

BAKIR ALTTAŞA YAPILAN ÖN İŞLEMİN TEK TABAKA GRAFEN FİLM KALİTESİNE ETKİSİ

(THE EFFECT OF PRETREATMENT OF COPPER SUBSTRATE TO THE
QUALITY OF SINGLE LAYER GRAPHENE)

Mücahit YILMAZ¹ , Yasin Ramazan EKER²

ÖZ

Tekdüze büyük ölçekli grafen tabakaları sentezlemek için çeşitli metotlar önerilmiştir. Bunlardan en çok tercih edileni bakır veya nikel alttaş üzerine kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemiyle grafen büyütmektir. Son çalışmalarda, kusursuz formasyona sahip tek tabaka grafenin, bakırın kristal yapısına kritik bir şekilde bağlı olduğu bilinmektedir. Bu etkinin yanı sıra, bakır alttaşta yapılan ön işlemin de grafen oluşumunu etkilediği düşünülmüştür. Çalışmada alttaş olarak 25 µm kalınlıklı bakır folyolar standart temizleme, elektroliz ile parlatma ve tavlama gibi üç farklı ön işleminden geçirilmiştir. Daha sonra metan (CH₄) ve hidrojen (H₂) proses gazları kullanılarak grafen sentezlenmiştir. Bakır folyonun yapısı ve kalitesi XRD ve XRF ile belirlenmiştir. Büyütme işleminden sonra bakır alttaşların üst yüzeyleri ve alt yüzeyleri Konfokal Raman kullanılarak incelenmiş, oluşan grafenin özellikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak elektroliz ile parlatma ön işleminden geçirilmiş bakır alttaş üzerinde, tek tabaka grafen oluşumu gözlenirken diğer ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşlar üzerinde çok tabakalı grafenler gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tek tabaka grafen, CVD, Bakır alttaş, Elektroliz ile parlatma

ABSTRACT

Among the various methods suggested to synthesize uniform and wide graphene sheets, growing graphene on copper or nickel substrate via Chemical Vapor Deposition (CVD) is the most preferred. Recent works have been demonstrated that defect free formation of large mono-layer graphene critically depends on the copper's crystalline structure. Moreover the substrate surface state is another important parameter involving an appropriate pretreatment. In this study, 25 µm thick copper substrate has been prepared with three different process;

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, KONYA, mucahityilmaz@konya.edu.tr (sorumlu yazar)

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, KONYA, yeker@konya.edu.tr

standart cleaning, electro-polishing and annealing. Then graphene growth has been performed using methane (CH₄) and hydrogen (H₂) gases. Structure and purity of copper foil have been determined using XRD and XRF techniques. In order to determine the graphene properties, the upper surface and the lower surface of copper substrate have been examined using Confocal Raman. At the end of the work, large single layer graphene has been observed on the copper substrate pretreated by electro-polishing, while multilayer graphene has been observed on substrates pretreated by the other methods.

Keywords: Single layer graphene, CVD, Copper substrate, Electropolishing

1. GİRİŞ

Grafen, iki boyutlu, bal peteği şeklinde sıkı paketlenmiş karbon atomlarının oluşturduğu tek tabakalı yapıya verilen isim olup, 2004 yılında Geim ve Novoselov tarafından sentezlenmiştir [1]. 2-boyutlu olan grafen tabakalarının (2D) üst üste istiflenmesiyle 3-boyutlu grafit (3D), bir top gibi sarılması ile boyutsuz yapı olan fulleren (0D), bir rulo şeklinde sarılması ile 1-boyutlu karbon nano tüp (1D) meydana gelmektedir. Grafen yapısında karbon atomları arasındaki bağ uzunluğu 0.142 nm olup karbon atomlarında sp² melezleşmesi söz konusudur [2]. Grafenin yapısında yer alan elektronların kütsüz rölativistik parçacıklar gibi davranması sonucu bir takım olağan dışı kuvantum etkilerin gözlemlenmesinin [3,4] yanı sıra grafenin sahip olduğu oda sıcaklığındaki 250000 cm²/V.s elektron mobilitesi [5,6], 1TPa Young modüllü üstün mekanik özellikleri [7] ve olağan üstü ısı iletkenliği (5000 Wm⁻¹K⁻¹) [8] gibi bir takım eşsiz özellikleri de beraberinde getirmektedir. Grafenin potansiyel uygulamaları arasında tek molekülü gaz tespiti [9-11], güneş gözesi ve optoelektronik uygulamalar için saydam iletken elektrot [12-17], transistör gibi elektronik aygıtlar [18-23], süperkapasitör ve lityum iyon bataryalar gibi enerji depolama araçları [24-29] yer almaktadır.

Tek tabaka grafen elde etmek için pek çok yöntem önerilmiştir. Bunlar, mekanik katman ayırma yöntemi (eksfoliasyon) [30-32], epitaksiyel büyütme [33-35], silisyum-karbon yöntemi [36-37] ve kimyasal ayrıştırma yöntemleri [38-40] en çok bilinenleridir. Bunların yanı sıra anodik bağlanma, ışıkla katman ayırma, sıvı fazda katman ayırma, karbon içeren metal alttaşlardan ayırma/çökeltme, moleküler demet epitaksi, inşa bloku olarak benzen kullanarak kimyasal sentez yöntemleri de vardır [41]. Bu yöntemler içinde tek tabaka grafen eldesi için en çok tercih edilen yöntem mekanik katman ayırma yöntemi olmasına karşın boyut bakımından bir takım sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir [42]. Bu sorunları aşmak için epitaksiyel büyütme yöntemi içinde yer alan kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi tercih edilmektedir. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile elde edilen grafen hem büyük boyutlu hem de tek tabaka olabilmektedir [43-50].

CVD yönteminde genellikle grafen tabakasını oluşturacak karbon kaynağı olarak bir hidrokarbon gaz (metan (CH₄) veya asetilen (C₂H₂)) kullanılır. Düşük basınçta ve yüksek sıcaklıkta hidrokarbon gaz, nikel (Ni) veya bakır (Cu) alttaş üzerinden geçirilir ve karbon atomlarının nikel veya bakır alttaş yüzeyine birikmesiyle grafen elde edilir.

Sentezlenen grafenin kalitesi bakır alttaşın kalitesi, saflığına ve alttaşın CVD fırın içine konulmadan önce geçirdiği ön işlemlere kuvvetli bir şekilde bağlı olduğuna ilişkin yapılmış çalışmalar mevcuttur. Magnuson ve ark. yaptıkları çalışmada çözelti ortamında temizlenen bakır alttaş H₂ ortamında tavlamalarına rağmen yüzeyde kalıntı karbon tespit etmişler ve oksitlenmiş elektroliz ile parlatma tekniği ile bakır yüzeyi temizleyip büyük ölçekli grafen sentezlemişlerdir [51]. Bakır alttaş temizliği için sıkça kullanılan nitrik asit ile yapılan ön işlemlerden sonra sentezlenen grafenin büyük ölçekli olduğu ve grafen büyümesine olumlu

etki yaptığı tespit edilmiştir [52,53]. Luo ve ark. Elektroliz ile parlatmanın yüzeydeki pürüzlülükleri ortadan kaldırdığını buna bağlı olarak grafen mobilitesinin 10-30 kat arttığını tespit etmişlerdir [54]

Bu çalışmada 25 µm kalınlığında bakır alttaşı ve reaktif gazlar olarak metan ve hidrojen kullanılarak CVD ile tek tabaka grafen sentezi bakır alttaşa uygulanacak ön işlemin etkisi araştırılmıştır. Sentez öncesi bakır alttaşa üç farklı ön işlem uygulanmıştır. Karbon atomlarının bakır alttaşı içine difüzyonu sonucu, bakır alttaşın hem üst yüzünde hem de alt yüzünde grafen oluşumu incelenmiştir. Böylece bakır alttaşı yüzey özelliklerinin sentezlenen grafene etkisi arasında ilişki kurulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bakır alttaşın hazırlanması ve temizlenmesi

25 µm (Alfa Aesar Part# 46986) kalınlığında bakır folyo 1 cm²'lik parçalar halinde kesildi. Farklı ön işlemler uygulanarak grafen sentezinde kullanılmak üzere 3 adet alttaşı hazırlanmıştır.

