

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GRAFEN OKSİT LİF EĞİRME CİHAZI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail KAYA

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Vedat TEMİZ

HAZİRAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GRAFEN OKSİT LİF EĞİRME CİHAZI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İsmail KAYA
503131206**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

**Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Vedat TEMİZ
Eş Danışman: Y. Doç. Dr. Elif ÖZDEN YENİGÜN**

HAZİRAN 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **503131206** numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İsmail KAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GRAFEN OKSİT LİF EĞİRME CİHAZI TASARIMI ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Y. Doç. Dr. Vedat TEMİZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Y. Doç. Dr. Elif ÖZDEN YENİGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Y. Doç. Dr. İ. Mehmet PALABIYIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. İlyas İSTİF
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Lale İŞIKEL ŞANLI
Sabancı Üniversitesi

Teslim Tarihi :2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi :8 Haziran 2016





Aileme,



ÖNSÖZ

Yapılan bu çalışmada, grafen oksit malzemesinden lif üretimi yöntemleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonucunda yeni bir grafen oksit lif eğirme cihazı tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım ile lif üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen liflerin boyutları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu sonuçlar farklı tasarımlardan elde edilen lif özellikleriyle kıyaslanmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yardımlarından dolayı danışmanım Y. Doç. Dr. Vedat Temiz'e, eş danışmanım Y. Doç. Dr. Elif Özden Yenigün'e ve Dr. Lale Işikel Şanlı'ya teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tasarım ve imalat aşamalarındaki teknik yardımlarından dolayı Orhan Kamburoğlu'na teşekkür ederim. Bu çalışma 214M398 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Haziran 2016

İsmail KAYA
(Makina Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. GRAFEN NEDİR?	3
2.1 Karbon	3
2.2 Karbon Allotropları	4
2.2.1 Elmas.....	4
2.2.2 Amorf karbon.....	4
2.2.3 Fulleren	5
2.2.4 Karbon nanotüp.....	5
2.2.5 Grafit	6
2.2.6 Grafen.....	6
2.3 Grafen Elde Etme Yöntemleri.....	7
2.3.1 Kimyasal eksfoliyasyon tekniği ile grafen oksit sentezi.....	8
2.3.2 Grafen oksitin likit kristal yapısı.....	8
3. GRAFEN OKSİTİN LİF FORMUNA GETİRİLMESİ.....	11
3.1 Grafen Kullanım Alanları.....	11
3.2 Lif Formu İhtiyacı	13
3.3 Islak Çekim (wet-spinning) Yöntemi ile Grafen Lif Formu Elde Etme.....	13
3.4 Enjektör Pompalı Islak Çekim Hattı Tasarımı	14
3.4.1 Enjektör pompası seçimi	15
3.4.2 Enjektör seçimi	15
3.4.3 Düze tasarımı	16
3.4.4 Koagülasyon banyosu ve grafen dispersiyon oranının belirlenmesi.....	18
3.4.5 Toplama motorunun seçimi ve toplama tamburunun boyutlandırması	20
3.4.6 Islak çekim hattı ile elde edilmiş lif özellikleri.....	20
3.4.7 Lif çapı	21
3.4.8 Çekme testi ve lif mukavemeti.....	21
3.4.9 Enjektör pompalı tasarımın dezavantajları	22
4. GRAFEN OKSİT LİF EĞİRME CİHAZI TASARIMI.....	25
4.1 Konstrüktif Geliştirme Sürecindeki Fazlar.....	26
4.1.1 Faz 0, ödevin analizi, istekler listesi ve ödevin kesinlik kazanması	26
4.1.1.1 İstekler listesi	26
4.1.2 Faz I, temel fonksiyon.....	27
4.1.3 Faz II, fonksiyon strüktürünün belirlenmesi	28

4.1.4 Faz III, fonksiyon strüktürünün geometrik özelliklerinin tespiti	30
4.1.4.1 Sistem elemanlarının seçimi ve boyutlandırılması.....	32
4.1.4.2 Sistemin montajı.....	39
5. TASARIMDA DENEY YAPILIŞI	41
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	63



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : İstekler listesi.....	27
Çizelge 4.2 : Sistem parametreleri	31
Çizelge 4.3 : DC motor ölçümlerden elde edilen voltaj ve devir sayısı değerleri....	34





