecek olan kuyular, çeşitli problemler (yanal keşe - fay düzlemi, göç yolu, rezervuar

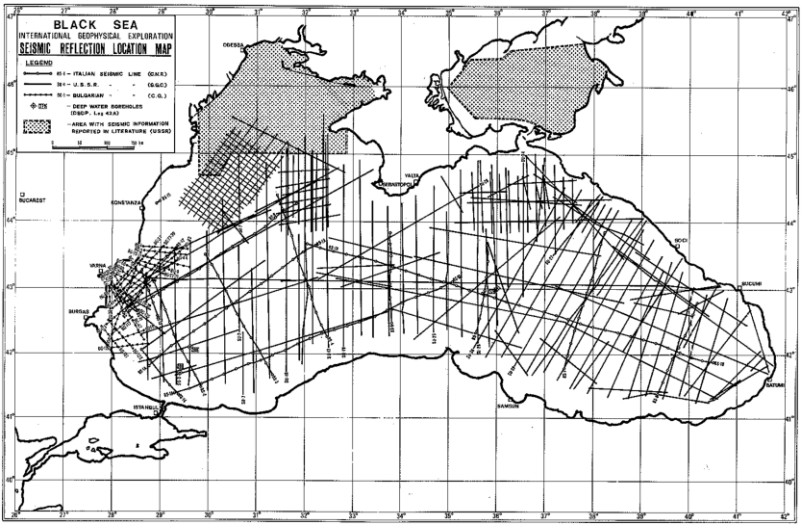
kalitesi - gözeneklilik ve geçirgenlik) nedeniyle Doğu Karadeniz Havzası'ndan daha riskli olacaktır. Batı Karadeniz'de geçmişte delinmiş olan birçok kuru veya kısa süreli üretim kuyusu bu görüşü desteklemektedir (bkz. Şekil 14).



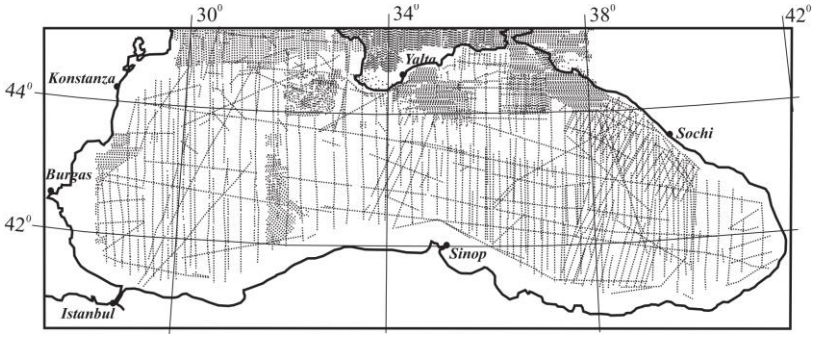
Şekil 16. Karadeniz'in genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti. R: rezervuar kaya, S: kaynak kaya (Simmons ve diğ., 2018).



(sismik veri: Menlikli ve diğ., 2009)



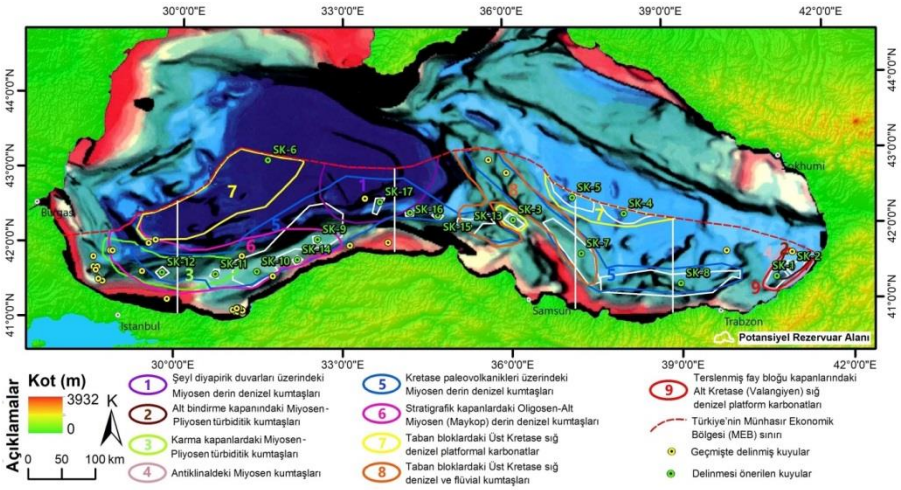
(sismik veri: Finetti ve diğ., 1988)



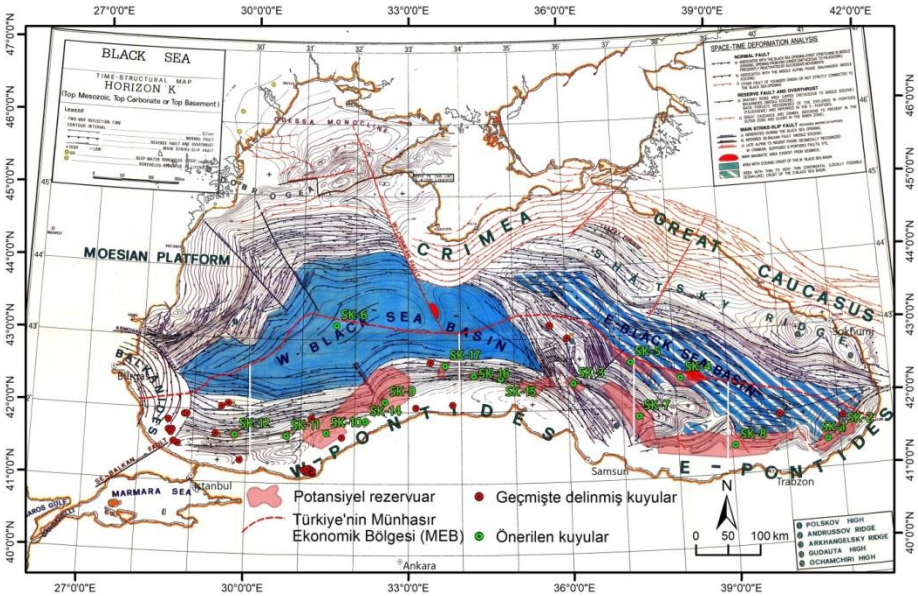
(gravite verisi: Starostenko ve diğ., 2004)

Şekil 17. Türkiye'nin Karadeniz MEB'ni de içeren sismik ve gravite veritabanı

Orta Karadeniz Yükselimi, Batı ve Doğu Karadeniz havzalarını birbirinden ayıran, iki havzayı oluşturan riftleşme olaylarının ürünü olan KB-GD yönlü bir sırttır. Orta Karadeniz Yükselimi, kıyıya yakın Tersiyer sıkışmasından etkilenmiştir ve bir dizi küçük bindirme antiklinalleri içermektedir (Robinson ve diğ., 1996). Günümüzde, kaynak kayaların türettiği hidrokarbonlar, hem Batı hem de Doğu Karadeniz havzalarının bazı kısımlarından Orta Karadeniz Yükselimi'ne (Blok 3922 ve 3923'ün batısı) doğru göç etme eğilimindedir. Orta Karadeniz Yükselimi'ndeki hidrokarbon rezervuarı oluşumu için kritik husus, rezervuar gelişiminin belirsizliği ve rift sonrası birimlerden rift öncesi dizilere zorunlu olarak kıvrımlı göç yoludur (Şekil 19). Bununla birlikte, Orta Karadeniz Yükselimi'nde şu zamana dek delinen kuyu sayısı çok azdır (Şekil 14).



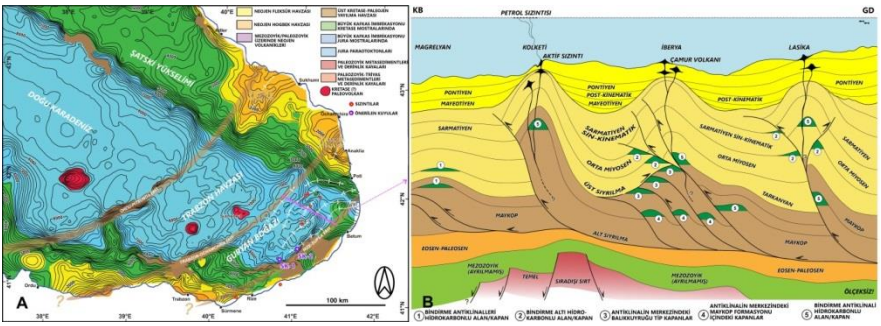
Şekil 18. Türkiye'nin Karadeniz MEB'ndeki test edilmiş ve spekülatif hidrokarbonlu alan tipleri (test edilmiş ve spekülatif hidrokarbonlu alan tipleri: Tari and Simmons, 2018'den değiştirilerek) (taban harita: Robinson, 1997'den)



Şekil 19. Türkiye'nin Karadeniz MEB'nde hidrokarbon arama sondajı yapılması için önerilen kuyuların konumları. Beyaz çokgenler: potansiyel rezervuarlar, kırmızı daireler: geçmişte delinmiş arama kuyuları, * SK-n: önerilen arama kuyuları (kuyular öneri sırasına göre numaralandırılmıştır). Rift sonrası havza dolgusunun derinlik haritası, Karadeniz'deki ana yapısal özellikleri göstermektedir. Batı Karadeniz Havzası'nın rift sonrası dolgusu, Doğu Karadeniz Havzası'ndan çok daha derindir ve havzalar aynı yaşta değildir (taban harita: Finetti ve diğ., 1988'den). *: n = 1'den n = 17'ye kadar önerilen arama kuyularının sıra indisi

Karadeniz'in deniz kısmının jeolojik yapısı ve tarihçesi ile ilgili tartışmalar ve belirsizlik devam etmektedir. Bazı deniz arama kuyuları, rezervuar(lar)ın varlığı ve kalitesi doğru bir şekilde tahmin edilemediği için başarısız olmuştur. Bu durum, hem karbonat hem de silisiklastik petrol sistemleri için geçerlidir. Karbonat kayaların varlığının doğru tahmini ve hidrokarbonların biriktirilebileceği yükselimlerin yükselme ve çökme geçmişi hakkında kapsamlı bir bilgi gerektirir (Simmons ve diğ., 2018). Karadeniz'deki hidrokarbon aramalarında, özellikle derin su bölgelerinde yüksek jeolojik riskler vardır. Bu riskler, özellikle rezervuar varlığı ve kalitesi (kısmen

sediman kuşakları ile ilgili) ile hidrokarbonların kaynak kayaların oluşumundan potansiyel kapanlara zamanlaması ve göçü ile ilişkilidir (özellikle Batı Karadeniz için). Doğu ve Orta Karadeniz Bölgeleri'nde yazarlar tarafından önerilen kuyulardaki (3534, 3922, 3923 ve ve 3920 Blok'larındaki SK-1, SK-2, SK-3, SK-4, SK-5 ve SK-6) jeolojik riskler kabul edilebilir sınırlardadır. SK-1 ve SK-2 kuyuları, antiklinallerdeki Miyosen kumtaşları, alt bindirme kapanlarındaki Miyosen-Pliyosen türbiditik kumtaşları ve terslenmiş fay bloğu kapanlarındaki Alt Kretase (Valanginiyen) yaşlı sığ denizel platform karbonat rezervuarların tespiti için uygun lokasyonlar olarak önerilmiştir. Önerilen SK-3, SK-4 ve SK-5 kuyularında da, özellikle verimli karbonat rezervuarların bulunabileceği öngörülmektedir (Şekil 18-20).



Şekil 20. Doğu Karadeniz Havzası'ndaki test edilmiş ve spekülatif derin su hidrokarbonlu alan türleri (yazarlar tarafından SK-1 ve SK-2 kuyuları için öngörülen model) (Tari ve Simmons, 2018; Tari ve diğ., 2018'den değiştirilerek)

Yazarlar tarafından önerilen diğer kuyular (Blok 3920, 3921, 3922 ve 3923'deki SK-7, SK-8, SK-9, SK-10, SK-11, SK-12, SK-13, SK-14, SK-15, SK-16 ve SK-17) nispeten yüksek riskli olarak kabul edilmektedir. Karadeniz Havzası kumtaşlarında, keşfedilebilecek gaz

alanlarının ticari değerlerinin sınırlı olacağı tahmin edilmektedir (Akçakoca, Ayazlı, Doğu Ayazlı, Akkaya doğalgaz sahaları gibi). Çünkü, Karadeniz'deki kumtaşlarının kalınlıkları genellikle incedir ve yayılım alanları da sınırlıdır. Ayrıca, delinecek kuyularda hidrokarbon bulunsa bile, yüksek su doygunluğu nedeniyle bu kuyuların kısa bir süre sonra gaz üretimini engelleyebilecek çok yüksek miktarda su üretimi problemi yaşayabileceği şaşırtıcı olmayacaktır. Ek olarak, bu kuyularda beklenen genel petrol jeolojisi sorunları başlıca rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik vb. gibi), göç yolu ve kapan bütünlüğü olarak sıralanabilir (Şekil 18-20).

Karadeniz, hidrokarbon arama bakımından dünyanın en bakir ve en büyük rift havzalarından biri olmaya devam etmektedir. Son yıllarda, önemli biyojenik gaz keşifleri yapılmış olmasına karşın, termojenik petrol sistemleri halen keşfedilmeyi beklemektedir. Büyük olasılıkla, gelecekte Karadeniz'in Türkiye MEB'nde bazı kayda değer ekonomik petrol ve/veya doğalgaz üretim sahaları keşfedilecektir. Diğer yandan, gelecekte delinecek sondaj kuyulardan elde edilecek veriler ışığında, Karadeniz'in Hazar Denizi kadar önemli bir ekonomik hidrokarbon potansiyeline sahip olduğu görüşü de çürütülecektir.

Tablo 5. Karadeniz'de delinmesi için önerilen arama kuyularının koordinatları (bkz. Şekil 18 ve 19). Kuyular, öneri sırasına göre numaralandırılmıştır (birimlerin ve yapıların jeolojik adlandırılmasında Tari ve Simmons, 2018'in çalışması referans alınmıştır).

Önerilen Kuyu	Enlem	Boylam	Alan(lar)	Kaynak Kaya(lar)	Hedef/Rezervuar Birim(ler)	Keçe(ler)	Risk(ler)
SK-1	41.40°	40.77°	Alt bindirme kapanındaki Miyosen-Pliyosen türbiditik kumtaşları (?)	Oligosen-Miyosen (Maykop Formasyonu ve eşdeğeri) organik maddece zengin derin denizel çamurtaşları (?)	Miyosen-Pliyosen derin su türbiditik kumtaşları (?)	Pliyosen derin gölsel ve derin denizel çamurtaşları (?)	
			Antiklinallerdeki Miyosen kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin seyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol)	Miyosen kumtaşları	Oligosen - Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel şeyller	
			Terslenmiş fay bloğu kapanlarındaki Alt Kretase sığ denizel platform karbonatları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Alt Kretase (Valanginiyen) sığ denizel platform karbonatları	Alt Kretase (Valanginiyen) formasyon içi sığ denizel karbonatlar ve çamurtaşları	
SK-2	41.50°	41.10°	Alt bindirme kapanındaki Miyosen-Pliyosen türbiditik kumtaşları	Oligosen-Miyosen (Maykop Formasyonu ve eşdeğeri) organik maddece zengin derin denizel çamurtaşları	Miyosen-Pliyosen derin su türbiditik kumtaşları	Pliyosen derin gölsel ve derin denizel çamurtaşları	

			Antiklinallerdeki Miyosen kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin seyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol)	Miyosen kumtaşları	Oligosen - Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel şeyller	
			Terslenmiş fay bloğu kapanlarındaki Alt Kretase sığ denizel platform karbonatları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Alt Kretase (Valanginiyen) sığ denizel platform karbonatları	Alt Kretase (Valanginiyen) formasyom içi sığ denizel karbonatlar ve çamurtaşları	
SK-3	42.36°	36.11°	Taban bloktaki Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Üst Kretase formasyon içi sığ denizel karbonatlar ve çamurtaşları, Paleosen-Eosen derin denizel çamurtaşları	
SK-4	42.38°	38.11°	Taban bloklardaki Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Üst Kretase formasyon içi sığ denizel karbonatlar ve çamurtaşları, Paleosen-Eosen derin denizel çamurtaşları	
SK-5	42.64°	37.20°	Taban bloklardaki Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Üst Kretase formasyon içi sığ denizel karbonatlar ve çamurtaşları, Paleosen-Eosen derin denizel çamurtaşları	

SK-6	43.21°	31.64°	Taban bloklardaki Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Üst Kretase sığ denizel platform karbonatları	Üst Kretase formasyon içi sığ denizel karbonatlar ve çamurtaşları, Paleosen-Eosen derin denizel çamurtaşları	
SK-7	41.88°	37.33°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
			Taban bloklardaki Alt Kretase sığ denizel ve flüviyal kumtaşları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Alt Kretase sığ denizel ve flüviyal kumtaşları	Alt Kretase sığ denizel çamurtaşları	Yanal keçe - fay düzlemi, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
SK-8	41.40°	39.47°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü

SK-9	42.16°	32.55°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
			Stratigrafik kapanlardaki Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları		Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları	Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel şeyller	Kapan varlığı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
SK-10	41.78°	31.39°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
			Stratirafik kapanlardaki Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları		Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları	Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel şeyller	Kapan varlığı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
SK-11	41.66°	30.74°	Karma kapanlardaki Miyosen-Pliyosen türbiditik kumtaşları	Oligosen-Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin derin denizel çamurtaşları, biyojenik gaz	Pliyosen-Miyosen derin su türbiditik kumtaşları	Pliyosen derin gölsel ve derin denizel çamurtaşları	Yukarı eğimli fay kapanımı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
			Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri)	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
			Stratigrafik kapanlardaki Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri)		Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları	Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel	Kapan varlığı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)

			derin denizel kumtaşları	derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz		şeyller	
SK-12	41.65°	29.77°	Karma kapanlardaki Miyosen-Pliyosen türbiditik kumtaşları	Oligosen-Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin derin denizel çamurtaşları, biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin su türbiditik kumtaşları	Pliyosen derin gölsel ve derin denizel çamurtaşları	Yukarı eğimli fay kapanımı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
			Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
			Stratigrafik kapanlardaki Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları		Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları	Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel şeyller	Kapan varlığı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
SK-13	42.32°	35.31°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü

			Taban bloklardaki Alt Kretase sığ denizel ve flüviyal kumtaşları	Alt-Orta Jura (Etropole Formasyonu veya eşdeğeri) organik maddece zengin sığ denizel çamurtaşları ve marnlar (gaz)	Alt Kretase sığ denizel ve flüviyal kumtaşları	Alt Kretase sığ denizel çamurtaşları	Yanal keçe - fay düzlemi, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
SK-14	41.87°	32.20°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
			Stratigrafik kapanlardaki Oligosen-Alt Miyosen Lower (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları		Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel kumtaşları	Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) formasyon içi derin denizel şeyller	Kapan varlığı, göç yolu, rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik)
SK-15	42.46°	34.75°	Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü

SK-16	42.50°	34.24°	Şeyl diyapirik duvarları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları (?) Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü
SK-17	42.63°	33.66°	Şeyl diyapirik duvarları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları Kretase paleovolkanları üzerindeki Miyosen derin denizel kumtaşları	Orta-Üst Eosen (Kuma Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), Oligosen-Alt Miyosen (Maykop Formasyonu veya eşdeğeri) derin denizel organik maddece zengin şeyller (petrol), biyojenik gaz	Miyosen-Pliyosen derin denizel kumtaşları	Miyosen-Pliyosen formasyon içi derin denizel şeyller	Rezervuar kalitesi (gözeneklilik, geçirgenlik), göç yolu, kapan bütünlüğü

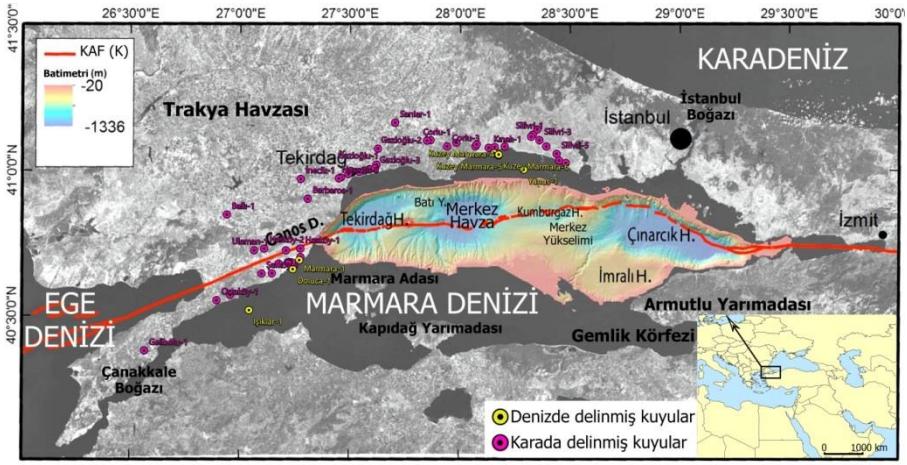
4. MARMARA DENİZİ'NİN HİDROKARBON POTANSİYELİ VE ARAMA HEDEFLERİ

Marmara Denizi, Akdeniz'i Karadeniz'e bağlayan ve Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) kuzey kolunda bulunan kapalı bir iç denizdir. Sıkışma yükselimleri (Batı ve Merkez yükselimleri) ile ayrılmış, derinden fay bağlantılı üç genişleme havzasından (Tekirdağ, Merkez ve Çınarcık) oluşmaktadır (Şekil 21). Marmara Denizi engebeli bir yapı, KD yönlü kıvrımlar, bu kıvrımlar arasındaki küçük havzalar, yumuşak sediman deformasyon yapıları ve çamur volkanlarından oluşmaktadır. Marmara Denizi'nin ilk yüksek çözünürlüklü batimetri

verileri 2000 yılında elde edilmiştir (Le Pichon ve diğ., 2001). Bu verilere göre, Marmara Denizi'nin Kuzey ve Güney olmak üzere iki şelfi vardır. Kuzey şelfin uzunluğu karadan yaklaşık 10 km, güney şelfin uzunluğu çok daha uzun ve yaklaşık 40 km'dir. D-B yönelimli 4 havzadan ve bu havzaları KD-GB yönünde ayıran iki yükselimden oluşur. Bu havzalar, Tekirdağ Havzası (en derin noktası 1125 m), Merkez Havza (en derin noktası 1256 m), Kumburgaz Havzası (en derin noktası 820 m) ve Çınarcık Havzası (en derin noktası 1270 m)'dır. Batı Yükselimi (yüzeye en yakın derinlik 419 m) Tekirdağ ve Merkez havzalarını birbirinden ayırırken, Merkez Yükselim (yüzeye en yakın derinlik 340 m) Merkez ve Kumburgaz havzalarını Çınarcık Havzası'ndan ayırmaktadır.