Standart temizlik işleminde bakır alttaşı bir cam kap içindeki asetona 3 dakika süreyle batırılmıştır. Arkasından 30 saniye süreyle sonikasyon yapılmış ve isopropil alkol (IPA) ile yıkanmıştır. 5 dakika süreyle IPA içinde bırakılan alttaşa 30 saniye süreyle sonikasyon yapılmış ve N₂ gazı ile kurutulmuştur. Daha sonra %10'luk asetik asit çözeltisine daldırılan alttaşı 5 dakika süre ile bekletilmiştir. Buradan çıkarılan alttaşlar IPA ile hızlı bir şekilde yıkanmış ve asetik asit kalıntılarını tamamen yok etmek için 1 dakika süreyle IPA'da bekletilip, N₂ gazı ile kurutulmuştur. Alttaşı kuvars zemin üzerine konularak ivedilikle CVD fırın içine yerleştirilmiştir. Oksijeni alttaştan uzaklaştırmak için fırın vakuma alınmıştır.

Elektroliz ile parlatma işleminde bakır alttaşı daha önce hazırlanan asidik elektroliz çözeltisine daldırılmıştır. Karşıt elektrot olarak alttaştan daha büyük yüzeye sahip ve daha kalın bir bakır levha kullanılmıştır. Alttaşı katot, karşıt elektrot ise anot olacak şekilde bir güç kaynağına bağlanmış ve 4 V gerilim ve 1 A akım ile 90 saniye süreyle bakır alttaşı kaplanmıştır. Bakır ile kaplanan alttaşı önce deiyonize (DI) su ardından IPA ile yıkanmıştır. Daha sonra N₂ gazı ile kurutulan alttaşı kuvars zemin üzerine konularak ivedilikle CVD fırın içine yerleştirilmiştir. Oksijeni alttaştan uzaklaştırmak için fırın vakuma alınmıştır.

Tavlama işlemi için bakır alttaşa önce standart temizlik işlemi yapılmış daha sonra alttaşı CVD fırınına yerleştirilmiştir. Grafen büyütme işlemine geçilmeden bakır alttaşı proses sıcaklığından daha büyük bir sıcaklıkta bekletilerek tavlama işlemi yapılmıştır. Bu işlemler esnada ortamdan Ar ve H₂ gazı geçirilmiştir.

Farklı ön işlemlerden geçirilen bakır alttaşlar GNR – ADP PRO 2000 marka model X-ışınları difraksiyon sistemi (XRD) ve RIGAKU – NEXCG marka X-ışınları floresans spektroskopisi sistemi (XRF) ile incelenmiştir.

2.2. Grafen büyütme

Grafen büyütme işlemi MTI marka OTF-1200X modeli CVD sisteminde gerçekleştirilmiştir.

Alttaşların yerleştirileceği kuvars altlık, CVD fırınında bulunan kuvars tüp içine yerleştirilmeden önce aseton ve IPA ile temizlendikten sonra N₂ gazı ile kurutulmuştur. CVD fırının içinde yer alan kuvars tüp IPA ile temizlenmiş ve bakır alttaşı kuvars tüpün ortasına yerleştirildikten sonra kuvars tüp içindeki basınç 5 dakika sürede 100 mTorr değerine düşürülmüştür. Bu sayede ortamdaki oksijenden arındırılmıştır. Daha sonra 100 sccm Ar ve 50 sccm H₂ gazlarının akışı başlatılmış ve bu esnada basıncın 20 Torr'da sabitlenmesi sağlanmıştır. Bu basınç değerinin ısıtma, büyütme ve soğutma aşamalarında da sabit

kalmasına özen gösterilmiştir. Fırının sıcaklığı proses sıcaklığı olarak belirlenen 950 °C'ye 45 dakika sürede çıkarılmıştır.

Standart temizlik ve elektroliz ile parlatma ön işlemlerinden geçirilmiş örneklerde grafen büyütme işlemine direkt geçilirken tavlama işleminde, bakır alttaş 25 dakika süreyle 1000 °C'de bekletilmiş daha sonra 950 °C olan proses sıcaklığına düşürüldükten sonra grafen sentez işlemine geçilmiştir. Grafen büyütme aşamasında Ar gazı kapatılarak H₂ gazı 400 sccm akış oranına çıkarılmıştır. Basıncın sabitlenmesi için bir kaç dakika bekledikten sonra CH₄ gazı 200 sccm oranında açılarak 5 dakika süreyle geçişi sağlanmıştır. Bu sürenin sonunda CH₄ gazı kapatılarak H₂ gazının akış oranı 50 sccm'e düşürülmüştür. Son olarak Ar gazı açılarak 100 sccm oranında akması sağlanmıştır.

Grafen büyütme işleminden sonra kuvars tüp 50 °C/dakika oranıyla soğumaya bırakılmıştır. Soğumadan sonra H₂ gazının akış oranı yavaş yavaş azaltılarak sıfır değerine düşmesi sağlanmıştır. Vakum motoru kapatılarak Ar gazının akış oranı yavaş yavaş artırılmış ve kuvars tüp içinde atmosfer basıncı olan 700-750 Torr basınç değeri oluşturulmuştur. Son olarak kuvars tüp açılarak bakır alttaş çıkarılmıştır.

CVD sisteminden çıkarılan bakır alttaşın alt ve üst kısımları Renishaw-IN VIA Reflex Raman sistemi kullanılarak spektroskopik açıdan incelenmiştir.