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Karbonun periyodik tablodaki yeri.....	3
Şekil 2.2: İki karbon atomundan oluşmuş zincir yapısı (eten)	3
Şekil 2.3: Çok karbonlu karbon atomundan oluşmuş zincir yapı (dodekan).....	4
Şekil 2.4: Elmas ve altıgen elmasın karbon dizilimi	4
Şekil 2.5: Amorf karbonun karbon dizilimi.....	5
Şekil 2.6: C60 C540 C70 fulleren karbon dizilimi	5
Şekil 2.7: Tek duvarlı karbon nanotüp	5
Şekil 2.8: Çok katmanlı karbon nanotüp	6
Şekil 2.9: Grafit yapısı.....	6
Şekil 2.10: Grafitin tek katmanı olan grafen	7
Şekil 2.11: Grafen yapısı	7
Şekil 2.12: Çeşitli grafen elde etme yöntemleri.....	8
Şekil 2.13: Mezogenlerin moleküler düzenlenmeleri.....	9
Şekil 3.1: Toz grafen.....	11
Şekil 3.2: Grafen ekran	12
Şekil 3.3: Grafen pil.....	12
Şekil 3.4: Grafen film	13
Şekil 3.5: Islak çekim yöntemi	14
Şekil 3.6: Islak çekim hattı tasarımı	15
Şekil 3.7: Enjektör pompası.....	15
Şekil 3.8: Standart 5ml enjektör	16
Şekil 3.9: Cam enjektör	16
Şekil 3.10: Çok delikli düze	17
Şekil 3.11: Düze tasarımı.....	17
Şekil 3.12: Düze içerisinde Grafen hizalanması.....	18
Şekil 3.13: Enjektör iğnesi.....	18
Şekil 3.14: Lif formu elde edilememesi	19
Şekil 3.15: Lif formu elde edilmesi	20
Şekil 3.16: Grafen lif çapı.....	21
Şekil 3.17: Çekme cihazı, deney numuneleri ve çekme deneyi	22
Şekil 3.18: Özgül gerilme – birim uzama grafiği	22
Şekil 4.1: Konstrüksiyon adımları	25
Şekil 4.2: Kara kutu	28
Şekil 4.3: Fonksiyon strüktürü.....	28
Şekil 4.4: Alt fonksiyonlar.....	29
Şekil 4.5: İlk model tasarım.....	30
Şekil 4.6: Grafen haznesi parametreleri.....	31
Şekil 4.7: Sonsuz vida mekanizması	33
Şekil 4.8: Sırasıyla sağ ve sol helis yönlü civataların dönme yönüne göre eksenel hareketleri	35
Şekil 4.9: Hareket vidası somunu ve saplamaların bağlantısı	35

Şekil 4.10: Piston keçesi ve piston.....	36
Şekil 4.11: İlk grafen haznesi tasarımı ve iyileştirilmiş hali.....	37
Şekil 4.12: Grafen haznesi parçaları ve piston	37
Şekil 4.13: Grafen haznesi kelepçesi	38
Şekil 4.14: Sistemin ilk tasarımı	39
Şekil 4.15: Motorun redüktöre montajı ve iskeledeki konumu	39
Şekil 4.16: Tasarımın montaj hali.....	40
Şekil 5.1: Ultrasonik banyo	41
Şekil 5.2: Grafen haznesinin doldurulması.....	42
Şekil 5.3: Grafen haznesinin montaj hali.....	42
Şekil 5.4: Koagülasyon banyosu.....	42
Şekil 6.1: Grafen lifi	43
Şekil 6.2: Özgül gerilme – birim uzama grafiği	44



GRAFEN OKSİT LİF EĞİRME CİHAZI TASARIMI

ÖZET

Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte farklı alanlarda yeni ve mekanik özellikleri daha kuvvetli malzemelerin kullanımı önem kazanmıştır. Bu malzemelerin başında karbonun iki boyutlu allotropu olan 'grafen' gelmektedir.

Grafen alanında yapılan teorik çalışmalar 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Ancak teknolojinin yetersizliği sebebiyle deneysel çalışmalara 2000'li yıllarda başlanabilmektedir. Manchester Üniversitesi'nden Geim ve Novoselov'un grafen alanındaki çalışmaları 2010 yılında Nobel Fizik Ödülü'ne layık görülmüştür. Bu ödül sonucunda da grafen üzerine yapılan akademik ve endüstriyel çalışmalarda büyük bir ivmelenme meydana gelmiştir.