Marmara Denizi'nde hem oşinografik hem de jeolojik-jeokimyasal-jeofizik amaçlı birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Öncel çalışmalarda, Marmara Denizi'nde yoğun gaz birikimleri, soğuk sızıntılar ve otijenik karbonatlar tespit edilmiştir. KAFZ'na yakın bölümlerde, bu alanların genişlediği ve hidrokarbon emaresi sayısının çok daha yüksek olabileceği belirtilmektedir. Ayrıca, Trakya Havzası'nın ekonomik petrol ve doğalgaz rezervuarlarını içeren Eosen-Oligosen yaşlı birimlerin Marmara Denizi'nin altına kadar uzanması çok güçlü bir olasılık olarak düşünülmelidir. Trakya Havzası'ndaki doğalgazların, KAFZ boyunca Marmara Denizi ve ilgili faylar boyunca yukarı doğru göç eden gazlar olması da mümkündür. Marmara Denizi'nde delinen bazı kuyularda hidrokarbon emareleri tespit edilmiş olsa da, bugüne kadar herhangi bir ekonomik

hidrokarbon keşfi yapılamamıştır (Şekil 1 ve Tablo 6). Bu çalışmadaki başlıca amaç, jeolojik yapı ile hidrokarbon emareleri arasındaki ilişkilere dayanılarak Marmara Denizi'ndeki hidrokarbon arama hedeflerini belirlemektir. Bu nedenle, öncel çalışmalardan elde edilen jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik verilere göre, söz konusu denizlerdeki hidrokarbon arama hedeflerinin konumları ve yapılacak sondajların lokasyonları için bazı önerilerde bulunulmuştur.



Şekil 21. Marmara Bölgesi'nde delinmiş deniz ve kara hidrokarbon arama ve üretim kuyuları. Marmara Denizi'nin coğrafik ve basitleştirilmiş tektonik yapısı. B: Havza, H: Yükselim ve KAF (K) : Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey dalı (taban harita: Kende ve diğ., 2017'den değiştirilerek).

Tablo 6. Marmara Denizi'nde bugüne kadar delinmiş olan deniz hidrokarbon arama kuyuları (bkz. Şekil 21).

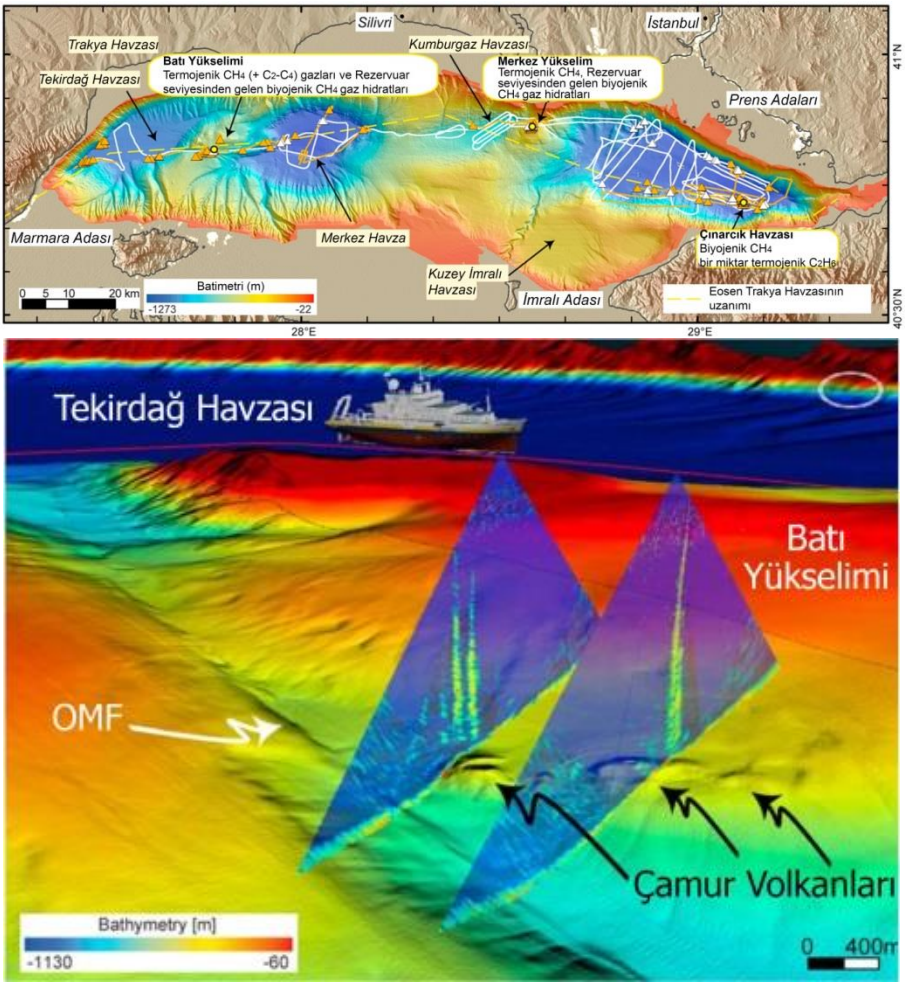
Kuyu Adı	Enlem	Boylam	Derinlik (m)	Son Formasyon	Hidrokarbon Bulgusu
Kuzey Marmara-1	41.05°	28.19°	1262	Temel kaya	Kısa süreli gaz üretimi
Kuzey Marmara-2	41.06°	28.16°	1605	Istranca Grubu	Kuru
Kuzey Marmara-3	41.05°	28.19°	1845	Soğucak	Kısa süreli gaz üretimi
Kuzey Marmara-4	41.05°	28.19°	1803	Soğucak	Kısa süreli gaz üretimi
Kuzey Marmara-5	41.05°	28.18°	1400	Temel kaya	Kısa süreli gaz üretimi
Kuzey Marmara-6	41.05°	28.19°	1495	Temel kaya	Kısa süreli gaz üretimi
Yunus-1	41.00°	28.30°	2275	Ceylan	Kuru
Işıklar-1	40.51°	27.06°	868	Yeniköy II	Kuru
Doluca-1	40.65°	27.26°	1106	Yeniköy II	Kuru
Marmara-1	40.68°	27.29°	2275	Kretase	Kuru

4.1. Marmara Denizi'nin Hidrokarbon Potansiyeli

Marmara Denizi sedimanları, diğer açık deniz sedimalarına kıyasla nispeten yüksek miktarda organik karbon içerir. Bu yüksek organik karbon içeriği, sadece denizel biyojenik üretimden değil, aynı zamanda Marmara Denizi'nde farklı organik karbon kaynaklarının varlığına işaret etmektedir (Ali, 2005; Demirci, 2005; Uluadam, 2005; Yiğit, 2006). Ayrıca, aktif bir kıtasal transform levha sınırı olan KAF'nın deformasyon zonu üzerinde bulunan Marmara Denizi'nde birçok akışkan çıkışı vardır ve tespit edilen gazların hidrokarbon olduğu belirlenmiştir (Şekil 22). 1999 yılındaki İzmit Körfezi Kocaeli depreminden hemen sonra yoğun gaz çıkışları gözlenmiştir (Alpar, 1999; Kuşçu ve diğ., 2005). Deniz tabanı gözlemleri sonucunda,

faylar boyunca akışkan çıkışları, karbonat kabukları ve bacaların varlığı ortaya çıkarılmıştır (Armijo ve diğ., 2005). Derin havzalarda ve yükselimde bulunan su ve gaz çıkışları yaygın olarak D-B yönelimli farklı fay segmentleri üzerinde bulunmaktadır (Halbach ve diğ., 2004; Çağatay ve diğ. 2007, Geli ve diğ., 2008; Sarıtaş, 2013). Fay boyunca akışkan çıkışlarına bağlı olarak, siyah demir sülfit yatakları ve yataklar çevresinde ve altında da kapak şeklindeki karbonat kabukları oluşmuştur (Zitter ve diğ., 2008; Tryon ve diğ., 2010; Yıldız, 2016). Akışkan çıkışlarının bir noktada yoğunlaştığı yerlerde 10 cm ile 2.5 m aralığında değişen yüksekliklerde karbonat bacaları belirlenmiştir (Armijo ve diğ., 2005; Çağatay ve Özeren, 2007). Bu aktif bacaların bazılarının faaliyetleri, kısmen sonlanmıştır. Karbonat kabuk kaplamaları, zaman zaman daha sonraki fay hareketleri (depremler) ile parçalanmıştır (Çağatay ve Özeren, 2007).

Hidrokarbon emareli kuyular, soğuk sızıntılar ve çamur volkanları, Marmara Denizi'ndeki çalışan petrol sistemleri için kanıttır (Şekil 21 ve Tablo 6). Özdemir ve Palabıyık (2019a, b), petrol kaynak kayalarının riftlerde oluştuğunu ifade etmişlerdir. Görür ve Elbek (2013), Şengör ve diğ. (2005, 2014) çalışmalarında, Marmara Denizi Havzası'nın bir Miyosen rifti üzerinde doğrultu atımla ilişkili kökene sahip karmaşık bir havza seti olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, Marmara Denizi Havzası'ndaki hidrokarbonları türeten kaynak kayalar, bu Miyosen riftleşme döneminde oluşmuş olmalıdır.



Şekil 22. Marmara Denizi'nde akustik gaz çıkışlarının dağılımı. Turuncu üçgenler: akustik anomaliler, iz çizgiler: kapsama alanı, sarı noktalar: yerinde gaz ve gaz hidratlar. Çınarcık Havzası'ndaki biyojenik kökenli metanın aksine, Batı ve Merkez yükselimlerindeki biyojenik metan, derin rezervuar seviyelerinden göç etmiş hidrokarbonların biyolojik olarak bozunması sonucunda oluşmuştur (Dupré ve diğ., 2015).

Batı Yükselimi'nde, antiklinaller ve üç çamur volkanı yeralmaktadır (Dupre ve diğ., 2015). Çamur volkanları, çok sayıda akışkan çıkışı olan bölgelerde bulunmaktadır. Bu akışkanların bazıları, Trakya Havzası ile ilişkilidir ve derin kökenlidir. Batı Yükselimi'nin

batısındaki çamur volkanlarının yakınında akışkan (hidrokarbon gazı ve petrol) çıkışları gözlenmektedir (Yıldız, 2016). Batı Yükselimi güneyindeki çamur volkanında, petrol ve hidrokarbon gazları ile birlikte yoğun akışkan çıkışları tespit edilmiştir. Batı ve Merkez yükselimlerinde, özellikle çamur volkanlarındaki gözenek suyu, Trakya Havzası'nın gaz, petrol, tuzlu formasyon suları ve gaz hidrat bozunması içeren ürünlerine benzerlik göstermektedir (Bourry ve diğ., 2009; Tryon ve diğ., 2010). Batı Yükselimi'ndeki çamur volkanlarından aşırı tuzlu su, deniz tabanında gaz hidratlar, ağır hidrokarbon gazları ile petrol çıkışları gözlenmiştir. Bu bölgedeki karbonat kabukları, ana karbonat oluşumlarıdır (Yıldız, 2016) (Şekil 22).

Batı Yükselimi'ni kesen Marmara Fayı'nın kuzeyinde, antiklinaller ile ilişkili 150 m çapında iki çamur volkanı ve bu volkanlar ile ilişkili gaz ve petrol çıkışları gözlenmiştir (Geli ve diğ., 2008; Tryon ve diğ., 2012). Gazlar, metan ve diğer kısa zincirli hidrokarbonlar (etan, propan ve izobütan) bakımından zengindir ve derin kaynaklıdır. Batı Yükselimi'nde aynı alanın dışında, yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonlar (petrol) ve gaz hidratlar da belirlenmiştir (Bourry ve diğ., 2009). Batı ve Merkez yükselimlerindeki hidrokarbon gazları, termojenik kökenlidir. Diğer yandan, Çınarcık Havzası'nda örneklenen gaz kabarcıkları çoğunlukla biyojenik metandan oluşmaktadır. Faylardan sızan termojenik gazlar, Trakya Havzası'ndan üretilen gazlarla (Gürgey ve diğ., 2005) aynı bileşime ve derin kökene sahiptir (Bourry ve diğ., 2009). Yüksek CH_4/CO_2

oranları, mantodan elde edilen kabuktaki karbondioksitin metana indirgenmesini sağlayan organik veya inorganik reaksiyonları yansıtmaktadır. Ayrıca, Marmara Denizi'nin batısını sınırlayan yamaç tabanında (Tekirdağ Havzası'nın batısında), Merkez Yükselimi'ndeki faylardan çıkan gazların manto kökenli ^{3}He olduğu belirlenmiştir (Burnard ve diğ., 2012). Bunun yanında, gaz çıkışları, Merkez Yükselimi'nin kuzeyindeki Merkez Havza'nın "kuzey sınır fayının" güneyindeki kademeli normal doğrultu atımlı fay bileşeninde bulunmuştur ve Merkez Havza'nın doğu sınırında da yaygındır. Merkez Yükselim, oldukça inişli ve çıkışlı bir topoğrafyaya, kıvrımlar ve bindirmeler gibi sıkışma yapıları ile yoğun gaz çıkışlarına sahip bir antiklinal içermektedir (Yıldız, 2016).

Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinde (Çınarcık Havzası ile Merkez ve Batı yükselimleri dahil) gaz örneklemesi yapılmıştır (Bourry ve diğ., 2009). İki yükselimden toplanan akışkan numuneleri ve gaz hidratlar üzerinde yapılan izotopik analizler, her ikisinin de biyojenik metan katkılı, fakat ağırlıklı olarak derin rezervuar seviyesinden göç etmiş hidrokarbonların biyodegradasyonundan (biyolojik bozunmasından) kaynaklanan termojenik kökene sahip olduklarını göstermiştir (Bourry ve diğ., 2009; Ruffine ve diğ., 2015). Çınarcık Havzası'ndaki gazlar, az miktarda termojenik etan ile karıştırılan biyojenik metandır (Bourry ve diğ., 2009) (Şekil 22).

Denizel ortamlarda, "termojenik metan" derin kısımlarda, "biyojenik metan" ise mikrobiyal ve bakteriyolojik etkinin sonucu olarak daha sığ kısımlarda ortaya çıkmaktadır (Rice ve Claypool, 1981). Diğer

petrol bileşiklerinin üretimi gibi termojenik metan gazı üretimi, karmaşık ve uzun zincirli organik molekülleri etkileyen yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında genellikle 1000 m'den daha derin deniz derinliklerinde uzun sürede meydana gelmektedir (Schoell, 1988). Diğer yandan biyojenik metan, planktonik malzemelerden, bitkilerden, balıklardan ve sedimanlardaki katı atıklardan türetilen organik maddelerin bozunması sonucunda oluşmaktadır (Maestro ve diğ., 2002). Organik madde ve yüksek sedimantasyon oranlarına sahip denizel ortamlar, biyojenik kökenli metanın üretimi ve birikimi için ideal alanlar olarak kabul edilmektedir (Hovland ve Judd, 1988). Biyojenik metan, organik maddenin bozunma sürecinin son ürünü olarak "metan üreten bakteriler" tarafından üretilir. Bu üretim aşaması, organik maddenin sedimanlarda birikmesinden kısa bir süre sonra başlar ve "sülfat indirgeyici bakteri" etkinliğinin bir sonucu olarak sülfatları tükenmiş sedimanları içeren sığ deniz derinliklerinde meydana gelir (Rice ve Claypool, 1981).

Marmara Denizi'ndeki karbonat yumrularının oluşumu, Marmara Denizi'ndeki Holosen sapropellerinin birikmesine neden olan anoksik dönemle ilişkilendirilmiştir (Çağatay ve diğ., 2000, 2015; Tolun ve diğ., 2001; 2002). Ancak, Marmara Denizi'ndeki otijenik karbonatların oluşum süresi, Holosen sapropelleri için belirlenen yaş ile tam olarak örtüşmemektedir (Çağatay ve diğ., 2015). Ayrıca, Marmara Denizi sapropelleri çoğunlukla anoksik koşullar yerine suboksik ve disoksik koşullar altında birikmiştir. Ayrıca, otijenik karbonatların farklı çözünmüş inorganik karbon (DIC) kaynaklarını

gösteren $\delta^{13}C$ değerleri, tektonik, küresel ısınma ve ilişkili gaz hidrat bozunması gibi farklı süreçlerin de katkısını göstermektedir (Yıldız, 2016). Nitekim, Ménot ve Bard (2010), ^{13}C tüketen lipit organizmaların varlığına dayanarak, Marmara Denizi'ndeki bol miktarda metan çıkışının, denizdeki gaz hidratların bozunması nedeniyle meydana geldiğini kanıtlamışlardır. Marmara Denizi'ndeki birçok soğuk sızıntı, esas olarak metanın anaerobik oksidasyonu (AOM) ile ilişkili olarak otijenik karbonatlarla bağlantılıdır (Crémière ve diğ., 2012). Bununla birlikte, Merkez Yükselim'deki ve Çınarcık Havzası güneyindeki gaz örneklerinin analizi, petrol de dahil olmak üzere metan olmayan hidrokarbonların anaerobik oksidasyon sonucunda ortaya çıktığını göstermektedir (Chevalier ve diğ., 2011). Marmara Denizi'ndeki çoğunlukla metan bileşimli hidrokarbon gazlarının kaynağı, hem biyojenik hem de termojeniktir. Yükselimlerde örneklenen gazlar, termojenik kökenlidir ve Trakya Havzası'nın hidrokarbon gazları ile benzer bir karbon izotop bileşimine sahiptir (Gürgey ve diğ., 2005; Bourry ve diğ., 2009; Yıldız, 2016). Yükselimlerdeki otijenik karbonatlarda gözlenen ağır $\delta^{13}C$ değerleri, sedimanter organik maddenin oksidasyonundan ve/veya petrolün bozunmasından kaynaklanan ağır karbon kaynağını göstermektedir (Bourry ve diğ., 2009; Tryon ve diğ., 2010; Cremiere ve diğ., 2012 , 2013; Yıldız, 2016).

Meksika Körfezi'ndeki ilk keşiflerinden bugüne, okyanus kenarlarına yakın deniz tabanındaki hidrokarbonca zengin akışkan boşalımlarının, genellikle kemosentetik topluluklar ve otijenik karbonat yatakları ile

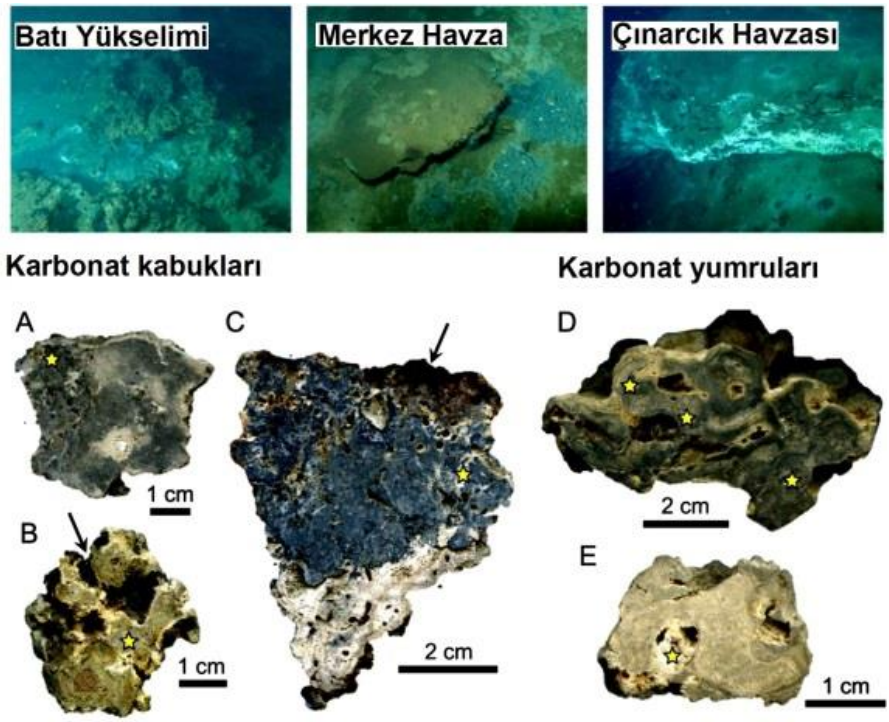
ilişkili olduğu yaygın olarak bildirilmiştir. Marmara Denizi'ndeki metan ile ilişkili yaygın deniz tabanı otijenik karbonat kabukları, KAFZ boyunca tümsekler, tepeler ve bacalar şeklinde ortaya çıkar ve bunlar genellikle indirgenmiş sedimanlarla (Fe-sülfürce zengin) ilişkili olup, bu bölgeler gözlenmiş ve örneklenmiştir. Derin havzalardaki karbonat kabukları ve indirgenmiş siyah renkli sedimanlar, aktif faylardan kaynaklanan hidrokarbonca zengin akışkan çıkışları çevresinde iken, Batı ve Merkez yükselimlerinde aktif faya yakın çamur volkanları ve antiklinaller üzerinde gözlenmiştir. Deniz tabanı otijenik karbonatlarının indirgenmiş sedimanlarla yakın ilişkilerinden kaynaklanan $\delta^{13}C$ değerleri, esas olarak biyojenik veya termojenik metanın anaerobik oksidasyonu ile sağlanan bir DIC havuzunu gösterir. Batı ve Merkez yükselimlerindeki otijenik karbonatların nispeten ağır karbon izotop değerleri, ağır hidrokarbonlar ve gaz hidratların bozunmasının bazı katkılarla desteklenen (özellikle termojenik metan kaynaklı) bir DIC kaynağını göstermektedir.