3. DENEYSEL VERİLER

3.1 Bakır alttaşların saflık ve yapısal olarak incelenmesi

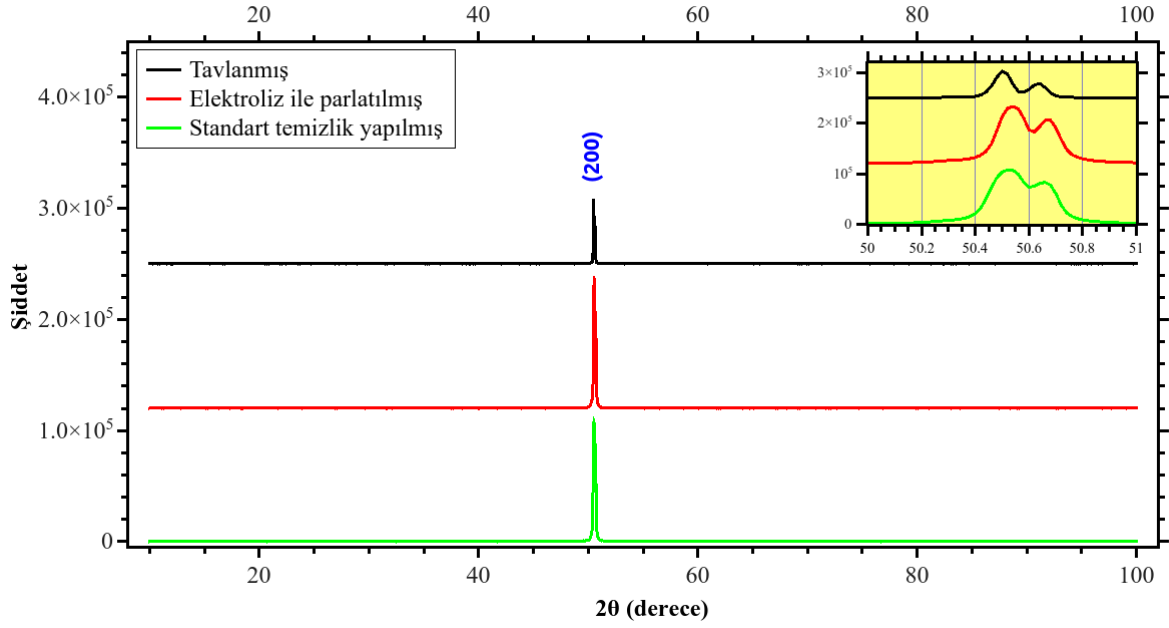
Standart temizlik, elektroliz ile parlatma ve tavlama işlemleri yapılmış bakır alttaşların XRF ile incelenmesi sonucunda Çizelge 1'de yer alan değerler elde edilmiştir. XRF incelemesinde RX9, kaynağı ile 0-2,8 keV, Cu kaynağı ile 2,8-7,5 keV, Mo kaynağı ile 5,5-15 keV ve Al kaynağı ile 16-38 keV ile uyarım yapılmıştır.

Çizelge 1. Farklı ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşların XRF spektroskopisi sonuçları.

	Standart Temizlik	Elektroliz ile Parlatma	Tavlama
Bakır Kütle (%)	99.90	99.90	99.90
Diğer Kütleler (%)	0.10	0.10	0.10

XRF spektroskopisi kullanılarak standart temizlik, elektroliz ile parlatma ve tavlama işlemleri yapılmış örneklerde kütlece bakır konsantrasyonları tespit edilmiştir. Çizelge 1'de yer alan “Diğer Kütleler” içerisinde, periyodik cetvelde yer alan diğer elementler ile bakırın oksit bileşikler olan CuO ve Cu₂O yer almaktadır. Sipariş edilen bakır folyoların saflıkları %99.99 seviyesinde olmasına rağmen inceleme sonucunda ortaya çıkan farklılığın atmosfer ortamında bakır folyo yüzeyinde zaman içerisinde oluşan oksit bileşiklerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Bakır oksitlerinin erime noktaları CuO – 1330 °C ve Cu₂O – 1232 °C [55] olup, grafen sentezi ve tavlama için çıkılan sıcaklıklarda, 100 mTorr basınç altında erime noktaları 1000 °C'nin üzerinde yer almaktadır [56]. Ancak bakırın oksit bileşikler yüksek sıcaklıkta H₂'nin indirgenmesiyle ortadan kalkmaktadır [57].

Standart temizlik, elektroliz ile parlatma ve tavlama ön işlemlerinden geçirilmiş bakır alttaşların XRD desenleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşıların XRD desenleri ve (200) pikinin ayrıntılı görüntüsü.

Şekil 1'de gösterilen XRD pikleri farklı ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşlar için çizilip indekslenmiştir [58]. XRD ölçümleri 0.02° adımlarla $2\theta = 10^\circ - 100^\circ$ arasında $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ olan $\text{Cu}_{K\alpha}$ radyasyon kaynağı kullanılarak alınmıştır. Malzemelerin kristal yapı analizi için kullanılan X-ışınları kırınımı yönteminde standart temizlik, elektroliz ile parlatma ve tavlama ön işlemlerinde geçirilmiş bakır alttaşlarda (200) baskın olarak gözlenmektedir. Bakır, elementsel formda 0.362 nm birim hücre boyutu olan yüzey merkezli kübik (fcc) yapıya sahiptir. Uzay grubu Fm-3m ve uzay grup numarası 225'tir [59]. Tek atomlu yüzey merkezli kübik yapıda saçılma faktörü, (hkl) indislerinin hepsinin tek veya hepsinin çift olması durumunda, yapının yüzey merkezli kübik yapı olduğunu göstermektedir. Elde edilen ölçümler, (200) düzlemine ait tek pik olduğunu ve farklı tane yönelimlerinin bakır alttaş içinde olmadığını göstermektedir. (200) düzlemi için standart temizlik işleminden geçirilmiş bakır alttaşta $2\theta = 50.526^\circ$ ve 50.670° olmak üzere birbirine yakın iki pik gözlemlenmiştir. Elektroliz ile parlatma işleminden geçirilmiş bakır alttaşta ise bu pikler $2\theta = 50.540^\circ$ ve 50.662° değerlerinde gözlemlenirken tavlama işleminden geçirilmiş bakır alttaşta $2\theta = 50.503^\circ$ ve 50.632° değerlerinde gözlemlenmiştir. (200) düzleminde meydana gelen bu ayrılma, bakır alttaşın üst ve alt katmanlarındaki tane boyutlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır [60]. Bu farklılığın da bakır folyonun üretimi aşamasındaki haddeleme işleminden ileri geldiği düşünülmüştür. Tane boyutlarına ilişkin hesaplamada λ kullanılan X-ışının dalgaboyu, β yarı maksimumda tam genişlik (FWHM) değeri ve θ pik açısı olmak üzere Scherrer denklemi ($D = 0.9\lambda / \beta \cos\theta$) [61] kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. (200) pikine göre tane boyutu hesaplamaları