Grafen, üstün mekanik, termal ve elektriksel özellikleri sebebiyle transistör, sensör, esnek ekran, enerji depolama, dokunmatik ekran, elektrik iletim malzemesi gibi birçok alanda mevcut malzemelerden iyi olduğu düşünüldüğü için kullanılmak istenmektedir.

Grafenin kullanılabilir hale getirilebilmesi için, öncelikle grafenin nano ölçekten makro ölçeye getirilmesi gerekmektedir. Ardından kullanım alanlarına göre film, lif, köpük ve benzeri formlarda üretimleri gerçekleştirilmelidir. Hem nano ölçekten makro ölçeye geçiş, hem de istenilen forma getirilmesi grafen kullanımında halen önemli problemlerdir.

Bu çalışmada grafen malzemesinin lif formuna getirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yapılan literatür araştırmalarında sıklıkla karşılaşılan ıslak çekim yöntemi ile grafen lif elde edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Islak çekim yönteminde, istenen özelliklere bağlı olarak farklı oranlarda hazırlanan grafen çözeltisi enjektör pompası vasıtasıyla belli bir kesitte katılaşma banyosuna aktarılmaktadır. Dış ortam ile temas etmeden katılaşma banyosuna aktarılan grafen çözeltisi banyo ortamında lif formunu almış olur. Daha sonra metanol banyosundan ve yıkama banyosundan geçirilen grafen lifler bir tambur vasıtasıyla toplanır.

Bu projede ıslak çekim hattı sistemi enjektör pompası kullanılarak kurulmuştur ve bu sistemle grafen lif elde edilmiştir. Ancak elde edilen grafen liflerin çaptaki düzensizliği ve enjektör hacimlerinin sınırlı olması sebebiyle yeni bir cihaz tasarımına ihtiyaç duyulmuş ve bu ihtiyaca yönelik bir çalışma yapılmıştır.

Yapılan bu konstrüksiyonda, konstrüktif geliştirme süreci takip edilerek adım adım ilerlenmiştir. İlk olarak ödev tarif edilmiş ardından istekler listesi hazırlanmıştır. Giriş ve çıkış büyüklükleri belirlenerek temel fonksiyon oluşturulmuştur. Sırasıyla fonksiyon strüktürü oluşturulmuş ve alt fonksiyonlar belirlenmiştir. Bu işlemler sonrasında sistemde kullanılacak parçalar belirlenmiş ve boyutlar tespit edilmiştir. Gerekli malzemeler tedarik edilerek imalatlar gerçekleştirilmiş ve bir teknik yapıt ortaya konulmuştur.

İmal edilen sistem kullanılarak grafen lif üretimi gerçekleştirilmiş olup, enjektör pompalı ıslak çekim hattından üretilmiş grafen liflerle karşılaştırılmıştır. Yeni sistemden elde edilen grafen lif sonuçları çapta süreklilik ve mekanik özellikler bakımından tatmin edici bulunmuştur.



DESIGN OF GRAPHENE OXIDE YARN SPINNING DEVICE

SUMMARY

With the developments in material technology, the need for materials with new and stronger material properties raised over time. There has been various research and studies for enhancements of materials. A pioneer for these materials is graphene, which is one of the two dimensional allotrope of carbon.

The theoretical studies promoting 'The Band Theory of Graphite' regarding graphene started in the mid 1940's by Philip Russell Wallace. Experimental studies started in 2000's because of technological shortcomings. Sir Andre K. Geim and Sir Konstantin S. Novoselov's studies regarding graphene technology won the Nobel Prize on Physics in 2010. This reward helped the recognition of the graphene technology and a resulted a rapid increase on academic and industrial studies in this area.

In latest studies graphene density is calculated as $0,77 \text{ mg/m}^2$. When compared to steel (ultimate tensile strength of steel is between $250 - 1200 \text{ N/mm}^2$. This value equals to $0,084 - 0,40 \text{ N/m}$ when steel is treated as a 2 dimensional structure where in graphene this value is 42 N/m), graphene shows a 100 times higher ultimate tensile strength on average. When compared to copper in terms of bulk conductivity, which represent electrical conductivity, graphene has a value of $0,96 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ while in copper this value is $0,60 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$. In terms of thermal conductivity graphane has a value of 50 W/(cm.K) where as in copper it is 4 W/(cm.K) . Moreover, many studies are concentrated on other mechanical properties of graphene.