Bu sonuçların tümü, Trakya Havzası'na benzer bileşim ve izotop değerlerine sahip olan Marmara Denizi yükselimlerinde örneklenen sığ gaz hidrat ile birlikte termojenik gaz ve petrol sızıntılarının varlığı ile uyumludur. Marmara Denizi'ndeki metanın, derin havza karbonatlarının ve esas olarak termojenik hidrokarbon için hem biyojenik hem de termojenik kaynaklardan, ağır hidrokarbonların ve gaz hidrat ayrışarak biyolojik olarak bozunmasından ve yükselimlerdeki karbonatlardan bir miktar katkı aldığı ileri sürülmüştür (Yıldız, 2016). Batı ve Merkez yükselimlerdeki otijenik

karbonatlar, doğal termojenik gaz (metan ve ağır hidrokarbon gazları) ve petrol ile ilişkili CO_2 salan çamur volkanları ve antiklinallerde bulunmaktadır (Bourry ve diğ., 2009). Bu bölgelerden örneklenen hidrokarbon gazları, Trakya Havzası'ndan üretilen doğalgazlarla benzer bir izotopik bileşime sahiptir (Gürgey ve diğ., 2005, 2009; Bourry ve diğ., 2009). Ek olarak, Batı ve Merkez yükselimleri, ağır hidrokarbon gazı, petrol ve yüksek tuzlu akışkanlar ile mantodan türetilmiş He'un bulunduğu bölgelerdir (Bourry ve diğ., 2009; Tryon ve diğ., 2010, 2012). Sonuç olarak, ana karbon kaynağı olarak, termojenik hidrokarbon gazları olan bu yükselimlerden alınan otijenik karbonat numunelerinin $\delta^{13}C$ değerlerine göre, sedimanter organik madde ve ağır hidrokarbonların oksidasyon ürünlerinden küçük bir katkı sağlandığı belirtilebilir. Çünkü, düşük $\delta^{13}C$ değerleri, termojenik metanın anaerobik oksidasyonundan farklı bir kaynağa ait olamaz (Yıldız, 2016). Bu bulgu, termojenik hidrokarbon çıkışlarının görülebildiği, fakat bilinen petrol çıkışı ve gaz hidrat bulunmayan numunelerin alındığı çamur volkanı ve antiklinal yapısı ile uyumludur (Bourry ve diğ., 2009). Daha yüksek $\delta^{13}C$ değerlerine sahip örnekler için, ağır hidrokarbonların oksidasyonundan, deniz tabanı altında metan oluşum reaksiyonundan veya gaz hidrat bozunmasından (Bohrmann ve diğ., 1998; Greinert ve diğ., 2001; Orphan ve diğ., 2004; Naehr ve diğ., 2007; Cremiere ve diğ., 2012, 2013) DIC havuzuna ağır karbon (^{13}C) katkısı gereklidir. Bu süreçler, Batı Yükselimi'ndeki çamur volkanlarından alınan gaz örneklerinin pozitif $\delta^{13}C$ değerleri, ham petrol sızıntısı, gaz hidrat ve % 4 CO_2 içeriği ile desteklenmektedir (Bourry ve diğ., 2009). Batı Yükselimi'nde, deniz

tabanındaki karbonat yumrularından alınan ve gaz hidrat içeren iki karot örneğinden birisi, gaz hidrat bozunması ve çözünmesi ile türetilen hidrokarbonların yukarı yönlü akışı ile ilişkidir (Cremiere ve diğ., 2013). $\delta^{13}C$ değerlerindeki benzer bir artış, gaz hidrat bozunmasının gözlendiği diğer alanlarda da görülmüştür (Bohrmann ve diğ., 1998; Greinert ve diğ., 2001). Termojenik hidrokarbonlar, Merkez Havza'nın doğusuna ve Çınarcık Havzası'nın güneyine karşılık gelen derin havzaları işaret etmektedir (Yıldız, 2016).

Crémière ve diğ. (2012, 2013), Batı Yükselimi'ndeki çamur volkanından alınan 5 m'lik karotun üst kısmındaki karbonat yumrularını incelemiştir (Şekil 23). Karbonat yumruları, Marmara Denizi'nin gölsel alandan deniz ortamına geçişini temsil eden sedimanlarda bulunmuştur. Karbonat yumrularının karbon izotop bileşimi, farklı karbon kaynakları ve anaerobik mikrobiyal işlemlerle oksitlenen diğer hidrokarbonların bir karışımını temsil etmektedir (Yıldız, 2016). Dünya literatürü ve özellikle Marmara Denizi için bir diğer önemli konu, aktif faylar boyunca akışkanlar tarafından karbonat kabukları ve bacaların oluşturulması ve bunların sismik etkinlik ile olan ilişkisidir (Geli ve diğ., 2008; Zitter ve diğ., 2008; Dupre ve diğ., 2015). Otijenik karbonatlar, ayrıca büyük depremlerin tetiklediği akışkan çıkışlarının kayıtlarını da içerir ve akışkanların kökenleri ve derinlikleri hakkında da bilgi sunmaktadır (Yıldız, 2016).



Şekil 23. Otijenik karbonatların deniz tabanı görüntüleri. (A) Çamur-breş; Tekirdağ Havzası, (B) Siyah oksi-hidroksit tabakası ile kaplanmış karbonat; Çınarcık Havzası (C) Karbonat kabuk; Tekirdağ Havzası, (D) ve (E) Karbonat yumruları; Batı Yükselimi (Crémière ve diğ., 2013).

Deniz karbon döngüsünün önemli bir bileşenini içeren soğuk sızıntı bölgelerinde, önemli miktarda metan ve diğer hidrokarbonlar taşınmaktadır. Bu gibi ortamlarda, metandan türeyen otijenik karbonatların mineralizasyonu karbon için büyük bir kaynağı temsil etmektedir. Öncel çalışmalar, genel olarak soğuk sızıntılarda akışkan emisyon dinamikleri ve hidrokarbon oksidasyonunun zamanla değişen çevresel koşullarla doğrudan ilişkili olabileceğine dair açık kanıtlar sunmaktadır. Önceki saha gözlemlerinde, Marmara Denizi'ndeki fay zonları boyunca geniş alanlarda aktif deniz tabanı akışkan sızıntıları

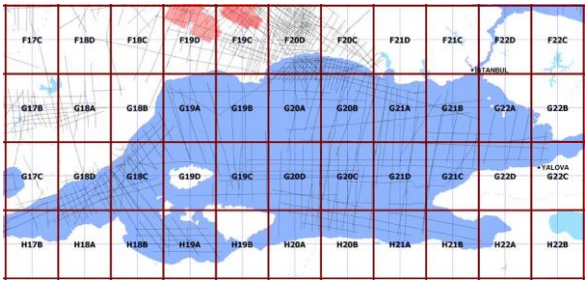
belirlenmiştir. Otijenik karbonatlar ise, hem deniz tabanında hem de çeşitli bölgelerindeki sedimanlar içerisinde bulunmuştur. Ek olarak, ana fayların kestiği topografik yükselimlerde bulunan akışkan çıkış alanları, termojenik gaz dahil derin kaynaklı akışkanlar için kanıt sunmaktadır. Çıkan akışkanlar, termojenik gaz ve petrol ile birlikte egzotik akışkan kimyası olan salamuralardır.

4.2. Marmara Denizi'ndeki Gelecek Petrol ve Doğalgaz Arama Hedefleri

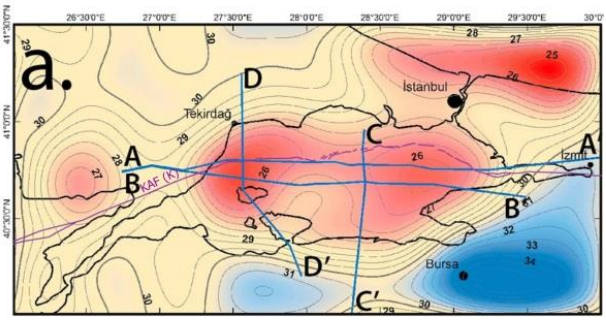
Marmara Denizi'nin ayrıntılı jeofizik verileri (sismik, gravite ve manyetik) literatürde mevcuttur (Şekil 24). Marmara Denizi Havzası'nın yeraltı jeolojisi ile ilgili de birçok çalışma yapılmıştır (Ekşioğlu, 1991; Tanış, 1998; Okay ve diğ., 1999, 2000; Aksu ve diğ., 2000; Gazioğlu, 2001; Tolun, 2001; Adatepe ve diğ., 2002; Kanbur, 2002; Ateş ve diğ., 2003; Karakılçık, 2004; Düşünür, 2004; Çağlak, 2004; Sakitaş, 2004; Akkargan, 2005; Tekkeli, 2007; Etiz, 2007; Sağcı, 2009; Poyraz, 2010; Aydınoğlu, 2010; Perinçek, 2011; Oğuz, 2012; Atgın, 2013; Aktaş, 2013; Vardar, 2013; İcik, 2014; Ababay, 2014; İlkimen, 2014; Babayev, 2015; Dupré ve diğ., 2015; Nasif, 2016; Sabuncu, 2016; Kende ve diğ., 2017; Yakupoğlu, 2017; Turunçtur, 2018. Gümüş, 2019; Çağatay ve Uçarkuş, 2019; Doran, 2019). Ayrıca, günümüze kadar Marmara Denizi'nde 10 hidrokarbon arama kuyusu delinmiştir (Şekil 21 ve Tablo 6).

Bu çalışmada, Marmara Denizi'nde gelecekteki hidrokarbon arama faaliyetleri için hedef alanları belirlemek amacıyla, deniz ve kıyıya

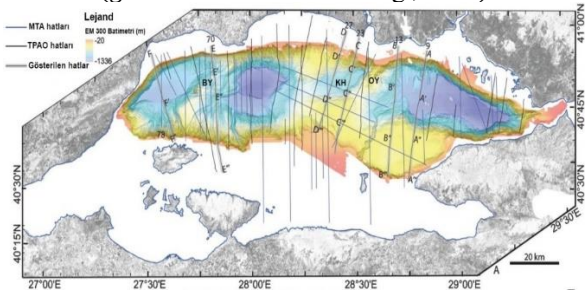
yakın kara alanlarındaki arama kuyularının loglarını da içeren büyük bir veri seti (jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik veriler) ve jeolojik yorumları incelenmiştir. Yazarlar tarafından yapılan bu kapsamlı inceleme sonucunda, Marmara Denizi'nde keşfedilebilecek bazı petrol ve gaz rezervuarlarının bulunabileceği tespit edilmiştir (Şekil 25 ve Tablo 7).



(sismik veri: MAPEG)

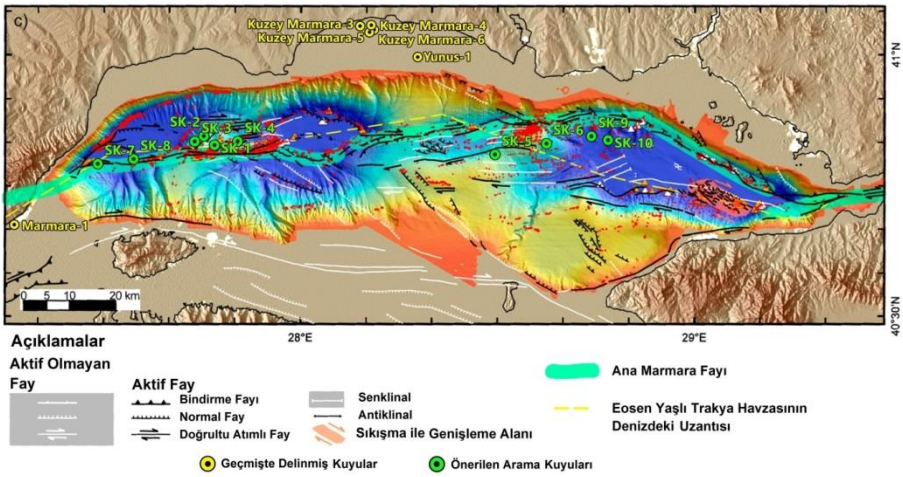


(gravite verisi: Kende ve diğ., 2017)



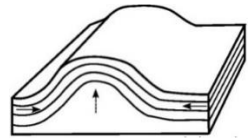
(sismik veri: Şengör ve diğ., 2014)

Şekil 24. Bu çalışmada kullanılan sismik ve gravite veri setleri ve jeolojik yorumları.



Şekil 25. Marmara Denizi'nde delinmesi önerilen hidrokarbon arama kuyularının konumları. Kuyular, öneri sırasına göre numaralandırılmıştır (taban harita: Dupré ve diğ., 2015'den).

Tablo 7. Marmara Denizi'nde delinmesi önerilen hidrokarbon arama kuyularının koordinatları. Kuyular, öneri sırasına göre numaralandırılmıştır (bkz. Şekil 25).

Havza/Yükselim	Önerien Kuyu	Enlem	Boylam	Kapan/Yapı	
Batı Yükselimi	SK-1	40.73°	27.65°	Antiklinal	
Batı Yükselimi	SK-2	40.84°	27.77°	Antiklinal	
Batı Yükselimi	SK-3	40.83°	27.74°	Antiklinal	
Batı Yükselimi	SK-4	40.84°	27.85°	Antiklinal	
Merkez Yükselimi	SK-5	40.83°	28.50°	Antiklinal	
Merkez Yükselimi	SK-6	40.83°	28.63°	Antiklinal	
Tekirdağ Havzası	SK-7	40.79°	27.50°	Antiklinal	
Tekirdağ Havzası	SK-8	40.80°	27.59°	Antiklinal	
Çınarcık Havzası	SK-9	40.85°	28.74°	Antiklinal	
Çınarcık Havzası	SK-10	40.84°	28.79°	Antiklinal	

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çamur volkanları, hidrokarbon gaz çıkışları, soğuk sızıntılar ve otijenik karbonatlar, Türkiye denizlerindeki çalışan petrol sistemlerinin varlığı için kanıttır. Günümüze kadar, Türkiye denizlerindeki hidrokarbon arama faaliyetlerinin temel odak noktası, sondaj faaliyetlerinin yanı sıra sismik araştırmalar olmuştur. Önceki jeolojik, jeofizik ve sondaj verileri değerlendirildiğinde, denizlerdeki hidrokarbon aramalarında ekonomik üretim yapılabilir petrol ve doğalgaz sahalarının keşfedilmesinde başarısız olunmasının ana nedeninin jeolojik ve jeofizik veri yetersizliği olmadığı, aksine arama kuyusu lokasyonlarının yanlış seçilmesi olduğu kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Bu nedenle, sondaj lokasyonlarının sadece sismik ölçümlerden elde edilen sinyal yorumlarına dayanılarak seçilmesi yerine, mevcut jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik verilerin bütünleşik bir şekilde değerlendirmesi sonucunda seçilmesi oldukça önemlidir. Petrol ve doğalgaz araştırmalarında veri miktarı ve türü arttıkça, tüm jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik bilgi ve verilerin bütünleştirilmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Tüm bilgi ve verilerin başarılı bir şekilde ilişkilendirilmesi, daha doğru sonuçlara ulaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Akdeniz, Karadeniz ve Marmara Denizi havzalarında petrol ve doğalgaz birikimleri için umut vaat eden alanlar ve bu alanlarda delinmesi önerilen arama sondajlarının lokasyonları, öncel jeolojik, jeokimyasal ve jeofizik veriler bütünleştirilerek ve kişisel deneyimlerle birleştirilerek belirlenmiştir. Gelecek hidrokarbon arama

faaliyetlerinin bu çalışmada önerilen hedef alanlara kaydırılmaları durumunda, keşif başarısına katkıda bulunulabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada önerilen lokasyonlarında, sondaj çalışmaları yapılmadan önce MTA ORUÇ REİS gemisi kullanılarak su sütunundan ve deniz tabanından jeolojik ve jeokimyasal numuneler alınarak sondaj yerlerinin doğrulanması tavsiye edilmektedir.

Re-Os izotop sistemi, son yirmi yılda dikkate değer gelişmeler yaşamıştır ve organik maddece zengin kayaların/ hidrokarbonların/ petrollerin yaşlarının doğrudan belirlenmesi için petrol jeolojisinde değerli bir jeokronometre olarak kullanılmaktadır (Cohen, 2004; Marques, 2012; Stein ve Hannah, 2014; Özdemir ve Palabıyık, 2019c). Re-Os izotop sistemi, organik maddece zengin kayaların ve hidrokarbonların/petrollerin oluşum ortamlarının jeolojik yorumu için de önemli bilgiler sağlar (Özdemir ve Palabıyık, 2019c). Öncel çalışmalarda, Trakya Havzası'ndaki hidrokarbonların ve Marmara Denizi'nde termojenik gazların benzer karbon izotop bileşimine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, deniz tabanındaki organik maddece zengin kayaçlar/hidrokarbonlar/petrollerden ve karbonat kabuklardan ve delinecek yeni kuyulardan alınacak numunelerde, Re-Os izotop analizi yapılmalıdır. Bu şekilde, söz konusu izotop sisteminin Marmara Denizi Havzası ve Trakya Havzası'ndaki petrol sistemleri arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına önemli ölçüde katkıda bulunacağı ve her iki havzadaki hidrokarbonların oluşumuna neden olan süreçleri jeolojik zaman ölçeğinde netleştireceği düşünülmektedir. Bu analizler, iki bitişik havzadaki hidrokarbonların nasıl göç ettiği sorusunu da

cevaplayabilir. Yazarlar, göçün Marmara Denizi Havzası'ndan Trakya Havzası'na gerçekleştiğini düşünmektedir. Re-Os izotop sisteminin sağlayabileceği bilgiler, Türkiye denizlerindeki petrol ve doğalgaz araştırmaları açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle, denizlerde delinecek yeni kuyulardan alınacak numunelerde, organik maddece zengin kayaların ve hidrokarbonların/petrollerin yaşlarının belirlenmesi için Re-Os izotop analizleri yapılmalıdır. Ayrıca, her üç denizdeki hidrokarbonların türediği tektonik ortamlar hakkında da faydalı bilgiler elde edilebilir.

KAYNAKÇA

Ababay, M., 2014. Batı Marmara Baseni'nin Yapısının Akustik Yöntemlerle İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 113 s.

Adatepe, F., Demirel, S., and Alpar, B., 2002. Tectonic setting of the southern Marmara region: based on seismic reflection data and gravity modelling. Marine Geology, 190, 383-395

Akkargan, Ş., 2005. İzmit Körfezi Sismik Verilerinin Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, 112 s.

Aktaş, G., 2013. İstanbul Boğazı ve Tekirdağ Arasında Toplanan Sığ Sismik ve Mikrobatimetrik Verilerin Yorumu. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 226 s.

Aksu, A.E., Hall, J., and Yaltırak, C., 2019. Dramatic Pliocene-Quaternary subsidence of the southern Rhodes Basin and concomitant north-tilting and uplift of the Anaximander Mountains, the junction of Hellenic and Cyprus arcs, eastern Mediterranean Sea. Tectonophysics, 762, 121-143.

Aksu, A.E., Hall, J., and Yaltırak, C., 2009. Miocene-Recent evolution of Anaximander Mountains and Finike Basin at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, eastern Mediterranean. Marine Geology, 258, 24-47.

Aksu, A.E., Calon, T.J., Hall, J., and Yaşar, D., 2005. Origin and evolution of the Neogene Iskenderun Basin, northeastern Mediterranean Sea. Marine Geology, 221, 161-187.

Aksu, A.E., Hall, J., and Yaltırak, C., 2005. Miocene to Recent tectonic evolution of the eastern Mediterranean: New pieces of the old Mediterranean puzzle. Marine Geology 221, 1-13.

Aksu, A.E., Calon, T.J., Hiscott, R.N., and Yaşar, D., 2000. Anatomy of the North Anatolian fault zone in the Marmara Sea. Western Turkey: Extensional basins above a continental transform. GSA Today, June 2000, 1-7

Aksu, R., 1999. İskenderun baseni kantitatif basen analizi ve modellemesi. Çukurova Üniversitesi. Doktora Tezi, 158 s.

Ali, A., 2005. Marmara Denizi Çınarcık Çukuru'nun Geç Kuvaterner Sedimentlerinin Jeokimyası. Ankara Üniversity, Doktora Tezi, 196 s.

Alizadeh, A.A., Guliyev, I.S., Kadirov, F.A., and Eppelbaum, L.V., 2017. Mud Volcanism. *in* Geosciences of Azerbaijan Volume I: Geology. Springer, 215-233

Alpar, B., 1999. Underwater signatures of the Kocaeli earthquake of 17 August 1999 in Turkey. Turkish Journal of Marine Sciences, 5, 111-130

Armijo, R., Pondard, N., Meyer, B., Ucarkus, G., de Lepinay, B.M., Malavieille, J., Dominguez, Gustcher, M. A., Schmidt, S., Beck, C., Çağatay, N., Cakir, Z., Imren, C., Eris, K., Natalin, B., Ozalaybey, S., Tolun, L., Lefevre, I., Seeber, L., Gasperini, L., Rangin, C., Emre, O., and Sarikavak, K., 2005. Submarine fault scarps in the Sea of Marmara pull-apart (North Anatolian Fault): implications for seismic hazard in Istanbul. Geochemistry,Geophysics, Geosystems, 6, Q06009

Ateş, A., Kayıran, T., and Sincer, I., 2003. Structural interpretation of the Marmara region, NW Turkey, from aeromagnetic, seismic and gravity data. Tectonophysics, 367, 41-99

Atgın, O., 2013. Çınarcık Havzasının ve Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi İçerisindeki Devamının Çok Kanallı Sismik Yansıma Verileri ile İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 126 s.

Aydınoğlu, Ö., 2010. İstanbul Boğazı ve Büyükçekmece arasında toplanan sismik ve mikrobatimetrik verilerin yorumu. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 117 s.

Babayev, H., 2015. Late Quaternary Stratigraphy and Morphotectonics of Gemlik Gulf, Sea of Marmara. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 97 s.