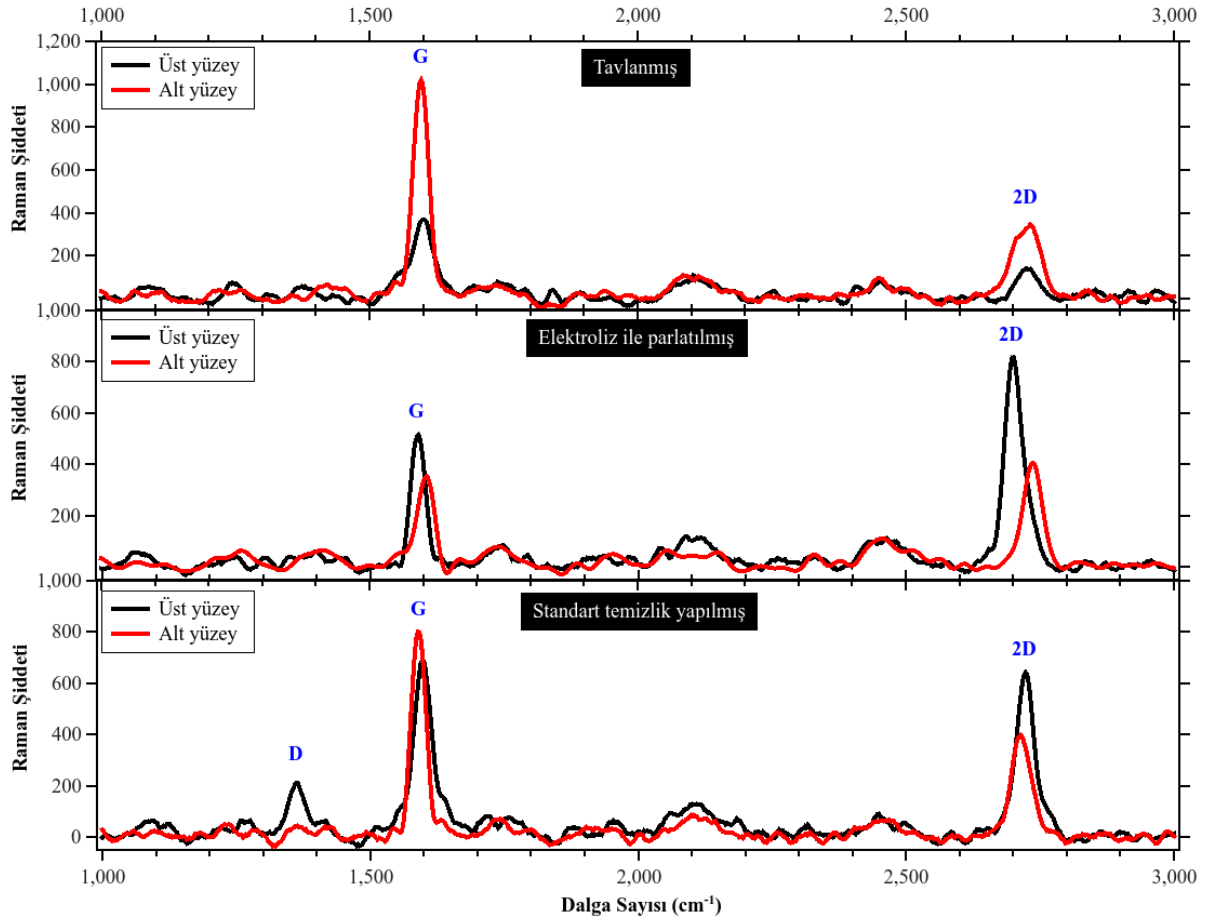
	Pik Pozisyonu(2θ)	FWHM, β (2θ)	Tane Boyutu, D (Å)
Standart Temizlenmiş	50.52	0.232	9.400
Elektroliz ile Parlatılmış	50.54	0.204	10.644
Tavllanmış	50.50	0.117	18.631

(200) pikindeki ayrılma sonucu her bir pik için hesaplanan β birbirine çok yakın değerlerde olup bu değerlere göre yapılan tane hesaplamalarında, tanelerin boyutlarının birbirine çok yakın değerler çıkması, üst yüzey ile alt yüzey arasında tane boyutlarında anlamlı bir farklılık olmadığını göstermektedir. ANOVA (Analysis of Variance) yöntemi kullanılarak bulunan pik pozisyonu ve FWHM değeri, Scherrer denkleminde yerine konulduğu zaman, bulunan tane boyutları standart temizlenmiş ve elektroliz ile parlatılmış örneklerde birbirine yakın iken tavllanmış örnekte bu değer yaklaşık iki kat daha büyük çıkmıştır.

Tavlama işlemi genel olarak tane büyümesine yol açarken tane büyümesi de malzemenin kırılgenliğini azaltıp sünekliliğinin artmasına yol açmaktadır. Ayrıca sıcaklık artışı ile birlikte Nabarro-Herring Kayma Mekanizmasında olduğu örgü içinde de difüzyon meydana gelmektedir. Bu durumda grafen sentezi sırasında karbon difüzyonunda sadece tane sınırları değil tane içindeki örgüde rol oynar hale gelmektedir [62]. Bu sonuç, tavllanmış bakır alttaşın alt yüzeyinde çok tabakalı grafen (grafit) yapısının oluşmasına açıklık getirmektedir.

3.2 Grafen karakterizasyonu

Farklı ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşların üst ve alt yüzlerindeki grafen oluşumu konfokal raman ve optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Standart temizlenmiş, elektroliz ile parlatılmış ve tavllanmış bakır alttaşların üst ve alt yüzeylerinde bulunan grafen yapıları 532 nm dalga boylu lazer kaynağı kullanılarak uyarılmıştır. Yüzey incelemeleri 1000 ile 3000 cm^{-1} dalga sayısı arasında yapılmıştır. Farklı ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşların üst ve alt yüzeylerinde yer alan grafen oluşumlarına ilişkin Raman spektrumu Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı ön işlemlerden geçirilmiş bakır alttaşların üst ve alt yüzeylerinde oluşan grafenlerin Raman spektrumu

Grafenin Raman karakterizasyonunda lazer ile uyarım sonucu Stokes fonon enerjisi kayması, temel olarak iki temel pike neden olur. Bu iki temel pik, 2D ($\sim 2700 \text{ cm}^{-1}$) ve G ($\sim 1580 \text{ cm}^{-1}$) pikleri olup karbon atomlarındaki sp^2 melezleşmesini ifade etmektedir. 2D pikinin, D ($\sim 1350 \text{ cm}^{-1}$) piki olmadan gözlenmesi yüksek oranda kristallenmiş bir yüzeyi ifade etmektedir. Aynı zamanda 2D pikinin şiddetinin G pikinin şiddetine oranı (I_{2D} / I_G) grafen tabakası hakkında bilgi vermekte olup, 2D pikinin şiddetinin G pikine göre daha büyük olması (en az iki kat) oluşan grafenin tek tabaka olduğunu göstermektedir. Ayrıca pik pozisyonları ve pik şekilleri de grafen yapısı hakkında değerli bilgiler sunmaktadır. G pikinin sol tarafında yer alan D piki, kimyasal yolla üretilmiş grafen oksit gibi yapılarda daha baskın olarak gözlenmekte olup yapıdaki sp^3 karbonları, yani kusurları göstermektedir. Saf grafen yapısında kristal simetrisinden dolayı bu pik gözlemlenmemektedir. 2D pikinin şekli de grafen tabakası hakkında bilgi vermekte olup tabaka sayısı arttıkça 2D piki $2D_1$ ve $2D_2$ olarak ifade edilen iki pikin üst üste gelmesi sonucu meydana gelip pik şekli asimetrik hal almaktadır [63-65]. Bununla birlikte sentez sıcaklıklardaki değişimler, Raman spektrumunda pik kaymalarına neden olmaktadır. Sıcaklık artışıyla beraber örgüde artan termal genleşme ve fononlarının anharmonik çiftlenmesi 2D ve G piklerinde lineer olarak kırmızıya kaymasına (daha büyük dalga sayısına kaymasına) neden olmaktadır. Bu yöntem ile grafenin oluşma sıcaklığı Raman spektroskopisindeki bu kaymadan elde edilebilmektedir [66,67].