Berton, J., 1997. Exploration History of the Black Sea province. In: Robinson, A.G. (ed.) Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. AAPG, Memoirs, Tulsa, 68, 7-18

Bohrmann, G., Greinert, J., Suess, E., and Torres, M., 1998. Authigenic carbonates from the Cascadia subduction zone and their relation to gas hydrate stability. Geology 7, 647-650

Bourry, C., Chazallon, B., Charlou, J.L., Donval, J.P., Ruffine, L., Henry, P., Geli, L., Çağatay, M.N., İnan, S., and Moreau, M., 2009. Free gas and gas hydrates from the Sea of Marmara, Turkey. Chemical Geology, 264, 197-206

Burnard, P., Bourlange, S., Henry, P., Géli, L., Tryon, M. D., Natalin, B., Sengör, A.M.C., Özeren, M.S., and Çagatay, M.N., 2012. Constraints on fluid origins and migration velocities along the Marmara Main Fault (Sea of Marmara, Turkey) using helium isotopes. Earth Planet. Sci. Lett., 341/344, 68-78

Chevalier, N., Bouloubassi, I., Birgel, D., Crémière, A., Taphanel, M.-H., and Pierre, C., 2011. Authigenic carbonates at cold seeps in the Marmara Sea (Turkey): a lipid biomarker and stable carbon and oxygen isotope investigation. Marine Geology, 288, 112-121

Cloetingh, S., Ziegler, P.A., Beekman, F., Burov, E.B., Garcia-Castellanos, D., and Matenco, L., 2015. Tectonic Models for the Evolution of Sedimentary Basins. In: Gerald Schubert (editor-in-chief) Treatise on Geophysics, 2nd edition, Vol 6., Oxford, Elsevier, p. 513-592.

Cohen A.S., Coe A.L., Bartlett J.M., and Hawkesworth C.J., 1999. Precise Re-Os ages of organic-rich mudrocks and the Os isotope composition of Jurassic seawater. Earth Planet. Sci. Lett., 167, 159-173

Crémière, A., Pierre, C., Blanc-Valleron, M-M., Zitter, T., Çağatay, M.N., and Henry, P., 2012. Methane-derived authigenic carbonates along the North Anatolian fault system in the Sea of Marmara (Turkey). Deep Sea Research Part I, 66, 114-130

Crémière, A., Bayon, G., Ponzevera, E., and Pierre, C., 2013. Paleo-environmental controls on cold seep carbonate authigenesis in the Sea of Marmara. Earth Planetary Science Letters, 376, 200-211

Çiftçi, C., 2018. Kilikya-Adana-İskenderun havza kompleksinin sismik stratigrafik ve sismotektonik özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi. Doktora Tezi, 167 s.

Çağatay, M.N. and Uçarkuş, G., 2019. Morphotectonics of the Sea of Marmara: Basins and Highs on the North Anatolian Continental Transform Plate Boundary. In: Joao Duarte (Ed.), Transform Plate Boundaries and Fracture Zones. 397-416, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812064-4.00016-5

Çağatay, M.N., Uçarkuş, G., Eriş, K.K., Henry, P., Gasperini, L., and Polonia, A., 2015. Submarine canyons of the Sea of Marmara. pp. 123- 135. In: CIESM Monograph 47 (F. Briand ed.) Submarine canyon dynamics in the Mediterranean and tributary seas- An integrated geological, oceanographic, and biological perspective, 232 p. CIESM Publisher, Monaco

Çağatay, M.N., Balkıs, N., Sancar, U., Çakır, Z., Yücesoy-Eryılmaz, F., Eryılmaz, M., Sarı, E., Akcer, S. and Biltekin, D., 2007. Atlas of sedimentary geochemistry of the Marmara Sea. 60th Geology Congress of Turkey, 16-22 April 2007, Ankara

Çağatay, M.N. and Özeren, M.S., 2007. Earthquake Studies in the Sea of Marmara. Cumhuriyet Science and Technology, 1057 (June 22), 10-11

Çağatay, M.N., Görür, N., Algan, O., Eastoe, C., Tchapalyga, A., Ongan, D., Kuhn, T., and Kusçu, I., 2000. Late Glacial-Holocene palaeoceanography of the Sea of Marmara: timing of connections with the Mediterranean and the Black Seas. Mar. Geol., 167, 191-206

Çağlak, F., 2004. İstanbul Boğazı Marmara Çıkışı ile Tuzla Arasındaki Marmara Denizi Kuzey Şelf Alanında Sismik ve Multi-beam Batimetrik Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 132 s.

Çifçi, G., Dondurur, D., and Ergün, M., 2003. Deep and shallow structures of large pockmarks in the Turkish shelf, Eastern Black Sea. Geo-Mar Lett, 23, 311-322

Demirci, Ö., 2005. Marmara Denizi Orta Çukuru Yamaçlarının Holosen Sedimantolojisi. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 182 s.

Derman, A.S. and Iztan, Y.H., 1997. Results of geochemical analysis of seeps and potential source rocks from Northern Turkey and the Turkish Black Sea. In: Robinson, A.G. (ed.) Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. AAPG, Memoirs, Tulsa, 68, 313-330

Deyhle, A. Kopf, A.J., and Aloisi, G., 2003. Boron and boron isotopes as tracers for diagenetic reactions and depth of mobilization, using muds and authigenic carbonates from eastern Mediterranean mud volcanoes. Van Rensbergen, P., Hilhs, R.R., Maltman, A.J. & Morley, C.K. (eds), Subsurface Sediment Mobilization. Geological Society, London, Special Publications, 216, 491-503.

Doran, B., 2019. Marmara Denizi Kumburgaz Havzası'nda Çok Kanallı Sismik Yansıma Verilerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 111 s.

Dupré, S., Scalabrin, C., Grall, C., Augustin, J.-M., Henry, P., Şengör, A. M. C., Görür, N., Çağatay, M.N., and Géli, L. (2015). Tectonic and sedimentary controls on widespread gas emissions in the Sea of Marmara: Results from systematic, shipborne multibeam echo sounder water column imaging. J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 2891-2912

Düşünür, D., 2004. Orta Marmara Havzası'nın Aktif Tektonik Yapısının Deniz Jeofiziği Akustik Yöntemleriyle Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Tezi, 146 s.

Ekşioğlu, G., 1991. Marmara Denizi Üzerine Yapılmış Jeofizik Araştırmalar ve Bazı İrdelemeler. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 74 s.

Etiz, A., 2007. Trakya Bölgesi'nin Havadan Mağnetik Anomalilerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 79 s.

Ergün, M., Dondurur, D., and Çifçi, G. 2002. Acoustic evidence for shallow gas accumulations in the sediments of the Eastern Black Sea. Terra Nova, 14, 313-320

Ergün, M., Okay, S., Sari, C., Oral, E.Z., Ash, M., Hall, J., Miller, H., 2005. Gravity anomalies of the Cyprus Arc and their tectonic implications. Marine Geology, 221, 349-358.

Finetti, I., Bricchi., G., Del Ben, A., Pipan, M., and Xuan, Z., 1988. Geophysical study of the Black Sea. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicate, XXX (117-118), 197-324

Gazioğlu, C., 2001. Marmara Denizi Tabanının ve Yakın Çevresinin Yüzey Oluşumlarının Çok Yönlü Araştırılması (Jeomatik). İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, 121 s.

Garcı´a-Garcı´a, A., Orange, D.L., Maher, N.M., Heffernan, A.S., Fortier, G.S. and Malone, A., 2004. Geophysical evidence for gas geohazards of Iskenderun Bay, SE Turkey. Marine and Petroleum Geology, 21, 1255-1264.

Géli, L., Henry, P., Zitter, T., Dupre, S., Tryon, M., Çağatay, M.N., Mercier de Lepinay, B., Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Görür, N., Natalin, B., Uçarkuş, G., Özeren, S., Volker, D., Gasperini, L., Burnard, P., Bourlange, S., and The Marnaut Scientific Party, 2008. Gas emissions and active tectonics within the submerged section of the North Anatolian Fault Zone in the Sea of Marmara. Earth and Planetary Science Letters 274, 34-39

Görür, N. and S. Elbek, 2013. Tectonic events responsible for shaping the Sea of Marmara and its surrounding region. Geodin. Acta, 26(1-2), 1-11

Görür, N., and O, Tüysüz, 1997. Petroleum geology of the southern continental margin of the Black Sea. In: Robinson, A.G. (ed.) Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region. AAPG, Memoirs, Tulsa, 68, 241-254

Greinert, J., Bohrmann, J.G., and Suess, E., 2001. Gas hydrate-associated carbonates and methane-venting at Hydrate Ridge: classification, distribution, and origin of authigenic lithologies. In: Paull, C.K., Dillon, W.P. (Eds.), Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Detection, Geophysical Monograph vol. 124. American Geophysical Union pp. 87 - 98

Guliev, I.S. and Feizullayev, A.A., 1996. Geochemistry of hydrocarbon seepages in Azerbaijan. in D. Schumacher and M. A. Abrams, eds., Hydrocarbon Migration and Its Near-Surface Expression: AAPG Memoir 66, 63-70.

Guliev, I.S., Mamedov, P.Z., Feyzullayev, A.A., Huseynov, D.A. Kadirov, F.A., Aliyeva, E.H.-M., and Tagiyev, M.F., 2003. Hydrocarbon Systems of The South Caspian Basin. Baku, Nafta-Press, 206 p.

Gümüş, M., 2019. Kurbağlıdere ve Deltasının Sismik ve Batimetrik Yöntemlerle Araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 186 s.

Gürgey, K., Philp, R., Clayton, C., Emiroğlu, H., and Siyako, M., 2005. Geochemical and isotopic approach to maturity/source/mixing estimations for natural gas and associated condensates in the Thrace Basin, NW Turkey. Appl. Geochem., 20, 2017-2037

Gürgey, K., 2009. Geochemical overview and undiscovered gas resources generated from Hamitabat petroleum system in the Thrace Basin, Turkey. Mar.Pet. Geol., 26, 1240-1254

Halbach, P., Holzbecher, E., Reichel, T., and Moche, R., 2004. Migration of the sulphate-methane reaction zone in marine sediments of the Sea of Marmara - can this mechanism be tectonically induced? Chemical Geology, 205, 73-82

Hovland, M., and Judd, A.G. (1988). Seabed pockmarks and seepages, impact on geology, biology and marine environment. London: Graham & Trotman.

Işık, K., 1998. İskenderun Körfezi'nin Gravite Verilerinin Değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 75 s.

İcik, C.E., 2014. Küçükçekmece ve Büyükçekmece Lagünlerinin Sismik ve Batimetrik Yöntemlerle İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 254 s.

İlkimen, E.M., 2014. Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi Güney Şelf'i'ndeki Fay Sisteminin Sismik Yansıma Verileri ile Haritalanması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 124 s.

İnan, A., 1982. Azerbaycan'ın çamur volkanları. Yeryuvarı ve İnsan, 7(1), 4-5

İşcan, Y., Ocakoğlu, N., Kılıç, F., ve Özel, A.O., 2017. Cide-Sinop açıkları'nın çok kanallı sismik yansıma verileri ile araştırılması. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 28 (1-2), 47-56

Kaymaz, A., 2010. Karadeniz Gravite Verilerinin İrdelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 59 s.

Karakılçık, H., 2004. Marmara Denizi Kuzey Kıta Sahanlığının (Silivri - Kumkapı) Geç Kuvaterner Sismik Stratigrafisi. Çukurova University, Doktora Tezi, 203 s.

Kanbur, Z., 2002. Yığma Öncesi Migrasyon Tekniği ile Marmara Denizi Tekirdağ Havzası Yansıma Verilerinin Yorumlanması. İstanbul Üniversitesi, Doktora Tezi, 119 s.

Kende, J., Henry, P., Bayrakci, G., Özeren, M.S., and Grall, C., 2017. Moho depth and crustal thinning in the Marmara Sea region from gravity data inversion. J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 1381-1401

Keskin, M. and Tüysüz, O., 2017. Stratigraphy, petrogenesis and geodynamic setting of Late Cretaceous volcanism on the SW margin of the Black Sea, Turkey. In: Simmons, M.D., Tari, G.C. and Okay, A.I. (eds.), Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464, https://doi.org/10.1144/SP464.5

Kruglyakova, R.P., Byakov, Y.A., Kruglyakova, M.V., Chalenko, L.A., Shevtsova, N.T., 2004. Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor. Geo-Mar Lett, 24, 150-162

Kuşçu, İ., Okamura, M., Matsuoka, H., Gökasan, E., Awata, Y., Tur, H., Şimşek, M., and Keçer, M., 2005. Seafloor gas seeps and sediment failures triggered by the August 17, 1999 earthquake in the Eastern part of the Gulf of İzmit, Sea of Marmara, NW Turkey. Marine Geology, 215, 193-214

Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier, B., Lepinay, M., Meyer, B., Saatçılar, R., and Tok, B., 2001. The Active Main Marmara Fault. Earth and Planetary Science Letters, 192, 595-616

Lykousis, V., Alexandri, S., Woodside, J., de Lange, G., Dahlmann, A., Perissoratis, C., Heeschen, K., Ioakim, Chr., Sakellariou, D., Nomikou, P., Rousakis, G., Casas, D., D. Ballas, and Ercilla, G., 2009. Mud volcanoes and gas hydrates in the Anaximander mountains (Eastern Mediterranean Sea). Marine and Petroleum Geology, 26, 854-872.

Maden, N. ve Dondurur, D., 2012. Orta Karadeniz Sırtı'nın tektonik ve kabuk yapısının gravite verileri yardımıyla belirlenmesi. Jeofizik, 17, 25-37

Maestro, A., Barnolas, A., Somoza, L., Lowrie, A., and Lawton, T., 2002. Geometry and structure associated to gas-charged sediments and recent growth faults in the Ebro Delta (Spain). Marine Geology, 186, 351-368

MAPEG (General Directorate of Mining and Petroleum Affairs of Turkey), http://www.mapeg.gov.tr/.

Marlow, L., Kendall, C.C.G., Yose, L.A., 2014. Petroleum Systems of the Tethyan Region. AAPG Memoir 106, Frontmatter, Pages I-XIV.

Marques, J.C., 2012. Overview on the Re-Os isotopic method and its application on ore deposits and organic-rich rocks. Geochimica Brasiliensis, Ouro Preto, 26(1), 49-66

Mazzini, M., Svensen, H., Planke, S., Guliyev, I., Akhmanov, G.G., Fallik, T., and Banks. D., 2009. When mud volcanoes sleep: Insight from seep geochemistry at the Dashgil mud volcano, Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, 26,1704-1715.

Mazzini, A. and Etiope, G., 2017. Mud volcanism: An updated review. Earth-Science Reviews, 168, 81-112.

Menlikli, C., Demirer, A., Sipahioğlu, Ö., Körpe, L., and Aydemir, V., 2009. Exploration plays in the Turkish Black Sea. The Leading Edge, 28(9), 1066-1075

Menot, G. and Bard, E., 2010. Geochemical evidence for a large methane release during the last deglaciation from Marmara Sea sediments. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 74, 1537-675

Merey, Ş., 2017. Analysis of the Black Sea gas hydrates. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 408 s.

Monteleone, V., Minshull, T. A., and Marin-Moreno, H., 2019. Spatial and temporal evolution of rifting and continental breakup in the Eastern Black Sea Basin revealed by long-offset seismic reflection data. Tectonics, 38, doi: 10.1029/2019TC005523

Naehr, T.H., Eichhubl, P., Orphan, V.J., Hovland, M., Paull, C.K., Ussler Iii, W., Lorenson, T.D., Greene, H.G., 2007. Authigenic carbonate formation at hydrocarbon seeps in continental margin sediments: a comparative study. Deep Sea Res. Part II 54 (11-13), 1268-1291

Nasif, A., 2016. Marmara Denizi Kuzey Şelfi'nin Sismik ve Akustik Verilerle Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 111 s.

Neprochnov, Y.P. and Ross, D.A., 1978. Black Sea geophysical framework. In: Summary of Results of Black Sea Drilling. Initial Report of Deep Sea Drilling Project (DSDP), XLII, National Science Foundation, v. 2, doi:10.2973/dsdp.proc.42-2.106.1978, 1043-1055

Nikishin, A.M., Okay, A.I., Tüysüz, O., Demirer, A., Amelin, N., Petrov, E., 2015. The Black Sea basins structure and history: New model based on new deep penetration regional seismic data. Part 1: Basins structure and fill. Marine and Petroleum Geology, 59, 638-655

Nikishin, A.M., Ziegler, P.A., Bolotov, S.N., and Fokin, P.A., 2011. Late Palaeozoic to Cenozoic evolution of the Black Sea-Southern Eastern Europe region: A view from the Russian Platform. Turkish Journal of Earth Sciences, 20, 571-634

Ocakoğlu, N., İşcan, Y., Kılıç, F., Özel, O., 2018. Morphologic and seismic evidence of rapid submergence offshore Cide-Sinop in the southern Black Sea shelf. Geomorphology, 311, 76-89

Oğuz, S., 2012. Marmara Denizi Orta Sırtı ve Kumburgaz Baseni'nde Sığ Gaz Birikimlerinin Sismik Analizleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 84 s.

Okay, A.I., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N. and Kuşçu, İ., 1999. An active deep marine strike-slip basin along the North Anatolian fault in Turkey. Tectonics, 18, 129-148

Okay, A., Kaşlılar Ö. A., İmren, C., Boztepe, G. A., Demirbağ, E., and Kuşçu, I., 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. Tectonophysics, 321, 189-218

Orphan, V.J., Ussler III, W., Naerh, T.H., House, C.H., Hinrichs, K.-U., and Paull, C.K., 2004. Geological, geochemical and microbial heterogeneity of the seafloor around methane vents in the Eels River Basin, offshore California. Chem. Geol. 205, 265-289

Özdemir, A., and Palabıyık, Y., 2019a. A review of Paleozoic - Miocene petroleum source rocks of Turkey by paleogeographic and paleotectonic data: New interpretations and major outcomes (*Paleocoğrafik ve paleotektonik verilerle Türkiye'nin Paleozoyik-Miyosen petrol kaynak kayalarının incelenmesi: Yeni yorumlar ve önemli sonuçlar*). VII. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, 15 - 17 Kasım 2019, Ankara, 689-725

Özdemir, A. and Palabıyık, Y., 2019b. A new approach to source rock occurrence: The relationships between and petroleum source rock, ophiolites, mantle plume and mass extinction (*Petrol kaynak kayası oluşumuna yeni bir yaklaşım: Petrol kaynak kayası, ofiyolitler, manto sorgucu ve kitlesel yokolma arasındaki ilişkiler*). IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi - Mühendislik Bilimleri (BILMES EN), 07 - 10 Kasım 2019, Ankara, 28-39

Özdemir, A. and Palabıyık, Y., 2019c. Use of Rhenium-Osmium (Re-Os) isotope for direct dating of organic-rich rocks and hydrocarbons/oils in petroleum geology: A review (*Petrol jeolojisinde organik maddece zengin kayaçların ve hidrokarbonların/petrollerin doğrudan yaşlarının belirlenmesi için Re-Os izotopunun kullanımı*). ISPEC 4. Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, 18-20 Ekim 2019, Ankara, 46-59

Önal, K.M. ve Demirbağ, E., 2019. Batı Karadeniz Havzası'nın güney bölümü'nde Akçakoca-Cide açıklarında sıkışmalı tektonik rejime ait yeni bulgular. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 30 (1), 27-51

Özel, K., 2012. Batı Karadeniz Kıtasal Yamacında Gaz ve Gaz Hidrat Birikimlerinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 143 s.

Özel, S., 2012. Doğu Karadeniz ve Gwangyang Körfezi'ndeki Sığ Gaz Birikimleri ile Fiziksel ve Akustik Özellikler. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 170 s.

Öztürk, E., 2005. İskenderun Körfezi Miyosen Yaşlı İstiflerinin Yeraltı Jeolojisi ve Hazne Kaya Özelliklerinin İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 50 s.

Palabıyık, Y. and Özdemir, A., 2019. Oil and gas seeps in Turkey: A review (*Türkiye'deki petrol ve gaz sızıntıları: Bir inceleme*). VII. Uluslararası Fen, Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Akademik Çalışmalar Sempozyumu, 15 - 17 Kasım 2019, Ankara, 726-740

Parlak, A.Y., 2017. Orta Karadeniz Bölgesi'nin Kabuk Yapısının Gravite Verileri ile Modellenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 66 s.

Perinçek, E., 2011. Tekirdağ Havzası Yüksek Çözünürlüklü Sismik Yansıma Verilerinin İşlenmesi ve Yorumlanması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans, 119 s.

Planke, S., Svensen, H., Hovland, M., Banks, D.A., and Jamtveit, B., 2003. Mud and fluid migration in active mud volcanoes in Azerbaijan. Geo-Mar. Lett. 23, 258-268.

Poyraz, D.T., 2010. Marmara Denizi Orta Sırtı Üzerindeki Sismik Yansıma Verilerinin İşlenmesi ve Yorumlanması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 143 s.

Rice, D. D., and Claypool, G.E., 1981. Generation, accumulation and resource potential of biogenic gas. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist, 65, 5-25

Robinson, A.G. 1997. Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region. AAPG Memoir, Tulsa, 68, 367

Robinson, A.G., Rudat, J.H., Banks, C.J., Wiles, R.L.F., 1996. Petroleum geology of the Black Sea. Marine and Petroleum Geology, 13(2), 195-223.

Robinson, A., Spadini, G., and Cloetingh, S., and Rudat, J., 1995. Stratigraphic evolution of the Black Sea: inferences from basin modelling. Marine and Petroleum Geology, 12(8), 821-835

Ross, D.A., Neprochnov, Y.P., Hsü, K.J., Staffers, P., Supko, P., Trimonis, E.S., Percival, S.F., Erickson, A.J., Degens, E.T., Hunt, J.M., Manheim, F.T., Senalp, M., and Traverse, A., 1978. Summary of Results of Black Sea

Drilling. Initial Report of Deep Sea Drilling Project (DSDP), XLII, National Science Foundation, v. 2, 1244 p., doi:10.2973/dsdp.proc.42-2.1978

Ruffine L., Germain, Y., Polonia, A., De Prunele, A., Croguennec, C., Donval, J-P., Pitel-Roudaut, M., Ponzevera, E., Caprais, J-C., Brandily, C., Grall, C., Bollinger, C., Geli, L., and Gasperini, L., 2015. Pore water geochemistry at two seismogenic areas in the Sea of Marmara. Geochemistry Geophysics Geosystems, 16(7), 2038-2057

Sabuncu, Y.Ç., 2016. 3-D Velocity Structure for the Sea of Marmara and Surrounding Region (NW Turkey) by Using Full Waveform Tomography. İstanbul Technical University, PhD Thesis, 342 p.

Sakitaş, A., 2004. Marmara Denizi Çınarcık Çukurunun Geç Kuvaterner Sedimantolojisi. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 91 s.

Shillington, D.J., Minshull, T.A., Edwards, R.A., and White, N., 2018. Crustal structure of the Mid Black Sea High from wide-angle seismic data. In: Simmons, M.D., Tari, G.C. and Okay, A.I. (eds.), Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464, doi: 10.1144/SP464.6

Simmons, M.D., Tari, G.C., and Okay, A.I., 2018. Petroleum geology of the Black Sea: introduction. Simmons, M.D., Tari, G.C. and Okay, A.I. (eds) Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464, https://doi.org/10.1144/SP464.16

Sipahioğlu, N.Ö., and Batı, Z., 2018. Messinian canyons in the Turkish western Black Sea. In: Simmons, M.D., Tari, G.C. and Okay, A.I. (eds.), Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464, doi: 10.1144/SP464.12

Sipahioğlu, N.O., Karahanoğlu, N., and Altıner, D., 2013. Analysis of Plio-Quaternary deep marine systems and their evolution in a compressional tectonic regime, Eastern Black Sea Basin. Marine and Petroleum Geology, 43, 187-207

Starostenko, V., Buryanov, V., Makarenko, I., Rusakov, O., Stephenson, R., Nikishin, A., Georgiev, G., Gerasimov, M., Dimitriu, R., Legostaeva, O., Pchelarov, V., Sava, C., 2004. Topography of the crust-mantle boundary beneath the Black Sea Basin. Tectonophysics, 381, 211-233

Starostenko, V.I., Rusakov, O.M., Shnyukov, E.F., Kobolev, V.P., and Kutas, R.I., 2010. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological environments. In: Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R.A., Bergerat, F., and Starostenko, V. (eds) Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform. Geological Society, London, Special Publications, 340, 57-75

Stein, H.J. and Hannah, J., 2014. Rhenium-Osmium Geochronology: Sulfides, Shales, Oils, and Mantle. Encyclopedia of Scientific Dating Methods. 1-25, doi: 10.1007/978-94-007-6326-5_36-1

Şengör, A.M.C., Grall, C., İmren, C., Le Pichon, X., Görür, N., Henry, P., Karabulut, H., and Siyako, M., 2014. The geometry of the North Anatolian transform fault in the Sea of Marmara and its temporal evolution: implications for the development of intracontinental transform faults. Can. J. Earth Sci, 51, 222-242

Tari, G., Vakhania, D., Tatishvili, G., Mikeladze, V., Gogritchiani, K., Vacharadze, S., Mayer, J., Sheya, C., Siedl, W., BANON, J.J.M., and Trigo Sanchez, J.L., 2018. Stratigraphy, structure and petroleum exploration play types of the Rioni Basin, Georgia. Simmons, M.D., Tari, G.C. & Okay, A.I. (eds) Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464, http://dx.doi.org/10.1144/SP464.14

Tari, G.C. and Simmons, M.D., 2018. History of deepwater exploration in the Black Sea and an overview of deepwater petroleum play types. Simmons, M.D., Tari, G.C. & Okay, A.I. (eds) Petroleum Geology of the Black Sea. Geological Society, London, Special Publications, 464, https://doi.org/10.1144/SP464.16

Tari, G., Fallah, M., Kosi, W., Schleder, Z., Turi, V., Krezsek, C., 2015a. Regional Rift Structure of the Western Black Sea Basin: Map-View Kinematics. GCSSEPM 34th BFPRC Petroleum Systems in "Rift" Basins 2015, https://doi.org/10.5724/gcs.15.34.0372

Tari, G., Fallah, M., Kosi, W., Floodpage, J., Baur, J., Bati, Z. and Sipahioğlu, N.Ö., 2015b. Is the impact of the Messinian Salinity Crisis in the Black Sea comparable to that of the Mediterranean? Marine and Petroleum Geology, 66, 135-148.

Tari, G., 2015. Is the Black Sea really a back-arc basin?. GCSSEPM 34th BFPRC Petroleum Systems in "Rift" Basins 2015, https://doi.org/10.5724/gcs.15.34.0509

Tezcan, D., 2008. Crustal Structure of the Eastern Mediterranean and the Black Sea Basins from Satellite Altimetry and Shipborne Gravity Data. Middle East Technical University, PhD Thesis, 118 p.

Tolun, L.G., 2001. Marmara, Karadeniz ve Kuzey Ege Denizlerinde Sapropelik Birimlerin ve Bunlarla İlişkili Çökellerin Organik Jeokimyası. İstanbul Üniversity, Doktora Tezi, 90 s.

Tütünsayar, H.E., 2017. Karadeniz'in Yapısal Özelliklerinin ve Dipaltı Yapısının Manyetik Yöntemler ile Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, 132 s.

Ünal, A., 2009. Batı Karadeniz Akçakoca Kuzeyi (Deniz) Yeraltı Jeolojisi ve Petrol İmkanlarının Kuyu ve Sismik Kesitlerle İncelenmesi. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 71 s.

Yakupoğlu, N., 2017. Sedimentary records of active faulting in Kumburgaz basin, sea of Marmara. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 155 s.

Yegorova, T., Gobarenko, V., and Yanovskaya, T., 2013. Lithosphere structure of the Black Sea from 3-D gravity analysis and seismic tomography. Geophys. J. Int., 193, 287-303

BÖLÜM 4

BİLİMSEL ÇALIŞMALARDA VE TEKNOLOJİK UYGULAMALARDA GRAFEN

Prof. Dr. Elif ORHAN[1]
Doğukan YAZICI[2]

[1] Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara, Türkiye. eliforhan@gazi.edu.tr
[2] Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara, Türkiye. dogukan.yazici@gazi.edu.tr

GİRİŞ

Bu derleme çalışması, grafenle ilgi araştırmaların önümüzdeki on yıl boyunca veya en azından grafenin potansiyel uygulamalarının her biri kendi gereksinimlerini karşılayana kadar, niçin devam edeceğini anlamaya çalışmayı amaçlamıştır. Literatür incelendiğinde, grafen (ilk iki boyutlu atomik kristal) ile ilgili araştırma makalelerinin ve patentlerin sayısının son 5 yıl içerisinde hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Birçok üstün özelliği çok sayıda uygulama için grafeni çekici bir malzeme haline getirmiştir. İstatistikler, gelecek yıllarda da grafen alanında yapılan çalışmalarda artışların olacağını göstermektedir[1].

Silisyum XIX. yüzyılda keşfedilmiş ancak silisyum yarıiletkenlerin elektronik alanda yükselişe geçişi neredeyse bir yüzyıl sürmüştür. Bilim dünyasında grafen, üstün özellikleriyle neredeyse gelecek on yılı yönlendirecek bir süper malzeme olarak görülmektedir. 2004 yılında grafenin keşfi ile araştırmacılar grafen üzerine yoğunlaşmaya başlamış, – grafenin ilk keşfedildiği Manchester Üniversitesi de dahil olmak üzere – sürekli olarak grafen oluşturma ve kullanma metotları için yapılan çalışmalar günümüze kadar hız kazanarak devam etmiştir. Öyle ki, Asya'daki teknoloji şirketleri, grafen teknolojileri üzerinde araştırmalar yapmakta ve Avrupa Birliği ise 2017 yılında elektronikte kullanılmak üzere grafen araştırmalarını finanse edecek bir fon ayırmış bulunmaktadır. Grafen uygulamalarının piyasası, esasen spesifik uygulama için uygun özelliklere sahip grafen üretibilmedeki ilerlemeye bağlıdır. Son birkaç yılda dikkate değer bir ilerleme

kaydedilmiş olmasına rağmen, grafen tabanlı malzemelerin gelecekteki gelişimi ve pratik uygulamaları için hala bazı zorluklar bulunmaktadır.

Grafen araştırmalarının doğasını daha iyi anlamak için, grafeni sadece grafitin sınırlı tabakalarına sahip olan bir alt tabakası olarak görmek lazım. Bu perspektif ile bakıldığında bal peteği örgüsüne sahip olan grafen yapının aslında çokda yeni olmadığını görmekteyiz. Doğada bolca bulunan, doğal olarak meydana gelen grafit yaklaşık 500 yıldır bir mineral olarak bilinmektedir. Orta çağlarda bile, tabakalı yapıya sahip ve bu tabakaları arasında zayıf etkileşim bulunan grafit, eşyaların işaretlenmesinde kullanılmıştır. Günümüzde ise kalemlerde sıkça kullanılmaktadır[2].

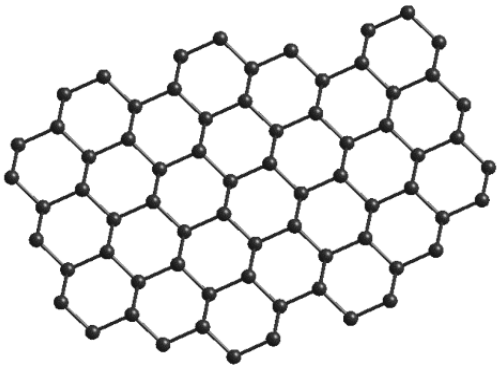
Dünya'nın kabuğunda[3] ve gözlemlenebilir evrende en bol bulunan[4], periyodik tablonun 6 numaralı elementi olan karbon (C), Dünya'daki canlı organizmalar için temel bir bileşendir[5]. C atomlarının uzay dizilişindeki farklılık, fiziksel özellikleri birbirinden farklı 'Karbonlar' elde etmemizi mümkün kılar. Bunlara karbonun allotropları adı verilir. Grafit, elmas ve amorf karbon gibi üç boyutlu (3D) doğal olarak oluşan karbon allotropları, binlerce yıldır bilinmektedir ve kullanılmaktadır[6]. Bununla birlikte, son yıllarda sadece boyutları indirgenmiş karbon allotropları araştırılmaya başlandı. 1985'te fullerenlerin (buckyballs)[7] ve 1991'de karbon nanotüplerin[8] keşfi −sırasıyla sıfır ve tek boyutlu karbon formları - boyutsallıklarının bir sonucu olarak gösterdikleri benzersiz fiziksel ve elektronik özellikler nedeniyle bilimsel toplulukta büyük bir heyecan

yaratmıştır[9]. Çığır açan grafen de karbonun bir allotropu olarak tanımlanmaktadır. Tek bir grafen tabakası –iki boyutlu (2D) karbon allotropu- Novoselov ve ark. tarafından 2004 yılında[10] grafitten selobant metoduyla ("Scotch tape" metodu) başarıyla elde edildi ve optoelektronikten biyomedikale kadar birçok alanda potansiyel kullanımı, 2010 yılında Novoselov ve Geim'e Nobel ödülü verilmesine yol açan bu mucizevi malzeme üzerine bir araştırma patlamasına neden oldu. Mükemmel 2D yapısı içinde olağanüstü mekanik, elektronik, optik ve termal özellikleri, grafeni tartışmasız elektronik[11], optoelektronik[12], enerji depolama[13] , kompozit malzemeler[14] ve biyomedikal[15] dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda en çok çalışılan olağanüstü malzeme yaptı. Grafen, yüksek ısısal ve elektriksel iletkenliği, geniş yüzey alanı, yüksek mekanik özellikleri, IR ve görünür bölgede yüksek ışık geçirgenliği gibi üstün özellikleri ile güneş pilleri, foto-diyotlar, süper kapasitörler, piller, yakıt pilleri, sensör ve aktüatör gibi uygulama alanlarında büyük ilgi uyandırmıştır.

1. GRAFENİN YAPISI

Grafen, iki boyutlu (2D), grafitin tek tabakalı halidir ve Şekil 1' de gösterildiği gibi düz petek yapısında yoğun bir şekilde paketlenmiş sp^2 hibrit karbon atomlarından oluşmaktadır. Taban durumu için, her karbon atomu $1s^2$, $2s^2$ ve $2p^2$ atomik orbitallerini dolduran 6 elektron içermektedir, bunlardan 2 tanesi 2s ve 2p ($2p_x$, $2p_y$, $2p_z$) orbitallerinin iç kabuklarını, diğerleri ise dış kabuklarını doldurur. Uyarılmış durumda, orbitallerde, yapılandırılmış uygun dört kuantum

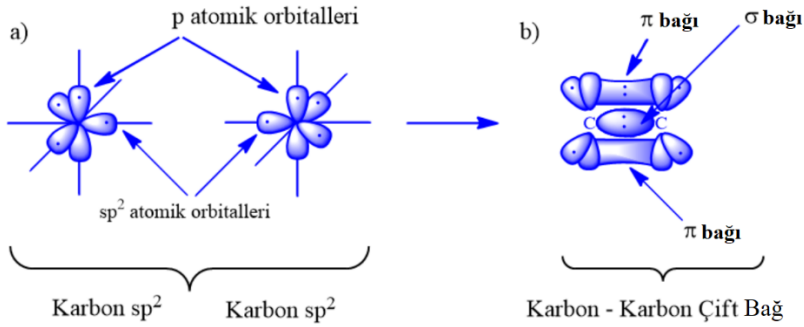
mekaniksel durum $|2s\rangle, |2p_x\rangle, |2p_y\rangle$ ve$|2p_z\rangle$ bulunur. $|2s\rangle$ ile $n|2p_j\rangle$ durumlarının bir süperpozisyonu sp^2 hibritleşmesi olarak isimlendirilir. Grafen sp^2 hibridizasyon oluşturur: 2s orbitalinin, iki 2p orbitali ($2p_x$ ve $2p_y$) ile üst üste binmesi ile orbitaller xy-düzlemi üzerinde aralarında 120° olacak şekilde hizalanmışlardır. Bundan dolayı, her atom etrafındaki en yakın diğer üç atomla çok güçlü bir kovalent bağ yapar, bu bağ σ-bağı olarak adlandırılır ve sonucunda xy-düzlemi boyunca bir altıgen örgü oluşumu gerçekleşir. Sol hibritleşmemiş $2p_z$ orbitali düzleme yatay olarak uzanır (π-elektronu). Böylece grafendeki üç komşu atoma sahip bir atom buna bağlı olarak üç adet σ-bağına ve altı adet π-bağına sahiptir. σ-bağları grafenin mekanik özelliklerinden sorumluyken, π-bağları grafenin, düşük enerji seviyelerinde elektronik özelliklerini sağlamaktadırlar.



Şekil 1. Grafen Yapı

Ayrıca, grafen yapısındaki π-elektronları σ-elektronlarına kıyasla Fermi yüzeyine çok yakınlardır. Bundan dolayı, π- elektronlarının enerji dağılımı yalnızca grafenin elektronik bant yapısı için dikkate alınır. Grafenin elektronik özelliklerinin tanımlanmasında π-elektronları kritik bir rol oynamaktadır. Grafenin bal peteği örgüsü, π-

bağ orbitallerinin enerji seviyeleri ile sırasıyla değerlik ve iletim bandına karşılık gelen π ve π* bantları dahil olmak üzere iki enerji bandına ayrılır. Şekil 2.a, karbon atomlarının sp^2 hibritleşmesini, Şekil 2.b, grafende σ ve π bağlarının oluşumunu göstermektedir.



Şekil 2. (a) Karbon Atomlarının sp^2 Hibritleşmesi ve **(b)** Grafende σ ve π Bağlarının Oluşumu

2. GRAFENİN OPTİK ÖZELLİKLERİ

Grafen, iki boyutlu (2D) düz petek yapısında yoğun bir şekilde paketlenmiş sp^2 hibrit karbon atomlarından oluşmaktadır. Karbonun dış kabuğunda bağlar oluşturarak diğer atomlarla etkileşime girebilecek dört elektron vardır. Grafende, karbonun dört değerlik elektronundan üçü, düzlemde komşu atomlarla σ bağları oluşturur. Grafenin olağanüstü mekanik sağlamlığının ve esnekliğinin arkasındaki neden, son derece güçlü olan bu σ bağlarıdır. Grafen yapısında bulunan π bağları ise elektronik özelliklerden sorumludur. Grafenin yeni elektronik özellikler kazanmasına yol açan unsur, karbon atomunun dördüncü elektronik orbitalinin (π orbitali) düzlem dışı yönelmesi ve serbest kalmasıdır[16]. Küçük örgü sabiti nedeniyle, bir atomun π orbitali komşu atomunkiyle çakışır. Bu π orbitallerinin

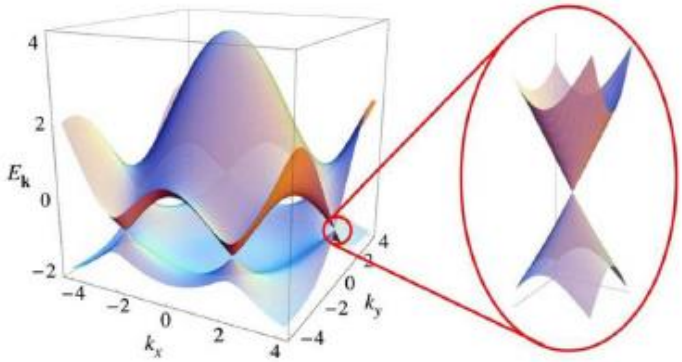
hibridizasyonu π bağlarının oluşumuna yol açar. Daha düşük enerjili π bağ elektronları (faz içi) valans bandını oluşturur. Daha yüksek enerjili π* anti-bağ elektronları (faz dışı) ise iletim bandını oluşturur. Koni şeklindeki iletim ve valans bantları grafeni lineer bant dağılımına sahip sıfır boşluklu yarı iletken yapan bir noktada birbirlerine temas ederler [17]. Bu noktaya Dirac noktası (K noktaları) denir. Tabaka sayısı arttıkça bant yapısı lineerlikten sapar. Grafen yasak enerji aralığına sahip olmayan yarıiletken bir malzeme olduğundan dolayı teknolojik uygulamalarda kullanılabilmesi için yasak enerji aralığı oluşturacak mekanizmalar geliştirilmelidir. Brillouin bölgesinde K noktası civarında grafenin davranışının lineer olması ise yapı içindeki elektronların kütlesiz Dirac fermiyonları gibi davranmasını açıklamaktadır. Grafende Brillouin zonun her bir köşesinde altı tane K noktası vardır. Tek bir grafen tabakasının kalınlığı 0.335 nm'dir. Birçok grafen tabakanın bir araya gelmesiyle ve bu tabakalar arasında zayıf bir bağ oluşmasıyla üç boyutlu bir yapı olan grafit meydana gelmektedir. Grafen tabakası içerisindeki elektronlar kütlesiz rölativistik fermiyonlar gibi davranırlar. Grafen içinde elektronlar neredeyse fotonlar gibi hareket eder ve 800000 m/s gibi büyük bir hıza ulaşabilirler. Bu elektronların taşıyıcılık özellikleri fotonlar gibi kütlesiz parçacıklarınkilere daha çok benzemektedir.

Grafen, yukarıda da bahsedildiği üzere, sıfır bant aralığı ve mükemmel simetrik enerji bant yapısı nedeniyle ilgi çekici optik özellikler sergiler. Si/SiO_2 tabaka (belli oksit kalınlıklarında) üzerindeki grafen çıplak gözle görülebilir. Optik mikroskop altında

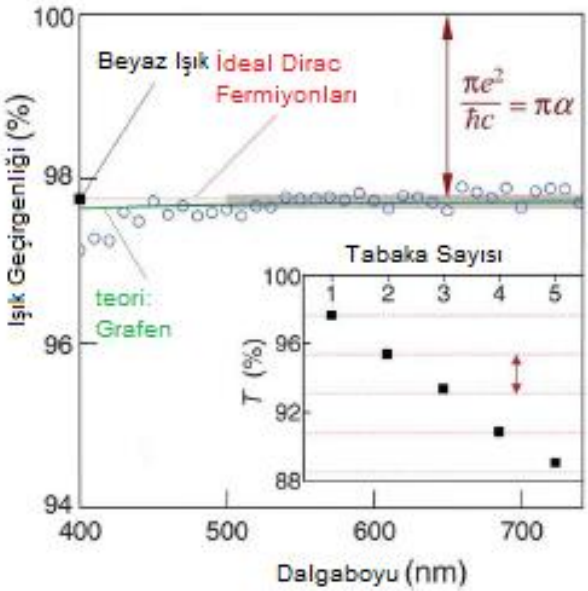
grafenin görünürlüğü daha fazla olacaktır. Grafenin optik iletkenliğinin reel kısmı dalga boyundan bağımsızdır. Teorik olarak, grafende optik soğurma ve optik geçirgenlik sadece ince yapı sabitine- α- bağlıdır ve diğer fiziksel malzeme özellikleri ile ilişkili değildir. Grafenin geçirgenliği, Fresnel denklemi uygulanarak hesaplanabilmektedir. Tek tabakalı grafen, görünür bölgede gelen ışığın (400 nm-750 nm) πα = %2.3'ünü soğurur. Aslında, grafenin soğurma spektrumu lineer bant yapısı nedeniyle 300 nm'den 2500 nm'ye kadar düşük enerjilerde (Dirac noktası civarında) hemen hemen düzdür. Grafenin elektronik bant yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir. Bununla birlikte, daha yüksek frekanslı ışık için, yüksek enerjilere doğru bant yapısında gözlenen non-lineerite (doğrusal olamayan etkiler) nedeniyle πα-soğurmasından küçük sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar, UV bölgedeki 250 nm civarındaki soğurma pikinde önemli hale gelir. Şekil 4, görünür bölgede tek tabaka grafenin ışık geçirgenlik spektrumunu göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, grafendeki optik soğurma tabaka sayısı ile doğru orantılıdır ve her bir grafen tabaka görünür bölgede (400 nm-750 nm) gelen ışığın %2.3'ünü soğurur. Şekil 4'de gömülü grafik ise, tabaka sayısı arttıkça ışık geçirgenliğinde lineer azalışın olduğunu göstermektedir.

Grafenin özellikleri ve uygulamaları doğrudan grafen tabakalarının sayısına bağlıdır ve tabaka sayıları, özel uygulamalar için kritik önem taşımaktadır. Örneğin, tek tabakalı grafenin %2.3 oranında beyaz ışığı absorbe ettiğini, birkaç tabakalı grafen yapının ise absorbsiyonun tabaka sayısına bağlı olarak %2.3'ün katlarına eşit olduğu

belirtilmiştir. Araştırmalar, çok tabakalı grafenin elektrokromik cihazlar için mükemmel olduğunu göstermiştir[18].