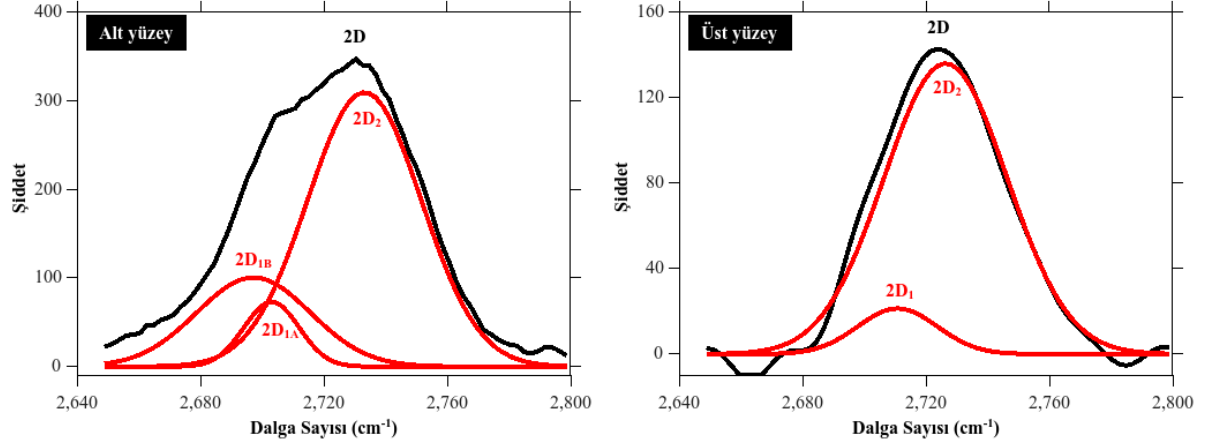
Şekil 2'ye göre standart temizlik yapılmış bakır alttaşın üst yüzeyinde G ve 2D pik şiddetlerinin oranlarına bakarak çift tabaka grafen gözlemlenirken, D pikinin varlığı sonucu bu grafen tabakasının kusurlar içerdiği sonucuna ulaşılmıştır. Standart temizlik yapılmış bakır

alttaşın üst yüzeyinde ise G pikinin şiddetinin 2D pikinkinden daha büyük olması çok tabakalı grafen yapısının varlığını göstermektedir. Elektroliz ile parlatılmış bakır alttaşın üst yüzeyinde tek tabaka grafen gözlemlenirken alt yüzeyinde çift tabaka grafen gözlemlenmiştir. Tavlanmış bakır alttaşın üst yüzeyinde çok tabakalı grafen gözlemlenirken alt yüzeyinde 2D pikindeki asimetriye bakarak oluşan yapının çok tabakalı grafen (grafit) olduğu sonucuna ulaşılabilir. Bu sonuç, tavlanmış alttaşın XRD deseninden hesaplanan tane boyutlarındaki artışı ile sadece tane sınırlarında değil aynı zamanda tane için örgü difüzyonunun da olduğunu göstermektedir. Tavlanmış bakır alttaşta karbon difüzyonu artmıştır. Bununla beraber tavlanmış bakır alttaşta tek ve çift tabaka büyük tanecikli grafen oluşumu için hidrokarbon içeren gazın kısmi basıncı oldukça önemli olmaktadır [68]. Çalışmada, gazların kısmi basınçlarında değişiklik yapılmaması, ortamın tavlanmış bakır alttaş üzerinde kaliteli ve tek tabaka grafen oluşturmak için uygun olmadığını göstermektedir.

Şekil 2'de elektroliz ile parlatma ön işleminden geçirilmiş bakır alttaşın üst yüzeyinde oluşan grafenin G ve 2D pikinde meydana gelen kırmızıya kayma, bakır alttaşın alt yüzeyi ile üst yüzeyi arasında grafen oluşum sıcaklığının farklı olduğunu göstermiştir. Daha küçük ve benzer bir kayma standart temizlenmiş bakır alttaşın alt yüzeyinde de meydana gelmiştir. Bu durum, elektroliz ile yüzeye kaplanan bakırın alttaş üzerinde ayrı bir bariyer gibi davranması olarak düşünülmüştür. Ayrıca bakır alttaşın alt yüzeyi ile üst yüzeyi arasındaki farklılık, ortam sıcaklığı ile alttaşın konulduğu kuvars tutucu arasında bir sıcaklık farklılığına işaret etmektedir. Ancak bu farklılık elektroliz ile kaplanmış bakır alttaşta daha belirgin olarak gözlenmiştir. Tavlama işlemiyle bakır alttaşın alt yüzey ile üst yüzey sentez sıcaklığının çok yakın olduğu anlaşılmaktadır. Tavlama işleminden sonra tavlama sıcaklığının altında olan grafen sentez sıcaklığına inildiğinde alttaşın alt ve üst yüzeyleri arasında sıcaklık farkı meydana gelmemesi ortamın kuvars tutucu ile ısı dengede olmasından kaynaklanmıştır. Elektroliz ile parlatma yöntemiyle ön temizliği yapılan bakır alttaşın yüzeyinin daha düz olmasından dolayı büyütülen grafen tabakasının homojenliği ve elektronik transport özelliklerinde artış meydana gelmektedir [69]. Bununla beraber tek tabaka grafen tanelerinin büyüklükleri yüzey morfolojisine güçlü bir şekilde bağlıdır [70, 71]. Bu sonuçlar çalışmada elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.

Tavllanmış bakır alttaşın üst ve alt yüzeyinde meydana gelen yapının 2D pikine ters evrişim (deconvolution) yapıldığı zaman meydana gelen pikler Şekil 3'te verilmiştir.

Grafen sentez sıcaklığında karbon atomlarının difüzyonunun artması sonucu Şekil 3'te görüldüğü gibi tavlanmış bakır alttaşın alt yüzeyinde çok tabakalı grafen (grafit) oluşumu gözlemlenmiştir. 2D₁ piki 2D_{1A} ve 2D_{1B} olarak alt iki pike daha ayrılmış olup 2D₂ pikinin sol tarafında ve daha düşük şiddette tespit edilmiştir. Bu piklerin üst üste binmesi sonucu ortaya çıkan pik sola doğru sapma göstermiş olup tipik grafit pikini vermektedir. Tavlanmış bakır alttaşın üst yüzeyinde ise 2D₁ piki zayıf olup pik şekli Gaussien formdadır. Ters evrişim işlemi PeakFit Programı kullanılarak yapılmıştır ve her iki grafik için de uyum katsayısı $R^2 = 0.999$ bulunmuştur.



Şekil 3. Tavllanmış bakır alttaştın alt ve üst yüzeylerinden alınan 2D pikinin ters evrişim ile bileşenlerine ayrılmış gösterimi

4. SONUÇLAR

(200) yönelimine sahip bakır alttaşlar standart temizlik, elektroliz ile parlatma ve tavlama olarak üç farklı ön işleminden geçirilmiştir. Daha sonra CVD ile grafen sentezi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında elektroliz ile kaplanan bakır yüzeyinde anottan katoda gelen bakır atomlarının epitaksiyel olarak çökmesi ile safsızlıklardan arındırılmış ince bir yüzey oluşmuştur. Kristalizasyonu artıran bu tabaka üzerinde tek tabaka grafen elde edilirken standart temizlik yapılan bakır alttaşa çift tabaka ve az tabaka grafenler gözlenmiştir. Ayrıca oluşan grafende kusurlar da meydana gelmiştir. Tavllanmış alttaşa ise tavlama sonucu büyüyen tanelerden dolayı tane sınırlarına ilave olarak tane içinde de difüzyon meydana gelmiş ve karbon difüzyonu belirgin bir şekilde artmıştır. Karbon difüzyonunun artışı ile de çok tabakalı grafen yapısı gözlenmiştir.