Şekil 3. Grafenin Elektronik Bant Yapısı[17]



Şekil 4. Görünür Bölgede Tek Tabaka Grafenin Işık Geçirgenlik Spektrumu[19]

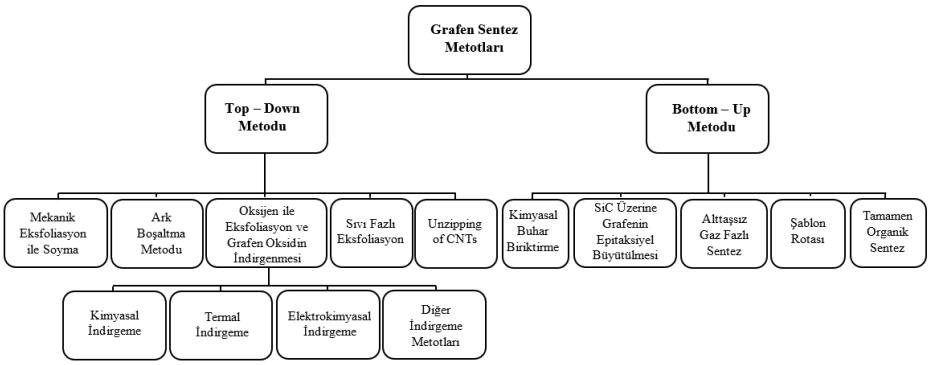
3. GRAFEN VE GRAFEN TÜREVLERİNİN SENTEZLENME METODLARI

Günümüz endüstrisinde, grafenin uygulanabilir bir pozisyonda olabilmesi için grafenin mevcut malzemelere göre rekabetçi bir maliyetle üretimi sağlanmalıdır. Üretilecek olan grafenin spesifik özellikleri sağlaması için yeni bir sentez metodu keşfetmek ise bu işin en zorlayıcı kısmıdır. Sentez aşamasındaki belirli özellikler: uygun maliyet, yüksek güvenilirlik ve ölçeklenebilir üretimin yanı sıra yüksek ürün verimi ve kalitesi de bir hayli önem taşımaktadır. Grafenin sentezi konusundaki çoğu tartışma temel olarak bu yukarıda belirtilmiş olan özelliklere yoğunlaşmıştır. Grafen sentezinin mekanizması ve grafenin detaylı karakterizasyonu literatürde çokça ele alınmıştır.

Tabakalı yapıya sahip malzemelerin üretimi için kullanılan çeşitli teknikler vardır ve bu teknikler tüm nanomalzemelerin sentezine benzer teknikler içermektedir. Grafen sentez metotları Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de görüldüğü üzere, bu teknikler iki grupta katagorize edilebilir: Yukarıdan aşağı (top-down) ve aşağıdan yukarı (bottom-up) yaklaşımları. Yukarıdan aşağı yaklaşımında grafit ve diğer karbon temelli öncüller, tabakalar arasındaki kovalent olmayan bağların kırılmasıyla nanoboyutta grafen oluşturmak için kullanılırlar. Yaygın olarak kullanılan metotlar, mekanik eksfoliasyon, sıvı faz eksfoliasyon (LPE), grafen oksidin (GO) oksidasyon-redüksiyonu ve ark boşalmasıdır. Aşağıdan yukarı yaklaşımda ise, grafit dışındaki diğer karbon kaynaklar kullanılarak grafen veya grafenin türevleri

üretilmektedir ve bu metotta atomik boyuttaki öncüller kullanılarak bir alttaş üzerinde grafen, kimyasal buhar biriktirme (CVD), epitaksiyel büyütme veya toplam organik sentez metotları ile oluşturulur[20].

Tablo 1. Grafen sentez metotları[20].

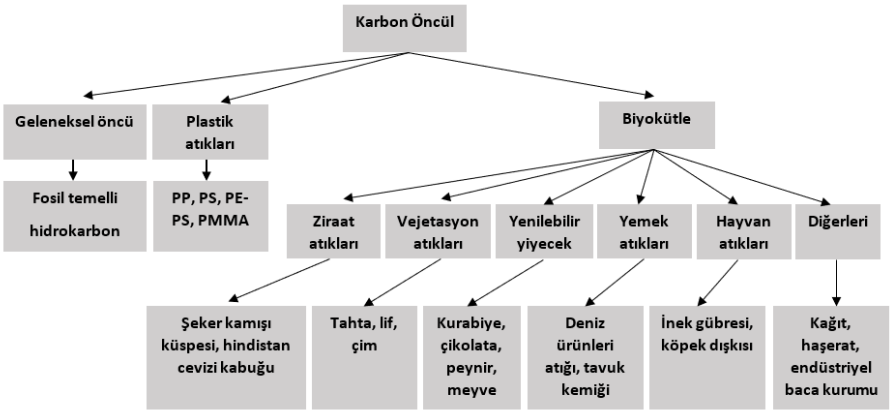


3.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Metodu

Kimyasal buhar biriktirme (Chemical Vapor Deposition, CVD) metodu, yarıiletken endüstrisinde yaygın kullanılan ve çok yönlü bir tekniktir. Bir CVD grafen sentez sisteminde; katalizör olarak metal folyo, taşıyıcı olarak bir soygaz, karbon kaynağı olarak da gaz halindeki karbona ihtiyaç duyulur. Karbon öncülleri, Tablo 2'de gösterildiği gibi geleneksel öncüller (fosil temelli hidrokarbonlar), plastik atıklar ve biyokütle olarak sınıflandırılabilir. Şekilde görüldüğü gibi, CVD metodu, hidrokarbon gazlarını (Metan (CH_4), Asetilen (C_2H_2), Etilen (C_2H_4) ve hekzan (C_6H_{14}) ve diğer biyokütle materyallerini) ayrıştırarak metal katalizörler (Cu ve Ni folyolar) üzerine belirlenen sıcaklıklarda (1000-1200 °C) grafeni büyütme işlemidir. Kullanılan hidrokarbon gazları metal katalizörün sıcak

yüzeyi ile temas ettiğinde kullanılan karbon bileşiği ayrışır ve serbest hareket eden karbon ve hidrojen atomlarına dönüşürler. Karbon atomu, kullanılan metal katalizör yüzeyine nüfuz eder ve orada büyür, karbon çözünürlük limitine ulaşıldığında metal tabaka üzerinde grafen nanotabaka oluşur. Ayrıca, elektronik cihaz uygulamaları için grafenin cam, silikon (Si), kuartz (SiO_2), safir (Al_2O_3) ve boron nitrit (BN) gibi yalıtkan alttaşlar üzerinde olması gerekir[20].

Tablo 2. Grafen ve türevlerinin sentezinde kullanılan karbon öncüller[20].

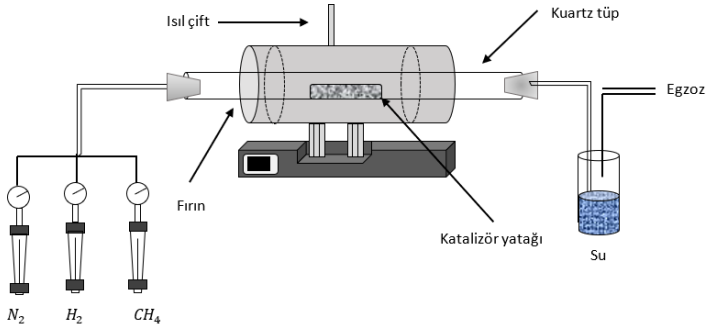


CVD tekniği, düşük film kusurlarıyla, geniş yüzey alanına sahip, kaliteli bir grafen film büyütme imkânı tanımasına rağmen yüksek maliyet oranı, düşük verimlilik ve üzerine büyütülen materyalden (Cu, Ni folyo) grafenin ayrıştırılıp başka alttaş üzerine transfer edilmesi zorluğu gibi dezavantajlara da sahiptir. Maliyet, alttaşın büyüklüğü, öncül tipi ve enerji tüketimi ile sınırlıdır. Ayrıca, CVD'nin ölçeklenebilirliği, alttaş üzerinde geliştirilen grafenin aktarılmasındaki zorluk nedeniyle engellenir. Grafen aktarım adımı, yapısal kusurlar ve kirlilikler yüzünden-yanlış yapıldığında- nihai ürüne zarar

verebileceğinden zor bir adımdır. Şekil 5'te CVD'nin şematik gösterimi sunulmaktadır.

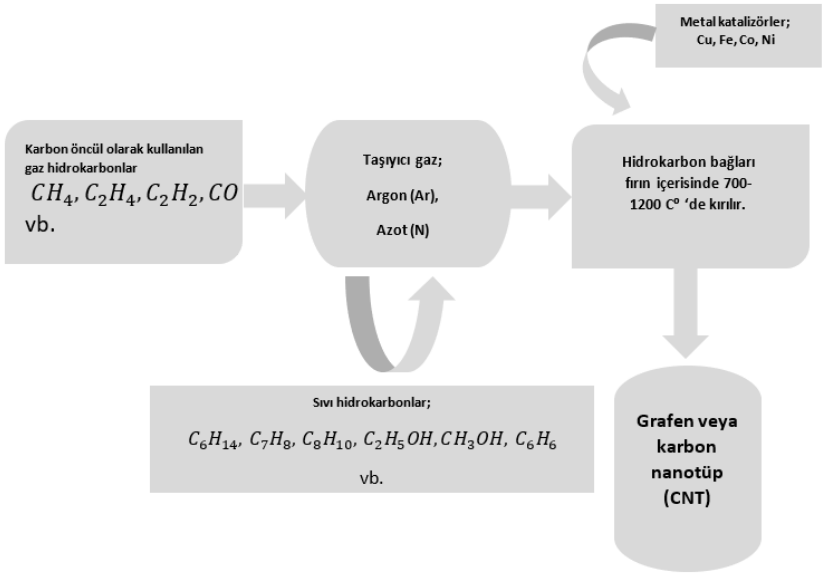
Şekil 5. CVD'nin Şematik Gösterimi[21]

Karbon üretiminde kullanılan CVD teknikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablo 3'de görüldüğü üzere, CVD tekniği; basınç reaktör tipi, karbon kaynağı, ısıtma metotları/kaynaklarına göre sınıflandırılabilir. Basınç tipine göre yüksek basınçlı CVD (High Pressure Chemical Vapor Deposition-HP-CVD), atmosferik basınçlı CVD (Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition-AP-CVD) ve düşük basınçlı (Low Pressure Chemical Vapor Deposition-LP-CVD) CVD teknikleri mevcuttur. Reaktör tipine göre sınıflandırmak gerektiğinde, sıcak duvarlı CVD (Hot Wall Chemical Vapor Deposition-HW-CVD) ve soğuk duvarlı CVD (Cold Wall Chemical Vapor Deposition-CW-CVD) metotları vardır. Karbon kaynağı baz alınarak CVD teknikleri üç başlıkta toplanabilir. Katı hal CVD Chemical Vapor Deposition-SS-CVD), Sıvı hal CVD (Liquid State Chemical Vapor Deposition-LS-CVD) ve Gaz hal CVD (Gas State Chemical Vapor Deposition-GS-CVD) metotları vardır. Örnek olarak GS-CVD ayrıntılı olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Gaz Hal CVD (GSCVD) Sistemi[21]

Sıvı hal ve gaz hal karbon kaynaklarına göre grafen sentezinde katalizör olarak genellikle kullanılan metal bileşikler ve grafen büyütme aşamaları Şekil 7'de özetlenmiştir.

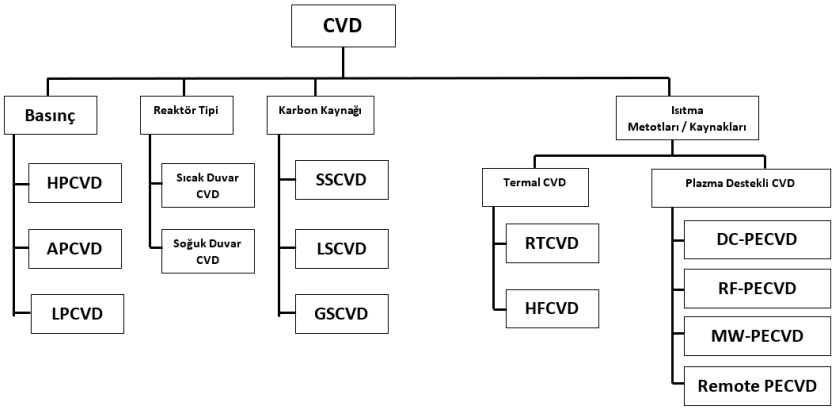


Şekil 7. Sıvı Hal ve Gaz Hal Karbon Kaynaklarına Göre Grafen Sentezinde Katalizör Olarak Genellikle Kullanılan Metal Bileşikler ve Grafen Büyütme Aşamaları[22]

Son olarak CVD metodu, ısıtma metotları/kaynaklarına göre de iki başlık altında toplanabilir. Bunlar termal CVD (Thermal Chemical Vapor Deposition-T-CVD) ve plazma destekli CVD (Plazma

Enhanced Chemical Vapor Deposition-PE-CVD)'dir. Termal CVD ise ikiye ayrılır; biri hızlı termal CVD (Rapid Thermal Chemical Vapor Deposition-RT-CVD) ve sıcak flaman CVD (Hot Flaman Chemical Vapor Deposition-HT-CVD)'dir. Plazma destekli CVD ise plazma kaynağı tipine göre doğru akım (Direct Current Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition-DC-PECVD), radyo frekans (Radio Frequency Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition-RF-PECVD), mikrodalga (Microwave Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition-MW-PECVD) ve uzaktan kontrollü CVD (Remote Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition-Remote-PECVD) olarak sınıflandırılır.

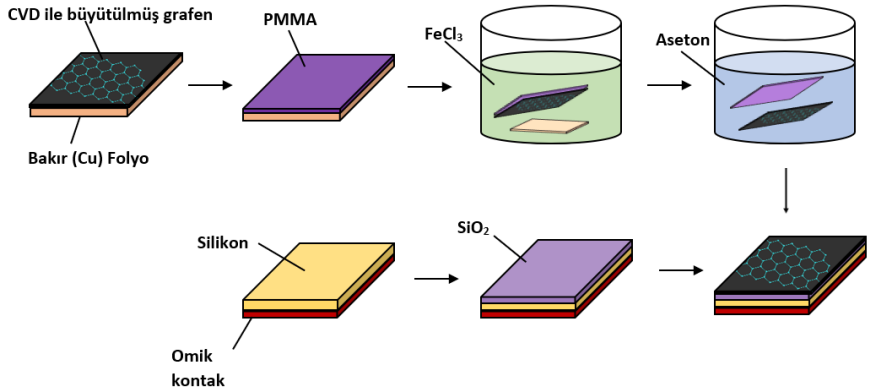
Tablo 3. Karbon üretiminde kullanılan CVD tekniklerinin türleri[21].



CVD metodu ile sentezlenen grafen miktarı, alttaşın büyüklüğüne bağlıdır. Bu metotla büyütülen grafen filmin kalitesi oldukça yüksektir. Bununla birlikte, CVD işlemindeki maliyet, oksidatif-eksfoliasyon-indirgemeye göre daha fazladır[21].

3.1.1. CVD Tekniği ile Büyütülmüş Grafenin Transferi

Grafen filmler, en çok CVD ile Cu/Ni folyolar üzerinde biriktirilmekte ve alttaşlar üzerine transfer edilmektedirler. CVD tekniğinde grafen filmlerin deneysel çalışmada kullanılacak alttaş üzerine transferinin yapılması gerekli bir zorunluluktur. Bu da CVD işlemini sınırlamaktadır. Üzerinde grafen bulunan bakır folyo spin kaplama metoduyla polimetil metakrilat (PMMA) ile kaplanır. Seçici aşındırma metodu ile PMMA kaplı malzeme demir klorür ($FeCl_3$) çözeltisi içerisine konulur ve bakır folyo aşındırılır (etching). Altında grafen bulunan PMMA çözücü yardımıyla (aseton ve benzeri) ile kaldırılır (lifting) ve istenilen alttaş üzerine grafen transfer edilmiş olur. Şekil 8, CVD tekniği ile büyütülmüş grafenin transfer adımlarını şematik olarak göstermektedir.



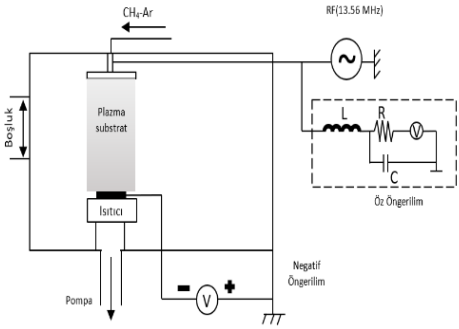
Şekil 8. Grafenin Transferi

3.2. Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme Metodu

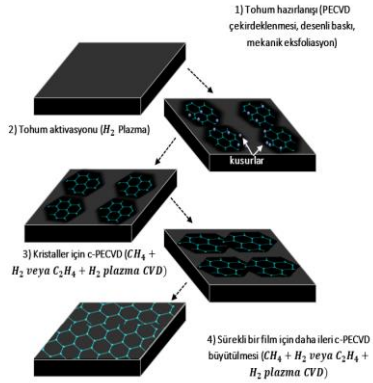
Dikey yönelimli (3 boyutlu-3D) grafen nanotabakalar elde etmek için Plazma Destekli Kimyasal Buhar Biriktirme (Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition, PE-CVD) tekniği kullanılmaktadır. Bu

teknik, grafenin çeşitli alttaşlar üzerine transfer işlemi gerektirmeden direkt büyütüldüğü bir tekniğidir. Kabaca ısıtıcı, güç ünitesi, vakum odası, vakum kontrol ünitesi ve gaz kontrol ünitesinden oluşur. PE-CVD sistemi içerisinde plazmanın elde edildiği bir reaktör, birbirine paralel olan disk şeklindeki iki elektrot, gazların bileşenlere ayrılması için gerilim (örneğin; radyo frekanslı) uygulayan jeneratör (RF)[23]. Reaktöre kontrollü bir şekilde gaz akışını sağlayan iğne vana, akış ölçer ve düzenleyicilerin olduğu gaz girişleri ile çıkıştaki mekanik vakum pompasından meydana gelmektedir. Paralel iki elektrot arasına doğru akım (DC) uygulanarak elektrik alanın katkısıyla elektrotlar arasında birkaç pf (pikofarad) değerinde bir kapasitans oluşur. Gazlar anot-katot arasına gönderilerek plazmanın sadece bu iki elektrot arasında oluşması sağlanmaktadır. Bu plazma oluşması istenilen kaplamanın cinsine göre ortamda bulunan gazları bileşenlerine ayırır ve alttaş üzerinde ince bir film tabakası halinde kaplanmasını sağlar. Başlangıç olarak bu teknikte tabakalar arasına uygulanan elektrik alan ortamda bulunan gazların kinetik enerjilerinin artmasına ve bu sayede gaz ortamından ayrılan bazı gaz moleküllerin iyonize olmasına sebep olur ve iyonize olmuş moleküllerin birbirleri arasında etkileşimleri sonucunda reaksiyon başlatılır. İşlem devam ederken ortamda yeni elektronlar üretilmesi durmaz ve bu oluşum plazmanın oluşumu ile sonuçlanır. Son zamanlarda, RF-PE-CVD tekniği 3D grafen üretimi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniği tercih edilmesindeki en önemli faktör, grafen nanoyapılarını doğrudan bir alttaş üzerinde elde etmenin mümkün olmasıdır. Yüksek enerjili elektronlar, gaz fazındaki kimyasal reaksiyonlar için gereken enerjiyi sağladığından,

gazın kendisi nispeten daha soğuktur. Dolayısıyla, PE-CVD' nin büyük bir avantajı olan geleneksel CVD işleminde mümkün olandan daha düşük bir sıcaklıkta alttaşlar üzerinde film oluşumu meydana gelebilir. Ayrıca PE-CVD'deki düşük çökelme sıcaklıkları, CVD sıcaklıklarının üretilen cihazlara zarar verebileceği birçok uygulamada kritik öneme sahiptir. CVD tekniğinde ince film büyütme sıcaklığı 750^0–900^0C arasında değişirken PECVD metodunda büyütme sıcaklığı daha düşük sıcaklıklarda, 150^0– 750^0C arasında gerçekleşebilmekte ve bu yönüyle daha avantajlı olmaktadır. Yüksek büyütme sıcaklıkları altındaki uygulamalarda difüzyonlar ve benzer sorunların oluşabilmesi mümkün olmaktadır. PE-CVD reaktörleri, plazma kaynağı tipine göre doğru akım (DC), radyo frekans (RF) ve mikrodalga (MW) olarak sınıflandırılır[21, 23-24]. RF-PE-CVD sisteminin şematik diyagramı Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 10, grafenin PE-CVD tekniği ile büyütülme adımlarını göstermektedir.



Şekil 9. RF-PE-CVD Sisteminin Şematik Diyagramı[21]



Şekil 10. PE-CVD Adımları[20]

3.3. Epitaksiyel Büyütme

Grafen hekzagonal alttaş üzerine (Silisyum karbür; SiC) vakum altında veya inert şartlar altında termal kimyasal buhar biriktirme tekniği ile 1200^0-1600^0C derecelerde biriktirilir. Yüksek sıcaklık, Silikon (Si)'un süblimleşmesine (Silikon'un erime sıcaklığı 1100 ^{0}C'dir) ve silisyum karbürdeki karbon (C) atomlarını serbest bırakarak toplanmalarına ve sp^2 hibritleşmesi ile bir ağ yapısı oluşturarak grafenin büyümesine yol açar. Bu işlem grafenin SiC üzerine epitaksiyel büyütülmesi olarak bilinir. Fakat bu metotla büyütülen grafen, homojenlik açısından noksandır. SiC ve politetrafloroetilen (Polytetrafluoroethylene, PTFE) arasındaki ekzotermik reaksiyon önemli bir inceleme konusudur. Ancak yüksek kaliteli grafen üretimi sağlanması ile birlikte, bu teknik basit işlemli bir üretim tekniği de olsa, sentez sırasında tetrafloroetilen salınımı nedeniyle çevresel bir endişe gündeme gelmiştir. Şimdiki sentez koşullarına göre grafenin epitaksiyel büyütülmesi, enerji yoğunluğu ve SiC alttaşın limitli boyutunun ticari maliyeti nedeniyle pahalı olacaktır. Bu teknikte grafenin kalınlık dağılımını kontrol etmek de zordur. Grafen tabakalar termal ayrışma yoluyla SiC alttaş yüzeyinde oluşturulabilir. Bu işlem 1000 °C üzerinde yüksek sıcaklıklarda vakum veya argon ortamında alttaşın tavlanması ile yapılır. Yüksek sıcaklıklarda süblimleşme hızı silikon için karbondan daha hızlıdır bu yüzden geride karbon atomları yüzeyde grafeni oluştururlar. Bu teknikte grafenin kalınlık dağılımını kontrol etmek zordur. Sonuçta birkaç tabakalı grafen elde edilir. Yüzeydeki ilk grafen tabakasındaki karbon atomlarının yaklaşık %30'u Si'ye kovalent bağlıdır, sonraki tabakalar kovalent bağları

olmadan tabakalar arası bağlarla büyürler. Bu metodun en önemli avantajı başka bir alttaşa grafenin transferinin gerekmemesidir[20].

4. GRAFENİN KARAKTERİZASYONU

Grafen araştırmalarının en önemli kısımlarından biri grafenin karakterizasyonudur. Bu karakterizasyon, grafenin yapısı, kusurları ve tabaka sayısı gibi özelliklerinin mikroskobik ve spektroskopik ölçümlere dayalı olarak araştırılmasını içerir.

4.1. Optik Görüntüleme

Optik görüntüleme, silikon oksit (SiO_2) alttaşlar üzerindeki grafeni inceleme için basit, hızlı ve tahribatsız bir metottur. Grafenle ilgili malzeme araştırmalarında optik mikroskop, atomik boyuttaki ince malzemelerin yapısındaki olası kusurları, düzensizlikleri ve kalıntıları belirlemek için kullanılan ilk karakterizasyonlardan biridir. Atomik olarak ince yapısına rağmen SiO_2 alttaşlar üzerinde yer alan tek tabaka grafen bile, alttaki oksit tabakasının rengi ile ayırt edilebilir bir kontrast oluşturur. Bu kontrastın nedeni, Fresnel denklemleri ile tanımlanmıştır[25]. Oksit tabakasının kalınlığı ve ışığın/filtrenin dalgaboyu, SiO_2 üzerindeki grafen filmin görünürlüğünü maksimum seviye çıkarmak için ayarlanabilir. Fresnel denklemlerini kullanarak tek tabakalı grafen için beklenen kontrast, SiO_2 kalınlığı ve dalgaboyunun fonksiyonu olarak hesaplanabilir[26].

4.2. AFM, TEM, XRD ve XPS Karakterizasyonları

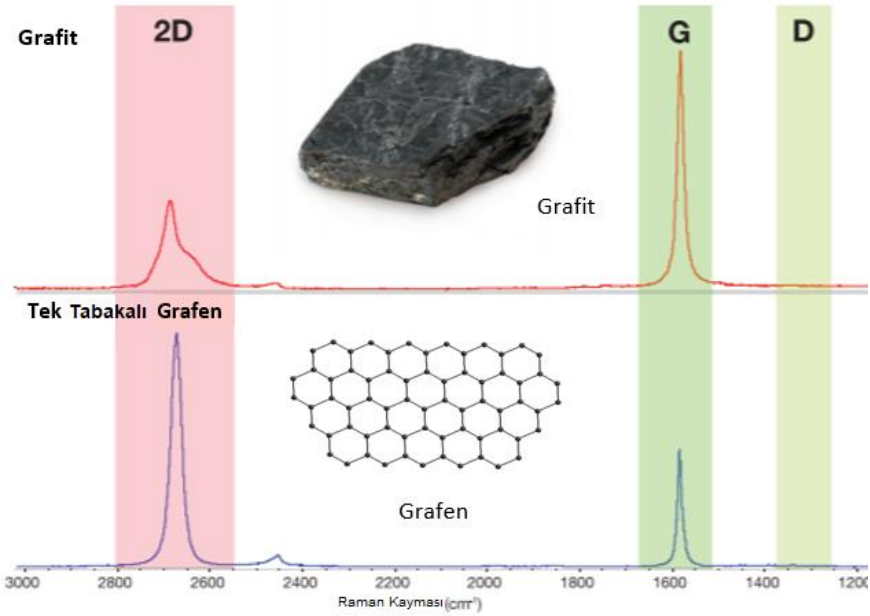
Atomik kuvvet mikroskobu (Atomic Force Microscopy-AFM), grafen ve onun türevlerinin yüzey pürüzlüğünü, kalınlığını ve diğer morfolojik özelliklerini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu metot, bulk tipi malzemeyi taramada zorluklara sahiptir ve sadece topografiksel görüntü sağlamaktadır. AFM ile tek tabakalı grafenin ölçülen kalınlığı 0.4 nm ile 1 nm arasında değişmekte olup, teorik olarak hesaplanan değerden (0.34 nm) farklıdır. Geçirimli elektron mikroskopu (Transmission Electron Microscopy-TEM) ise, genellikle grafeni analiz etmek için yaygın bir şekilde kullanılır ve atomik seviyede malzemenin görüntüsünü elde etme yeteneğine sahiptir. TEM, kusurları, boşlukları, dislokasyonları görüntülemek ve tanımlamak için uygun bir metottur. Yüksek ayırma gücüne sahip TEM (High Resolution Transmission Electron Microscopy-HR-TEM), grafen tabakaların kalınlıklarını ve tabaka sayısını belirlemek için kullanılabilmektedir. Gafenin kristalitesi, atomik düzenlenmesi, kristal boyutları da X-Işını Kırınım (X-Ray Diffraction-XRD) metoduyla belirlenebilmektedir. X-ışını fotoelektron spektroskopi (X-Ray Photoelectron Spectroscopy-XPS) ise, grafen malzemedeki mevcut olan rölatif karbon, oksijen miktarlarını ve diğer fonksiyonel grupların varlığını belirlemek için kullanılmaktadır.

4.3. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopi tekniği, grafen ve diğer tabakalı yapıya sahip malzemeler için kullanılan güçlü, tahribatsız ve zorunlu bir analitik teknik olmakla birlikte, geometrik yapının ve moleküller arası

bağların tayini için kullanılan son derece hassas titreşimsel bir tekniktir. Yapıda meydana gelecek en ufak geometrik değişim bile, gözlenmiş olan Raman spektrumunda büyük değişimlere yol açabilir. Atomik titreşimler nedeniyle malzemeden inelastik saçılan ışığın analizine dayanmaktadır. Gelen ve saçılan ışığın enerjisindeki kaymanın analizi, grafende tabaka sayısı, katkılama, düzensizlikler, gerinim ve kimyasal modifikasyonun belirlenmesini sağlayan dalga sayısı (1/cm) ile tanımlanır. Işığın bir kristal ile etkileşimi bir fononun yayınlanmasına ve soğrulmasına yol açar. Raman işleminin derecesi saçılan olaylarının sayısı ile tanımlanır. Birinci dereceden Raman saçılma işlemlerinde, foton enerji değiş tokuşu, kristalde momentumu sıfır olan bir fonon yaratır. Öte yandan, ikinci ve üçüncü dereceden Raman saçılma işlemleri, momentumu sıfır olmayan sırasıyla iki ve üç foton içerir. Şekil 11'de görüldüğü gibi tipik bir Raman spektrumu, karbon malzemesi için ayırt edici Raman piklerine sahiptir. Bunlar; D piki 1350 cm^{-1} 'de, G piki 1580 cm^{-1}'de ve 2D piki 2700 cm^{-1}'de görülmektedir. D piki karbon sp^2 hibridize atomlarındaki düzensizliği (örgüdeki bozunumları) temsil etmektedir. G piki ise, gerilme titreşimlerini göstermektedir. 2D piki, ikinci dereceden Raman saçılmasıdır. D pikinin G pikine oranı, grafen numunedeki düzensizliklerin derecesini belirlemek için kullanılmaktadır. 2D pikinin G pikine oranı ise grafenin kalitesini belirlemek için kullanılmaktadır. Bu oran ne kadar büyük olursa film kalitesinin yüksek olduğu söylenebilir. Araştırmalarda mekaniksel eksfoliasyonla sentezlenenlen grafenlerle karşılaştırıldığında, CVD tekniği ile büyütülmüş grafenlerde, bu oranın daha büyük olduğu görülmektedir.

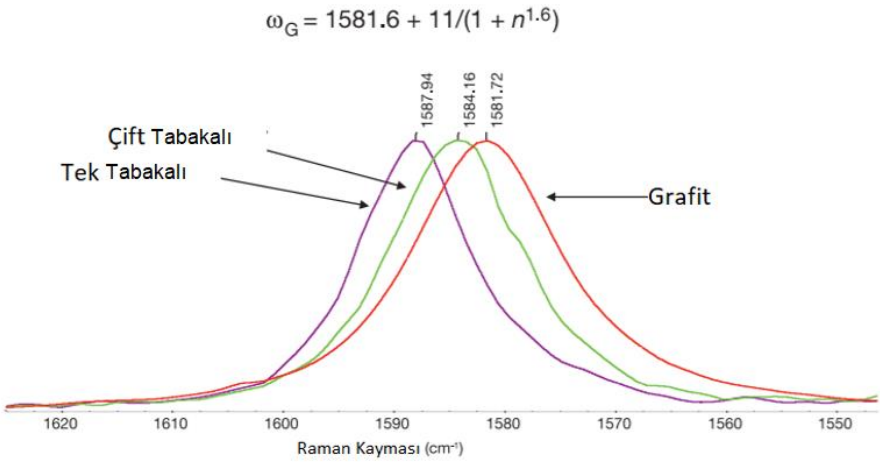
CVD tekniği, kaliteli film büyütmek için genelde tercih edilmektedir. Grafen ve grafit yapının Raman spektroskopisinden elde edilen grafikleri incelendiğinde grafik üzerinde göreceli basit bir yapının iki karakteristik bant ile karakterize edildiği görülmektedir. Bunlar G bandı ve 2D bantlarıdır (Üçüncü bant D, grafen karakterizasyonunda yalnızca karbon yapıda bir kusur olduğu zaman görülebilir). Bu farklı bantlar, yakından incelendiğinde birçok bilgi barındırmaktadırlar. G bandı ve 2D bandı arasında bant pozisyonu, bant şekli gibi farklılıklar vardır ve bu bantların göreceli şiddetleri ayrıca birbirlerinden fazlasıyla farklıdır[27]. Grafit ve grafen yapının temsili Raman spektrumları Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. Grafit ve Grafen Yapının Raman Spektrumları[27]

4.3.1. G Bandı

G bandı grafen spektrumunda 1587 cm^{-1} civarında ortaya çıkan keskin bir banttır. Bant, grafen tabakasını oluşturan sp^2 hibridize karbon atomlarının düzlem içi titreşim modudur. G bandının pozisyonu, sahip olduğu tabaka sayısına göre yüksek duyarlılık gösterir ve G bandı tabaka sayısının belirlenmesinde önemli bir metot olup, belli bir numune için gözlenen pozisyon temel alınır. Bu davranışı daha iyi açıklamak için Şekil 12 incelendiğinde, tek tabakalı, çift tabakalı ve grafit yapının (çok tabakalı) G bant pozisyonlarının birbirinden farklı olduğu açıkça gözükmektedir. Tabaka kalınlığı arttıkça bant pozisyonunun daha düşük enerjilere doğru kaydığı görülür, bu da yapıya her bir grafen tabakasının eklenmesi ile bağ kuvvetlerinin yavaşca zayıfladığı anlamına gelir.

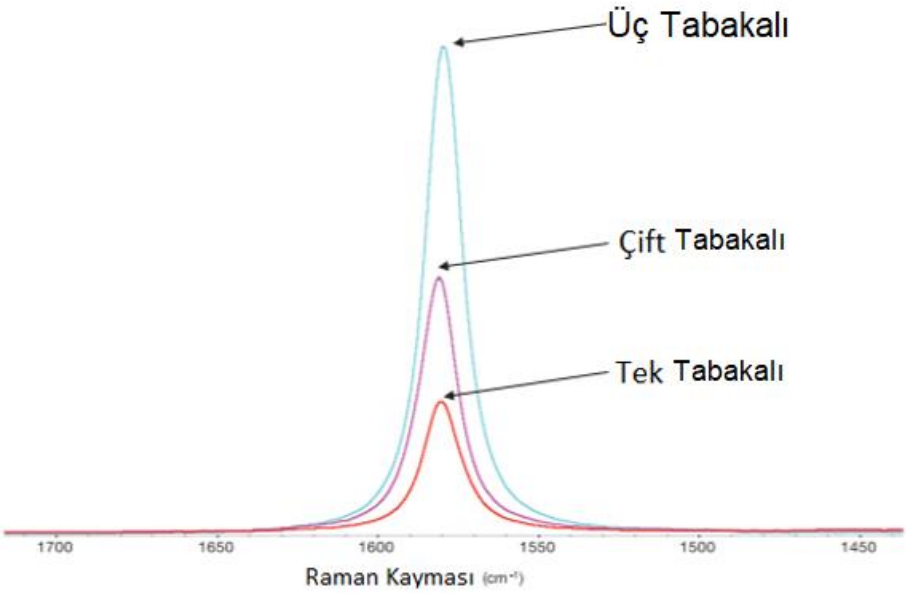


Şekil 12. G Piki Değerinin Tabaka Kalınlığına Göre Değişimi[27-28]

Bant pozisyonu, atomik tabakaların sayısı ile aşağıdaki şekilde deneysel olarak ilişkilendirilebilir[27].

$$\omega_G = 1581.6 + 11/(1 + n^{1.6})$$

ω_G, dalga sayısı cinsinden (cm^{-1}) bant pozisyonu ve n incelenen numunedeki tabaka sayısını temsil etmektedir. Üzerinde durulması gerekilen bir diğer bilgi ise, bant pozisyonu sıcaklık, katkılama ve hatta çok küçük miktarda bile olsa incelenen numune üzerindeki gerilmeden bile etkilenebilmektedir. G bandının pozisyonu sadece numunedeki tabaka sayısına ışık tutmaz, aynı zamanda G bandının şiddeti de grafen kalınlığının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Şekil 13, tek tabakalı, çift tabakalı ve üç tabakalı grafene ait spektrumları göstermektedir. Bu bandın şiddetinin tek tabakadan başlayarak tabaka sayısı arttıkça neredeyse lineer bir artış gösterdiği görülmektedir[27].



Şekil 13. Tabaka Sayısına Göre G Bandı Şiddetindeki Artış[27]

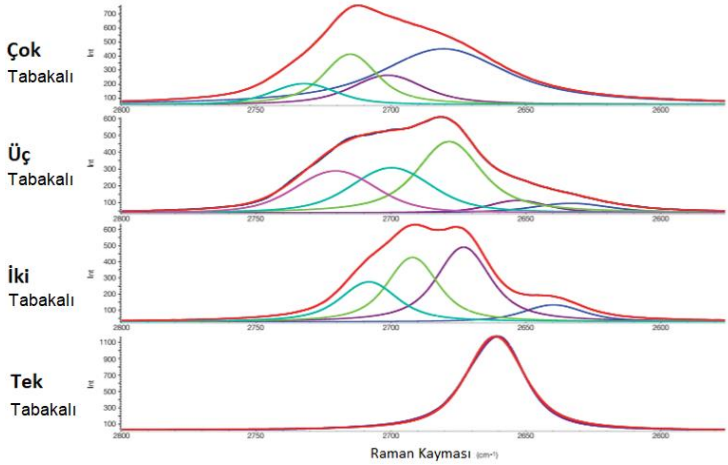
4.3.2. D Bandı

D bandı düzensizlik veya kusur bandı olarak bilinir. D bandı grafitte oldukça zayıf olmakla birlikte yüksek kaliteli bir grafende de zayıftır. D bandının dikkate değer bir ölçüde olması, malzemede çok sayıda kusurların olduğu anlamına gelir. D bandının şiddeti direkt olarak numunedeki kusur seviyesiyle orantılıdır. D bandında çok zayıf titreşim modları da vardır ve bu modların sayısı hangi uyarıcı lazerin kullanıldığına bağlıdır. Farklı lazer frekansları bandın hem şeklini hem de pozisyonu önemli ölçüde değiştireceği için, D bandı karakterizasyonu yapılırken bütün ölçümlerde aynı frekanslı uyarıcı lazerlerin kullanılması önemlidir[27].

4.3.3. 2D Bandı

2D bandı, ikinci dereceden D bandıdır. 2D bandı, iki fonon örgü titreşiminin bir sonucudur ama D bandına nazaran, aktive olması için ortamdaki bir kusura ihtiyaç yoktur. Sonuç olarak 2D bandı, D bandı olmadığında bile grafende her zaman güçlü bir banttır. Bu bant aynı zamanda grafenin tabaka kalınlığını belirlemek için kullanılır. 2D bandı metodu yalnızca bant pozisyonuna değil, aynı zamanda bant şekline de bağlıdır. Tek tabakalı, çift tabakalı ve üç tabakalı, grafenlerin 2D bantları arasındaki farklar Şekil 14'de gösterilmiştir. Tek tabakalı grafen için 2D bandı, yarı maksimumundaki tam genişliği (FWHM) 30 cm^{-1} olan tek simetrik pik olarak gözlenir. Grafende tabaka sayısı arttıkça, yani tek tabakalı grafenden çok tabakalı grafene doğru gidildikçe 2D bandı yarılır ve simetrisi azalır.

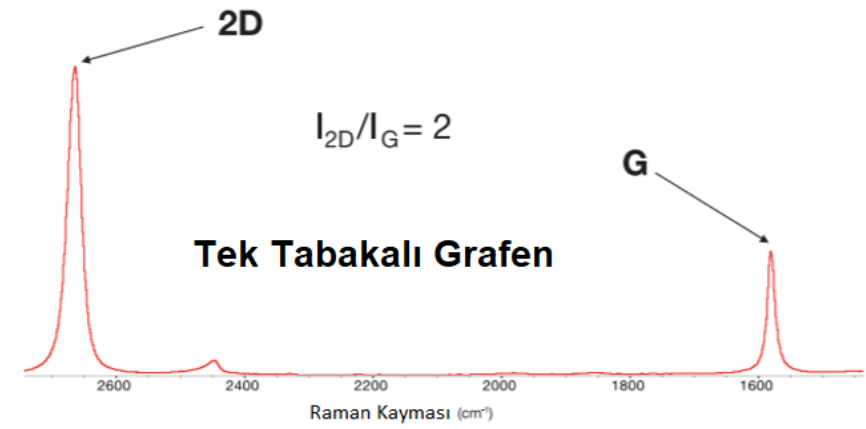
Grafenin tabaka sayısındaki artışın 2D bandı üzerindeki etkisi Şekil 14' de gösterilmektedir[27].



Şekil 14. Grafenin Tabaka Sayısındaki Artışın 2D Bandı Üzerindeki Etkisi[27]

Farklı lazer frekansları bandın hem şeklini hem de pozisyonu önemli ölçüde değiştireceği için, D bandında da olduğu gibi 2D bandı karakterizasyonu yapılırken bütün ölçümlerde aynı frekanslı uyarıcı lazerlerin kullanılması önemlidir[27].

Ayrıca tek tabakalı grafen, 2D ve G bantlarının pik şiddetlerinin oranı (I_{2D}/I_G) analiz edilerek de tanımlanabilmektedir (Şekil 15).



Şekil 15. Tek Tabakalı Grafene Ait 2D ve G Bantları ve Pik Şiddetlerinin Oranı[27]

Yüksek kaliteli (kusursuz) tek tabakalı grafenin I_{2D}/I_G oranının 2'ye eşit olacağı belirtilmektedir[27]:

$$I_{2D}/I_G = 2$$

Bu oran, kusursuz yüksek kalitede grafenin varlığını teyit olarak kullanılır[27].

Raman spektroskopi tekniğine ilaveten Raman haritalama (mapping) tekniğinde ise, DXR gibi bir Raman mikroskopu sisteme entegre edilmiştir. Bu mikroskop, mikron altı uzaysal çözünürlükle grafen örneklerinin kimyasal görüntülerini oluşturabilir. Bu, bir grafen numunesinin numune boyunca tamamen tek bir tabakadan oluşup oluşmadığı veya farklı kalınlıktaki bölgeleri içerip içermediğini karakterize etmek için kullanılır.

4.4. FTIR Karakterizasyonu

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopi (FTIR) tekniği, grafen ve onun türevlerindeki kimyasal fonksiyon gruplarını belirlemek için kullanılmaktadır. Grafit, 3430 cm^{-1}'de O-H gerilme titreşim pikine ve 1610 cm^{-1}'de aromatik C=C titreşim pikine sahiptir. Grafen oksit (GO) spektrumu 1785 cm^{-1} (C=O, Karbonil gruptur) ve 1707 cm^{-1} (C-O, Gerilme) de iki pike sahiptir. İndirgenmiş GO spektrumunda 3430 cm^{-1}'de rölatif olarak daha küçük bir pik şiddeti gözükmektedir ve 1785 cm^{-1}, 1707 cm^{-1} ve 1105 cm^{-1}'deki pikler kaybolmaktadır. Bu da indirgenmiş GO'in oluştuğunu göstermektedir.

4.5. BET Karakterizasyonu

Brunauer – Emmett – Teller (BET) yüzey alanı analizi, grafen ve onun türevlerinin spesifik yüzey alanlarını ve gözenek boyut dağılımını belirlemek için kullanılan ileri bir tekniktir. Teorik olarak grafen büyük spesifik yüzey alanına sahiptir ve bu da grafen ve diğer malzemeler arasındaki yüzey etkileşimini güçlendirir. Grafenin spesifik yüzey alanı (teorik olarak 2630 m^2g^{-1}) araştırılmış ve deneysel sonuçlar bu yüzey alanının 100-1000 m^2g^{-1} arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bu farklılık, grafenin farklı metotlarla sentezlenmesine ve nanotabakaların sayısına atfedilmektedir[29].

5. GRAFEN SENTEZ METOTLARININ POTANSİYEL ENDÜSTRİYEL UYGULAMASI

Son yirmi yıl içinde, grafenin seri üretiminde uygulanabilir sentez yollarını bulmak için birçok araştırma yapılmıştır. Her sentez metodu, spesifik özelliklere sahip bir grafen ürünü üretebilmektedir ve işlemin

ölçeklenebilirlik potansiyeli, sentez koşulları, hammadde mevcudiyeti ve maliyeti gibi diğer faktörlerle sınırlıdır. Küresel Raporlama Girişimi, Amerikan Kimya Mühendisleri Enstitüsü Sürdürülebilirlik Endeksi, Kimya Mühendisleri Enstitüsü Sürdürülebilir Kalkınma İlerleme Metrikleri (IChemE SDPM) ve Yeşil Kimya, sentez süreçlerinin performansını değerlendirmek için çeşitli sürdürülebilirlik değerlendirme metotları uygulamışlardır.