Sonuç olarak grafen büyümesi için elektroliz ile parlatılmış bakır alttaş, standart temizlenmiş alttaşa göre daha kusursuz ve az tabakalı grafen oluşumuna yol açarken tavlama işlemi bakır alttaşa grafen büyümesini olumsuz etkilemektedir. Elektroliz ile parlatma işlemi, büyütülen grafenin kalitesini artırırken safsızlık içeren bakır alttaşlar için Ni çözücü çözeltilerle (Nitrik Asit gibi) bakır alttaşları temizlemek de grafen kalitesini artırmaya yardımcı olmaktadır [72].

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Koordinatörlüğünün 121210005 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Geim AK., Novoselov KS. The Rise of Graphene, *Nature Materials*, Cilt. 6, 2007, s. 183-191.
- [2] Slonczewski JC, Weiss PR, Band Structure of Graphite, *Phys. Rev.* Cilt. 109, 1958, s.272-279.
- [3] Greshnov AA, Room-Temperature Quantum Hall Effect in Graphene: The Role of the Two-Dimensional Nature of Phonos, *Journal of Physics: Conference Series*, Cilt. 568, 2014 s.1-5.

- [4] Novoselov KS, Jiang Z, Zhang Y, Morozov SV, Stormer HL, Zeitler U, Maan JC, Boebinger GS, Kim P, Geim AK, Room-Temperature Quantum Hall Effect in Graphene, *Science* Cilt. 315, 2007, s.1379.
- [5] Novoselov KS, Geim AK, Morozov SV, Jiang D, Zhang Y, Dubonos SV, Grigorieva, IV, Firsov, AA, Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science*, Cilt. 306, 2004, s.666-669.
- [6] Novoselov KS, Geim AK, Morozov SV, Jiang D, Katsnelson MI, Grigorieva IV, Dubonos SV, Firsov AA, Two-Dimensional Gas of Massless Dirac Fermions in Graphene, *Nature*, Cilt. 438, 2005, s.197-200.
- [7] Lee C, Wei X, Kysar JW, Hone J, Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene, *Science*, Cilt. 321, 2008, s.385-388.
- [8] Balandin AA, Ghosh S, Bao W, Calizo I, Teweldebrhan D, Miao F, Lau CN, Superior Thermal Conductivity of Single-Layer Graphene, *Nano Lett.*, Cilt. 8, 2008, s.902-907.
- [9] Schedin F, Geim AK, Morozov SV, Hill EW, Blake P, Katsnelson MI, Novoselov KS, Detection of Individual Gas Molecules Adsorbed on Graphene, *Nature Materials*, Cilt. 6, 2007, s.652-655.
- [10] Pearce R, Iakimov T, Andersson M, Hultman L, Spetz AL, Yakimova R, Epitaxially Grown Graphene Based Gas Sensors for Ultra Sensitive NO(2) Detection, *Sensors and actuators. B, Chemical*, Cilt. 155(2) 2011, s.451-455.
- [11] Fowler, JD, Allen, MJ, Tung, VC, Yang, Y, Kaner, RB, Weller, BH, Practical Chemical Sensors from Chemically Derived Graphene, *ACS Nano*, Cilt. 3(2), 2009, s.301-306.
- [12] Wang X, Zhi L, Mullen K. Transparent, Conductive Graphene Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells, *Nano Letters*, Cilt. 8(1), 2008, s.323-327.
- [13] Chen JH, Ishigami M, Jang C, Hines DR, Fuhrer MS, Williams ED, Printed Graphene Circuits, *Adv. Mater.*, Cilt. 19(21), 2007, 3623–3627.
- [14] Nair RR, Blake P, Grigorenko AN, Novoselov KS, Booth TJ, Stauber T, Peres NMR, Geim AK, Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene. *Science* Cilt.320(5881), 2008, s.1308.
- [15] Wang F, Zhang Y, Tian C, Girit C, Zettl A, Crommie M, Shen, YR, Gate-Variable Optical Transitions in Graphene, *Science* Cilt. 320(5873), 2008, s.206–209.
- [16] Xia F, Mueller T, Lin Y-M, Valdes-Garcia A, Avouris P, Ultrafast Graphene Photodetector, *Nature Nanotechnology*, Cilt. 4, 009, s.839-843.
- [17] Mueller T, Xia F, Avouris, P, Graphene Photodetectors for High-Speed Optical Communications, *Nature Photon*, Cilt. 4, 2010, s.297-301.
- [18] Bolotin KI, Sikes KJ, Jiang Z, Klima, M, Fudenberg G, Hone J, Kim P, Stormer HL, Ultrahigh Electron Mobility in Suspended Graphene, *Solid State Communications*, Cilt 146(9-10), 2008, s.351-355.
- [19] Du X, Skacho I, Barker A, Andrei EY, Approaching Ballistic Transport in Suspended Graphene, *Nature Nanotechnology*, Cilt. 3, 2008, s.491-495.
- [20] Schwierz F, Graphene Transistors, *Nature Nanotechnology*, Cilt. 5, 2010, s.487-496.
- [21] Farmer DB, Perebeinos V, Lin Y-M, Dimitrakopoulos C, Avouris P, Charge Trapping and Scattering in Epitaxial Graphene, *Phys. Rev. B*, Cilt. 84, 2011, s.205417.
- [22] Xia F, Perebeinos V, Lin Y-M, Wu Y, Avouris P, The Origins and Limits of Metal-Graphene Junction, *Nature Nanotechnology*, Cilt. 5, 2011, s.179-184.
- [23] Xia F, Farmer DB, Lin Y-M, Avouris, P, Graphene Field-Effect Transistors with High on/off Current Ratio and Large Transport Band Gap at Room Temperature, *Nano Lett.*, Cilt. 10, 2010, s.715-718.