Grafen sentez metotlarının potansiyel endüstriyel uygulamaları IChemE SDPM tarafından incelenmektedir. IChemE ölçümleri, süreç değerlendirmesinde birincil gösterge olarak uygulanan üç önemli hususu, yani çevre, ekonomik ve sosyal göstergeleri kapsamaktadır. Çevresel göstergeler, kaynakların (enerji, malzeme, su ve toprak gibi) kullanımına ve prosesin ürettiği emisyonlar, atık sular ve atıklar nedeniyle çevre üzerindeki etkilere (atmosferik, su ve toprak gibi) odaklanmaktadır. Bu arada, ekonomik göstergeler kazanılan kârı, katma değeri, ödenen vergileri ve yapılan yatırımları kapsarken; sosyal göstergeler istihdam durumunu, iş sağlığı ve güvenliğini ve topluma etkilerini dikkate almaktadır. Bununla birlikte, önerilen nicel ölçümler her durumda geçerli değildir, ancak süreç değerlendirmesine dengeli bir bakış açısı kazandırmak için temel göstergelerin çevresel, ekonomik ve sosyal yönlerden seçilmesi gerekmektedir. IChemE yönergelerine dayanarak, grafen sentez metotları hakkındaki mevcut değerlendirme için altı anahtar gösterge tanımlanmıştır ve bunlar: 1. maliyet (öncü maliyeti ve işletme maliyeti), 2. ölçeklenebilirlik potansiyeli, 3. ürün kalitesi, 4. işlem koşulu (proses güvenliği ve

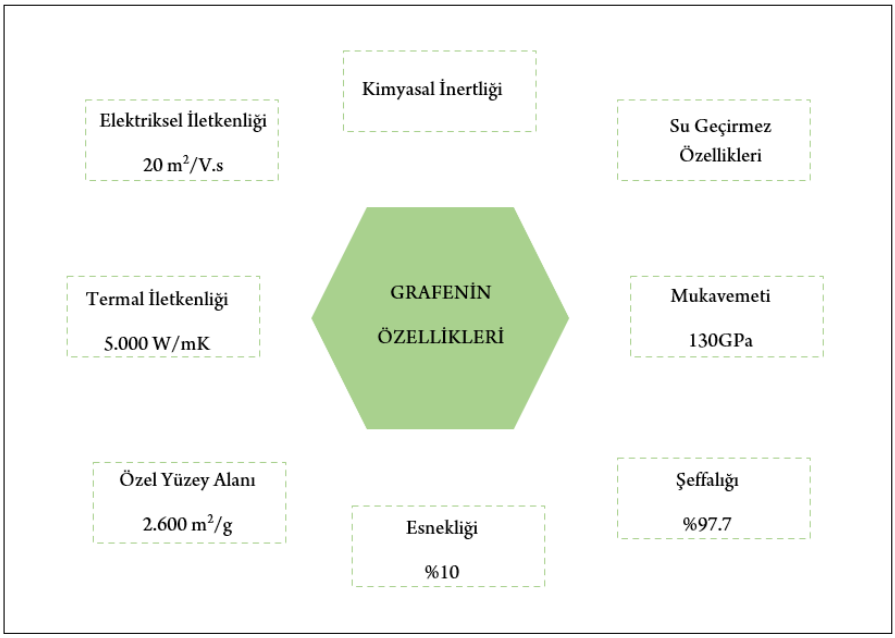
karmaşıklığı), 5. kaynak ve 6. çevreye etkisi (tehlikeli kimyasalların kullanımı).

IChemE SDPM değerlendirmesinde, oksidatif eksfoliasyon, CVD ve LPE'nin endüstriyel uygulama için yüksek potansiyele sahip olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, farklı uygulamalar için tam ticarileştirme gerçekleştirilmeden önce, grafen ve grafen türevlerinin yüksek maliyeti kadar çevresel riskler gibi zorlukların da üstesinden gelinmesi gerektiği bildirilmiştir[20].

6. GRAFEN İÇİN TEKNOLOJİK YOL HARİTASI

Grafen ile ilgili araştırmaların hızlı bir şekilde ilerlemesinin nedeni, yüksek kalitede grafen elde etmemizi sağlayan laboratuvar prosedürlerinin endüstriyel uygulamalara göre nispeten basit ve ucuz oluşudur. Araştırmalar sonucunda, deneysel olarak elde edilen birçok grafenin, diğer malzemelere göre daha üstün özellikler sergilediği görülmüştür[30] (Şekil 16). Grafen, oda sıcaklığında $2.5.10^5$ $cm^2V^{-1}s^{-1}$ (teorik limit $2.5.10^5$ $cm^2V^{-1}s^{-1}$) elektron mobilitesine, 1T'lık Young modülüne, 130 GPa'lık mukavemete ve 2630 m^2g^{-1}'lık spesifik yüzey alanına sahiptir. Ayrıca grafen, çok yüksek termal iletkenliğe (5000 W/mK), πα= %2.3'lik optik soğurmaya (α ince yapı sabiti), herhangi bir gaza karşı tam geçirmezliğe, yüksek elektrik akım yoğunluğuna (bakırdan milyon kez daha fazla) ve kimyasal olarak kolayca işlevselleştirilebilme özelliklerine de sahiptir. Bu üstün özellikler, grafenin "mucize malzeme" olarak anılmasına sebep olmuştur. Aslında, doğada molibden disülfür (MoS_2) ve boron nitrür (BN) gibi

birçok 2D kristaller mevcuttur. Bunlar yapısal olarak grafene benzeseler de kendi ayırt edici özellikleri vardır. Uygun uygulamalarda bu yapıların grafenle birlikte kullanımı ve hibrit yapıların oluşturulması grafenin ticari başarı şansını hiç şüphesiz geliştirecektir.

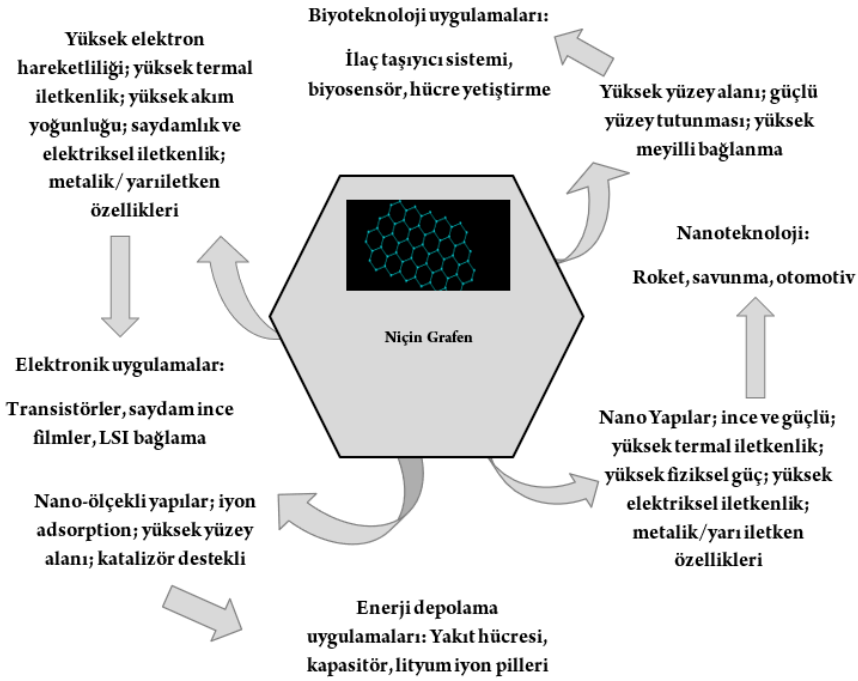


Şekil 16. Grafenin Özellikleri[30]

Mükemmel mekaniksel sertliği, mukavemeti, elastikiyeti, çok yüksek ısıl ve elektriksel iletkenliği gibi özellikleri, şu an mevcut uygulamalarda kullanılan diğer malzemelerin yerini grafenin alabileceğini göstermektedir. Grafenin saydamlık, iletkenlik ve elastikiyet özelliklerinin kombinasyonu, esnek elektronik ve şeffaf koruyucu kaplamalar gibi uygulamalarda grafenin tercih edilmesini

sağlayacaktır. Böyle bir kombinasyonla gerçekleştirilecek uygulamaların listesi araştırmalar sürdükçe sürekli artacaktır.

Grafenin özelliklerinin tam anlamı ile anlaşılması ve hibrit yapılarla entegrasyonun altında yatan sorunların çözümlenmesi, özellikle biyoteknolojik, elektronik ve enerji depolama uygulamalarında, tercih edilecek yeni, performansı güçlü grafen esaslı aygıt üretimine yol açacaktır. Şekil 17, grafenin özellikleri ve uygulama alanları hakkında kısa ve özetleyici bilgileri içermektedir.



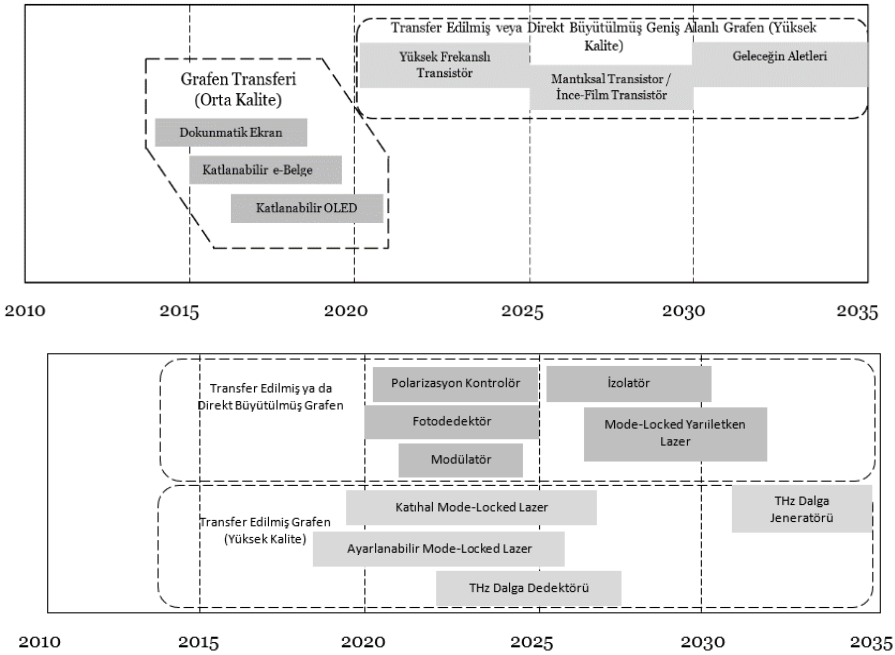
Şekil 17. Grafenin Özellikleri ve Uygulama Alanları[22]

Şekil 17'de görüldüğü gibi, grafenin büyük yüzey alanı, güçlü yüzey tutunum özellikleri ve potansiyel biyouyumluluğu; ilaç taşıyıcı sistemler ve biyosensörler gibi biyoteknolojik uygulamalarda yaygın

olarak grafenin tercih edileceğini de göstermektedir. Grafenin yüksek elektron mobilitesi, yüksek termal/elektriksel iletkenliği, yüksek akım yoğunluğu, saydamlığı ve metalik/yarıletken özellikleri ise; transistörler, fotodedektörler, saydam ince filmler, özel dokunmatik ekranlar, korozyon önleyici kaplamalar ve boyalar, verimli-hassas sensörler, sıvı kristal ekranlar (Liquid Crystal Display-LCD), katlanabilir organik ışık yayan diyotlar (Organic Light Emitting Diode-OLED), katlanabilir e-belgeler gibi elektronik alanlarda yaygın olarak grafenin kullanılacağının işaretidir. Grafenin hafif olmakla birlikte çelikten güçlü oluşu, yakıt verimliliğini artırarak savunma (roket, füze, uçak) ve otomotiv gibi nanoteknolojik alanlarda da grafenin kompozit malzeme olarak kullanılmasını sağlayacaktır. Yüksek enerji depolama kapasitesine sahip olacağı tahmin edilen grafenin, bu özelliği nedeniyle, lityum iyon pilleri, yakıt hücresi, kapasitör, ışık panelleri, güneş pilleri ve elektrik arabaları gibi enerji depolama uygulamalarında da verimli bir şekilde kullanılabileceği ön görülmektedir[31].

Ayrıca grafen, biyo-uygulamalar için de umut vadeden bir malzemedir. Geniş yüzey alanı, kimyasal saflığı ve kolay işlevselleştirilebilme yeteniği, grafenin ilaç dağıtım sistemlerinde kullanımının önünü açmaktadır. Onun eşsiz mekanik özellikleri doku mühendisliği ve rejeneratif tıp uygulamalarında kullanılabileceğini de göstermektedir. Doku mühendisliği, çeşitli hastalıklarda hasta tedavisi üzerinde etkisi olabilecek, potansiyeli olan bir teknoloji alanıdır. Grafenin son derece ince oluşu, iletkenliği ve mukavemeti, TEM

cihazında biyomoleküllerin görüntülemesine yardımcı olabilecektir. Grafenin kimyasal olarak işsevleştirilmesi, glikoz, kolestrol, hemoglobin ve DNA içeren çeşitli biyolojik moleküllerin hızlı ve ultra hassas bir şekilde tespitini sağlayan cihazların gelişimine yol açacaktır. Ayrıca, bazı durumlarda potansiyel toksit profile yol açan biyolojik aktivitesinden yararlanmak mümkün olabilecektir. Örneğin, bir toksit grafen türevinin, kendi içinde anti-kanser veya antibiyotik olarak iyileştirici potansiyeli ön görülmektedir. Şekil 18, grafen için olası bazı uygulamaları ve grafen tabanlı prototiplerin ne kadarlık bir zaman dilimi içerisinde üretilebileceğinin öngörüsünü sunmaktadır[31].



Şekil 18. Grafen İçin Teknolojik Yol Haritası[31]

Grafenin yıllara göre teknolojik yol haritası göz önüne alındığında, 2012-2023 yılları arasında orta kalitede grafen üretiminin ve

transferinin gerçekleştirileceği beklenmekte olup, transfer edilmiş orta kalite grafenin dokunmatik ekran, katlanabilir e-belge ve katlanabilir OLED'lerin üretimine yol açacağı öngörülmektedir. 2023-2035 yılları arasında transfer edilmesi veya direkt büyütülmesi beklenen yüksek kalitede büyük boyutlu grafenler sayesinde, yüksek frekanslı transistörler, mantıksal transistörler, ince film transistörler ve şimdiden bilmediğiniz geleceğin aletlerinin üretileceği öngörülmektedir. 2020-2025 yılları arasında, transfer edilmesi veya direk büyütülmesi beklenen orta kalitede grafenler sayesinde fotodedektörler, modülatörler, izolatörler, polarizasyon kontrolörler, mode-locked yarıiletken lazerin üretilebileceği öngörülmektedir. Eğer bu yıllar arasında yüksek kalitede grafen transferi gerçekleştirilirse, katıhal mode-locked lazer, ayarlanabilir fiber mode-locked lazer ve THz dalga dedektörlerinin üretilebileceği de ön görülmektedir. 2030'lardan itibaren de THz dalga jenaratörlerin üretilmesi ön görülmektedir. Bu bağlamda, yazdırılabilir ve esnek elektronik, esnek güneş pilleri ve süper-kapasitörler gibi yeni teknolojilerin önümüzdeki on yıllık süreçteki araştırmalara bağlı olarak geliştirilmesi beklenmektedir.

7. SONUÇ

Günümüzde pek çok bilim insanı, araştırdıkları veya ilgi duydukları malzemelerin özelliklerinde bir miktar iyileşme sağlamak için hangi malzeme kombinasyonlarının kendileri için en önemli olduğunu, bileşenler arasındaki yapı ve arayüzleri kontrol etmeye yönelik araştırmalar yapmaktadırlar. İstenilen özelliklere sahip bir malzemeyi

nasıl yaparsınız ve özellikle, özellikleri ayarlamak ve yeni özellikler oluşturmak için nanoölçekli boyutları nasıl kullanırsınıza sürekli cevaplar aramaktadırlar. Bu sorulara bulunacak cevaplar, yeni malzemelerin üretimini ve yeni araştırmaların önünü açacaktır. Bu çalışmada da belirtildiği üzere grafenin eşşsiz özellikleri, bize grafenin mevcut uygulamalarda kullanılan diğer malzemelerin yerini almaktan ziyade, tüm özelliklerini bir arada yansıtabileceği, "aklımızın bir köşesindeki spesifik yeni uygulamalarda" kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, grafenin niçin araştırmaların ilgi odağı olduğunu ve çeşitli grafen uygulamalarının fizibilitesini analiz etmiştir. Literatürdeki çalışmalar, grafenle ilgi araştırmaların, önümüzdeki on yıl boyunca veya en azından grafenin potansiyel uygulamalarının her biri kendi gereksinimlerini karşılayana kadar devam edeceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Tiyek, İ.; Dönmez, U.; Yildirim, B.; Hakkı, M.; Ersoy, M.; Karatas, S.; Yazıcı, M., Kimyasal yöntem ile indirgenmiş grafen oksit sentezi ve karakterizasyonu. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi ISSN: 1301-4048 e-ISSN: 2147-835X* 2016, *20*, 349-357.

2. Allen, M. J.; Tung, V. C.; Kaner, R. B., Honeycomb Carbon: A Review of Graphene. *Chemical Reviews* 2010, *110* (1), 132-145.

3. Suess, H. E. U., H. C. , Abundances of the Elements. *Reviews of Modern Physics 28, 53{74* 1956.

4. Cameron, A. G. W., Abundances of the elements in the solar system. *Space Science Reviews 15, 121{146* 1973.

5. Schulze-Makuch, D. I., L. N. , Life in the universe: expectations and con-straints (*Springer Science & Business Media* 2008.

6. Pierson, H. O. W. A., 2012) Handbook of carbon, graphite, diamonds and fullerenes: processing, properties and applications 2012.

7. Kroto, H. W., Allaf, A. & Balm, S. , C60: Buckminsterfullerene. *Chemical Reviews 91, 1213{1235* 1991.

8. Iijima, S., Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature 354, 56* 1991.

9. Georgakilas, V., Perman, J. A., Tucek, J. & Zboril, R. , Broad family of carbon nanoallotropes: classi_cation, chemistry, and applications of fullerenes, carbon dots, nanotubes, graphene, nanodiamonds, and combined superstructures. *Chem-ical Reviews 115, 4744{4822.8* 2015.

10. Novoselov, K. S. e. a., Electric _eld e_ect in atomically thin carbon _lms. Science 306, 666{669 2004.

11. Palacios, T., Graphene electronics: thinking outside the silicon box. *Nature anotechnology 6, 464* 2011.

12. Bonaccorso, F., Sun, Z, Hasan, T. & Ferrari, A. , Graphene photonics and optoelectronics. *Nature Photonics 4, 611* 2010.

13. Chen, K., Wang, Q., Niu, Z. & Chen, J. , Graphene-based materials for exible energy storage devices. *Journal of Energy Chemistry* 2017.

14. Stankovich, S. e. a., Graphene-based composite materials. *Nature 442, 282* 2006.

15. Feng, L. L., Z., Graphene in biomedicine: opportunities and challenges. *Nanomedicine 6, 317{324* 2011.

16. Geim, A. K. M., A. H., Graphene: exploring carbon atland. *Physics today 60* 2007.

17. Neto, A. C., Guinea, F., Peres, N. M., Novoselov, K. S. & Geim, A. K. , The electronic properties of graphene. *Reviews of modern physics 81, 109*

2009.

18. Fidanova, T.; Petrov, S.; Napoleonov, B.; Marinova, V.; Petrova, D.; Rafailov, P.; Lin, S. H.; Dimitrov, D., Single and multilayer graphene grown by CVD technique: Characterization for electro-optical applications. *AIP Conference Proceedings* 2019, *2075* (1), 020017.

19. Nair, R. R. e. a., 1308{1308, Fine structure constant defines visual transparency of grapheneScience. 2008.

20. Lee, X. J.; Hiew, B. Y. Z.; Lai, k. c.; Lee, L.; Gan, S.; Thangalazhy-Gopakumar, S.; Rigby, S., Review on graphene and its derivatives: Synthesis methods and potential industrial implementation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 2018, *98*.

21. Sengupta, J., *Carbon Nanotube Fabrication at Industrial Scale: Opportunities and Challenges*. 2019.

22. Nasir, S.; Hussein, M.; Zainal, Z.; Yusof, N., Carbon-Based Nanomaterials/Allotropes: A Glimpse of Their Synthesis, Properties and Some Applications. *Materials* 2018, *11*, 295.

23. Bayram, Ö.; iğman, E.; Şimşek, Ö., CVD VE PECVD TEKNİĞİ KULLANILARAK BAKIR FOLYOLAR ÜZERİNDE GRAFEN NANOYAPILARIN ELDE EDİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019, 475-482.

24. Kaymak, N.; Bayram, O.; Tataroğlu, A.; Bilge Ocak, S.; Oz Orhan, E., Electrical properties of Graphene/Silicon structure with Al2O3 interlayer. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2020.

25. Selvi, H., Hill, E. W., Parkinson, P. and Echtermeyer, T. J. , Graphene{silicon-oninsulator (GSOI) Schottky diode photodetectors. *Nanoscale 10, 18926{18935* 2018.

26. Selvi, H., Unsuree, N., Whittaker, E., Halsall, M. P., Hill, E. W., Thomas, A., Parkinson, P. and Echtermeyer, T. J. , Towards substrate engineering of graphene silicon Schottky diode photodetectors. *Nanoscale 10, 3399{3409* 2018.

27. Wall, M. T., The Raman Spectroscopy of Graphene and the Determination of Layer Thickness. 2011.

28. Wang Hui; Cao, X. F., Min; and Lan, Guoxian, J. Raman Spectrosc. 40, 1791-1796. 2009.

29. Jin-Feng Dai1 , G.-J. W., 2 , Lang Ma 1 and Cheng-Ken Wu 1, SURFACE PROPERTIES OF GRAPHENE: RELATIONSHIP TO GRAPHENE-POLYMER COMPOSITES.

30. de la Peña Benítez, P.; García-Santos, A., Diseño nanotecnológico de superficies con propiedades antibacterianas: el grafeno. *Revista ingeniería de construcción* 2016, *31*, 201-207.

31. Novoselov, K. S.; Falko, V.; Colombo, L.; Gellert, P. R.; Schwab, M. G.; Kim, K., A Roadmap for graphene. *Nature* 2012, *490*, 192-200.

ISBN: 978-625-7897-46-4