- [24] Yoo JJ, Balakrishnan K, Huang J, Meunier V, Sumpter BG, Srivastava A, Conway M, Reddy ALM, Yu J, Vajtai R, Ajayan PM, Ultrathin Planar Graphene Supercapacitors, *Nano Lett.*, Cilt. 11(4), 2011, s.1423-1427.
- [25] Brownson DAC, Banks CE, Fabricating Supercapacitors: Highlighting the Impact of and Moieties, *Chem. Commun.* Cilt. 48, 2012, s.1425-1427.
- [26] Liu C, Yu Z, Neff D, Zhamu A, Jang BZ, Graphene-Based Supercapacitor with an Ultrahigh Energy Density, *Nano Lett.*, Cilt. 10(12), 2010, s.14863-4868.
- [27] Wang G, Shen X, Yao J, Park J, Graphene Nanosheets for Enhanced Lithium Storage in Lithium Ion Batteries, *Carbon*, Cilt. 47(8), 2009, s.2049-2053.
- [28] Yoo EJ, Kim J, Hosono E, Zhou H-S, Kudo T, Honma I, Large Reversible Li Storage of Graphene Nanosheet Families for Use in Rechargeable Lithium Ion Batteries, *Nano Lett.*, Cilt. 8(8), 2008, s.2277-2282.
- [29] Wu Z-S, Ren W, Feng LX, Cheng H-M, Doped Graphene Sheets As Anode Materials with Superhigh Rate and Large Capacity for Lithium Ion Batteries, *ACS Nano*, Cilt. 5(7), 2011, s.5463-5471.
- [30] Novoselov KS, Geim AK, Morozov SV, Jiang D, Zhang Y, Dubonos, SV, Grigorieva IV, Firsov AA, Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films, *Science*, Cilt. 306(5696), 2004, s.666-669.
- [31] Allen MJ, Tung VC, Kaner RB, Honeycomb Carbon: A Review of Graphene, *Chem. Rev.*, Cilt. 110 (1), 2010, s.132-145.
- [32] Zhu Y, Murali S, Cai W, Li X, Suk JW, Potts JR, Ruoff RS, Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications, *Adv. Mater.*, Cilt. 22, 2010, s.3906-3924.
- [33] Losurdo M, Giangregorio MM, Capezzuto P, Bruno G, Graphene CVD Growth on Copper and Nickel: Role of Hydrogen in Kinetics and Structure, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Cilt. 13, 2011, s.20836-20843.
- [34] Kumar S, McEvoy N, Kim H-Y, Lee K, Peltekis N, Rezvani E, Nolan H, Weidlich A, Daly R, Duesberg GS, CVD Growth and Processing of Graphene for Electronic Applications, *Physica Status Solidi (b)*, Cilt. 248(11), 2011, s.2604-2608.
- [35] Batzill M, The Surface Science of Graphene: Metal Interfaces, CVD Synthesis, Nanoribbons, Chemical Modifications, and Defects, *Surface Science Reports*, Cilt. 67(3-4), 2012, s.83-115.
- [36] Emtsev KV, Bostwick A, Horn K, Jobst J, Kellogg GL, Ley L, McChesney JL, Ohta T, Reshanov SA, Röhl J, Rotenberg E, Schmid AK, Waldmann D, Weber HB, Seyller T, Towards Wafer-Size Graphene Layers by Atmospheric Pressure Graphitization of Silicon Carbide, *Nature Materials*, Cilt. 8, 2009, s.203-207.
- [37] Heer WA, Berger C, Ruan M, Sprinkle M, Li X, Hu Y, Zhang B, Hankinson J, Conrad E, Large Area and Structured Epitaxial Graphene Produced by Confinement Controlled Sublimation of Silicon Carbide, *PNAS*, Cilt. 108(41), 2011, s.16900-16905.
- [38] Li X, Zhang G, Bai X, Sun X, Wang X, Wang E, Dai H, Highly Conducting Graphene Sheets and Langmuir-Blodgett Films, *Nature Nanotechnology*, Cilt. 3, 2008, s.538-542.
- [39] Stankovich S, Dikin DA, Piner RD, Kohlhaas KA, Kleinhammes A, Jia Y, Wu Y, Nguyen ST, Ruoff RS, Synthesis of Graphene-Based Nanosheets via Chemical Reduction of Exfoliated Graphite Oxide, *Carbon*, Cilt. 45(7), 2007, s.1558-1565.
- [40] Dikin DA, Stankovich S, Zimney EJ, Piner RD, Dommett GHB, Evmenenko G, Nguyen ST, Ruoff RS, Preparation and Characterization of Graphene Oxide Paper, *Nature*, Cilt. 448, 2007, s.457-460.
- [41] Bonaccorso F, Lombardo A, Hasan T, Sun Z, Colombo L, Ferrari AC, Production and Processing of Graphene and 2d Crystals, *Materialstoday*, Cilt. 15(12), 2012, s.564-589.
- [42] Geim AK, Graphene: Status and Prospects, *Science*, Cilt. 324(5934), 2009, s.1530-1534.

- [43] Choi W, Lahiri I, Seelaboyina R, Kang SY, Synthesis of Graphene and Its Applications: A Review, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, Cilt. 35, 2010, s.52-72.
- [44] Wang C, Chen W, Han C, Wang G, Tang B, Tang C, Wang Y, Zou Y, Chen W, Zhang X-A, Qin S, Chang S, Wang L, Growth of Millimeter-Size Single Crystal Graphene on Cu Foils by Circumfluence Chemical Vapor Deposition, *Scientific Reports*, Cilt. 4(4537), 2014, s.1-5.
- [45] Lavin-Lopez MP, Valverde JL, Cuevas MC, Garrido A, Sanchez-Silva L, Martinez P, Romero-Izquierdo A, Synthesis and Characterization of Graphene: Influence of Synthesis Variables, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Cilt. 16, 2014, s.2962-2970.
- [46] Reina A, Jia X, Ho J, Nezich D, Son H, Bulovic V, Dresselhaus MS, Kong J, Large Area, Few-Layer Graphene Films on Arbitrary Substrates by Chemical Vapor Deposition, *Nano Letters*, Cilt. 9(1), 2009, s.30-35.
- [47] Suk JW, Kitt A, Magnuson CW, Hao Y, Ahmed S, An J, Swan AK, Goldberg BB, Ruoff RS, Transfer of CVD-Grown Monolayer Graphene onto Arbitrary Substrates, *ACS Nano*, Cilt. 5(9), 2011, s.6916-6924.
- [48] Chen Y-Z, Medina H, Tsai HW, Wang YC, Yen Y-T, Manikandan A, Chueh Y-L, Low Temperature Growth of Graphene on Glass by Carbon-Enclosed Chemical Vapor Deposition Process and Its Application as Transparent Electrode, *Chem. Mater.*, Cilt. 27(5), 2015, s.1646-1655.
- [49] Kyle JR, Guvenc A, Wang W, Ghazinejad M, Lin J, Guo S, Ozkan CS, Ozkan M, Centimeter-Scale High-Resolution Metrology of Entire CVD-Grown Graphene Sheets, *small*, Cilt. 7(18), 2011, s.2599-2606.
- [50] Li Z, Wu P, Wang C, Fan X, Zhang W, Zhai X, Zeng C, Li Z, Yang J, Hou J, Low-Temperature Growth of Graphene by Chemical Vapor Deposition Using Solid and Liquid Carbon Sources, *ACS Nano*, Cilt. 5(4), 2011, s.3385-3390.
- [51] Magnuson CW, Kong X, Ji H, Tan C, Li H, Piner R, Ventrice Jr. CA, Ruoff R, Copper Oxide as a "Self-Cleaning" Substrate for Graphene Growth, *Journal of Materials Research*, Cilt. 29(3), 2014, s.403-409.
- [52] Kim SM, Hsu A, Lee YH, Dresselhaus M, Palacios T, Kim KK, Kong J, The Effect of Copper Pre-Cleaning on Graphene Synthesis, *Nanotechnology*, Cilt. 24(36), 2013, s.365602.
- [53] Oh T, CVD Graphene Synthesis on Copper Foils and Doping Effect by Nitric Acid, *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, Cilt. 14(5), 2013, s. 246-249.
- [54] Luo ZT, Lu Y, Singer DW, Berck E, Somers LA, Goldsmith BR, Charlie Johnson AT, Effect of Substrate Roughness and Feedstock Concentration on Growth of Wafer-scale Graphene at Atmospheric Pressure. *Chem Mater*, Cilt. 23, 2011, s.1441-1447.
- [55] Richardson HW, Copper Compounds in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2002, *Wiley-VCH*, Weinheim.
- [56] Mack E, Osterhof GG, Kraner HM, Vapor Pressure of Copper Oxide and Copper, *J. Am. Chem. Soc.* Cilt 45(3), (1923), s.617-623.
- [57] Mattevi C, Kim H, Chhowalla M, A Review of Chemical Vapour Deposition of Graphene on Copper, *Journal of Material Chemistry*, Cilt. 21, 2011, s.3324-3334.
- [58] Yu Q, Liu X, Tang D, Extreme Extensibility of Copper Foil under Compound Forming Conditions, *Scientific Repots*, Cilt. 3(3556), 2013, s.1-6.
- [59] Straumanis ME, Yu LS, Lattice parameters, Densities, Expansion Coefficients and Perfection of Structure of Cu and of Cu-In α Phase, *Acta Cryst.*, Cilt. A25, 1969, s.676-682.

- [60] Virk HS, Nanowires – Implementations and Applications, Editör: Hassim A., CC BY-NC-SA, 2011, s.455-470.
- [61] Cullity DB, Elements of X-Ray Diffraction, Addison-Wesley INC, 1956, Maddachussetts, USA.
- [62] Meyers MA, Chawla KK, Mechanical Behavior of Materials, Cambridge University Press, 2009, s.345
- [63] Narula R, Reich S, Double Resonant Raman Spectra in Graphene and Graphite: A Two-Dimensional Explanation of the Raman Amplitude, *Physical Review B*, Cilt. 78, 2008, s.165422.
- [64] Venezuela P, Lazzeri M, Mauri F, Theory of Double-Resonant Raman Spectra in Graphene: Intensity and Line Shape of Defect-Induced and Two-Phonon Bands, *Physical Review B*, Cilt. 84, 2011, s.035433.
- [65] Ferrari AC, Raman Spectroscopy of Graphene and Graphite: Disorder, Electron-Phonon Coupling, Doping and Nonadiabatic Effects, *Solid State Communications*, Cilt. 143, 2007, s.47-57.
- [66] Calizo I, Miao F, Bao W, Lau CN, Balandin AA, Variable Temperature Raman Microscopy as a Nanometrology Tool for Graphene Layers and Graphene Based Devices, *Appl. Phys. Lett.* Cilt. 91(7), 2007, s.071913-3.
- [67] Calizo I, Balandin AA, Bao W, Miao F, Lau CN, Temperature Dependence of the Raman Spectra of Graphene and Graphene Multilayers, *Nano Lett.* Cilt. 7(9), 2007, s.2645-2649.
- [68] Liu W, Li H, Xu C, Khatami Y, Banerjee K, Synthesis of High-Quality Monolayer and Bilayer Graphene on Copper Using Chemical Vapor Deposition, *Carbon*, Cilt. 49, 2011, s.4122-4130.
- [69] Luo Z, Lu Y, Singer DW, Berck ME, Somers LA, Goldsmith BR, Johnson ATC, Effect of Substrate Roughness and Feedstock Concentration on Growth of Wafer-Scale Graphene at Atmospheric Pressure, *Chemistry of Materials*, Cilt. 23, 2011, s.1441-1447.
- [70] Mohsin A, Liu L, Liu P, Deng W, Ivanov IN, Li G, Dyck OE, Duscher G, Dunlap JR, Xiao K, Gu G, Synthesis of Millimeter-Size Hexagon-Shaped Graphene Single Crystals on Resolidified Copper, *ACS Nano*. Cilt. 7(10), 2013, s.8924-8931.
- [71] Han GH, Güneş F, Bae JJ, Kim ES, Chae SJ, Shin H-J, Choi J-Y, Pribat D, Lee YH, Influence of Copper Morphology in Forming Nucleation Seeds for Graphene Growth, *Nano Letters*, Cilt. 11, 2011, s.4144-4148.
- [72] Kim SM, Hsu A, Lee Y-H, Dresselhaus M, Palacios T, Kim KK, Kong J, The effect of Copper Pre-Cleaning on Graphene Synthesis, *Nanotechnology*, Cilt. 24, 2013, s.365602 1-7.

ÖZGEÇMİŞ / CV

Mücahit YILMAZ; Yrd.Doç.Dr. (Assist.Prof.)

Lisans derecesinin 2000'de Ankara Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümünden, Yüksek Lisans derecesini 2004'te Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Eğitiminden, Doktora derecesini 2008 yılında Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümünden aldı. 2013-2014 yıllarında ODTÜ-GÜNAM'da (Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi) doktora sonrası çalışmalarda bulundu. Halen Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde katkılama yerdeğiştirme çalışmaları, üçüncü nesil güneş gözeleri (ince film ve nanokristal güneş gözeleri), iki boyutlu nano yapılar (iki boyutlu geçiş-metal dikalkojenleri ve grafen).

He got his bachelors' degree in the Physics Education at the Gazi University Gazi Education Faculty Ankara/Turkey in 2000, his master degree in the Physics Education at Selçuk University Graduate School of Natural Sciences Konya/Turkey in 2004, and his PhD degree in the Physics at Selçuk University Graduate

School of Natural Sciences Konya/Turkey in 2008. He did postdoctoral research at METU-GUNAM (Center for Solar Energy Research and Applications) in 2013-2014. He is still an academic member of the Department of Metallurgical and Materials Engineering at Necmettin Erbakan University Seydişehir Ahmet Cengiz Faculty of Engineering. His major areas of interests are: Doping and substitution at high-temperature superconductors, 3th generation solar cells (thin film and nanocrystal solar cells), two-dimensional structures (two-dimensional transition-metal dichalcogenides and graphene)

Yasin Ramazan EKER; Yrd.Doç.Dr. (Assist.Prof.)

Ön lisans derecesini 2001'de Orléans (Fransa) Fen Fakültesi Malzeme Bilimi Bölümünden, Lisans derecesini 2003'te Orléans (Fransa) Fen Fakültesi Kimya Bölümünden, Yüksek Lisans derecesini 2004'te Orléans (Fransa) Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Biliminden, Doktora derecesini 2008 yılında Orléans (Fransa) Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Biliminden aldı. 2008-2010 yılları arasında CRMD-CNRS Orléans'da (Bölünmüş Malzemeler Araştırma Merkezi) doktora sonrası çalışmalarda bulundu. Halen Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Temel çalışma alanları: Karbon malzemeler (karbon nanotüp, düzensiz karbonlar, grafen), Lityum-iyon bataryalar (anot malzemeleri, katot katkı malzemeleri), süperkapasitörler (elektrot malzemeleri).

He got his associate in science degree in Material Science at Orléans University Faculty of Science (France) in 2001, his bachelors' degree in Chemistry at Orléans University Faculty of Science (France) in 2003, his master degree in Material Science at the Orléans University Science Faculty (France) in 2004, and his PhD degree in in Material Science at Orléans University Faculty of Science (France) in 2008. He did postdoctoral research at CRMD-CNRS Orléans (Research Center on Divided Materials) in 2008-2010. He is still an academic member of the Department of Metallurgical and Materials Engineering at Necmettin Erbakan University Faculty of Engineering. His major areas of interests are: Carbon materials (Carbon nanotubes, disordered carbons, graphenes), Lithium-ion batteries (anode materials, cathode fillers), supercapacitors (electrode materials).