Graphene's higher mechanical, thermal and electrical properties results led to its use in areas such as transistors, sensors, flexible screens, energy storage materials, touch screens and electric conducting materials since it proved better results than the materials that are already in use. Moreover, it is estimated that in the near future, graphene will also be used in satellites and aircrafts as a component of composite materials.

In order to make use of graphene in desired areas it has to be in macro scale rather than the micro scale that it is already in. The production of the desired forms such as film, fiber, foam etc. is the following step. The transition from micro scale to macro scale and the production of the desired form are still major problems limiting graphene's use in desired areas.

Fiber form of graphene is the desired structure in order to make use of its high electrical conductivity. As an example, a Boeing 737 contains 23 km's of cabling which may be expressed in tons. This is a serious weight considering the total weight of the airplane. In addition, sensors that detect forces acting on the plane and align course accordingly can be replaced with its graphene competitors. There is very

effective replacement in graphene usage instead of other metal cables usages in airplanes.

This study aims to produce graphene fibers via wet spinning process, which is the most common technique in this area in related literature. Producing graphene fibers and using as a cable will compensate requirements of lightness in airplanes, likewise producing graphene as a composite material and using as a sensor, will improve accuracy of sensor output signals.

In wet spinning process graphene dispersions are prepared beforehand in order to attain the final desired properties of the product. This dispersion is injected to the coagulation bath via a syringe pump. The graphene dispersion that is transferred to the coagulation bath in a closed environment in order to obtain the fiber shape. The graphene fibers are collected by a drum collector after passing through a methanol bath and a washing bath respectively.

In order to produce fiber form of graphene, one of the most important equipment of the wet spinning line is the spinneret. Studies show that single or multiple holed spinnerets can be used for the production of graphene fibers. Additionally the length to diameter ratio of these holes is higher than certain values. Moreover thinner fibers can be obtained with the use of lower hole diameters. Although smaller diameter holes are preferred, due to limits of manufacturing such equipment, existing technologies are used. As a result, the search for a proper material led to the use of a syringe needle.

The wet spinning line in this project is constructed with the use of a syringe pump and graphene fibers are obtained. Due to the diameter of the graphene fiber being unstable throughout the length of the graphene fiber and the limited volume of the syringes required the development of a new device in order to attain the desired mechanical properties.

While investigating the production methods of graphene fibers, it can be seen that most of the production methods are kept hidden since most of the research regarding the subject is a relatively new work in progress. No other equipment than the syringe pump is observed in the commonly used wet spinning process.

The device is designed following the traditional systematical design steps. Firstly, the problem is carefully constructed and the needs regarding the project are identified. Input and output values are specified and basis function is formed. Function structure and sub-functions are formed, respectively. Following steps are the determination of the necessary equipment for the system and calculation of dimensions. Specified materials and equipment are obtained for the manufacturing of the technical structure.

In this device a DC motor, worm drive with a high transmission ratio, power screw, syringe barrel, piston seal and syringe needle are essentially used. Furthermore, in order to mate all these components, some supports and sheet metals are attached to the system.

In order to achieve the desired volumetric flow rate, both dimensions of the syringe barrel and linear velocity of the piston must be known. In order to calculate linear velocity of the piston, rotational speed of the power screw and pitch of the power screw must be chosen appropriately. After constructing the necessary equations and electing required parameters, the relationship between the flow rate and rotation speed of the DC motor is observed and calculated since the DC motor is driven by

controlling the input voltage generated by the power supply. Afterward, the system is reduced to input voltage value in aim to achieve the desired volumetric flow rate. Since therefore, modulating the voltage value directly effects the volumetric flow rate value.

The system is designed with two layers in mind, which are made of steel sheets. Rectangular steel profiles are used for supports. DC motor and worm drive are mounted on the top layer where the syringe barrel sits at the bottom layer. Power screw is positioned between the layers and nut of the power screw is connected to the piston of syringe barrel. Coagulation bath is at the end of the setup and syringe needle is in contact with the bath. Thus, a vertical system is obtained in this arrangement. Additionally, graphene fibers are collected horizontally arranged collector drum.

With the use of the newly constructed structure, graphene fibers are produced without any difficulty. Compared to the previous wet spinning line specimens, which made use of the syringe pumps, the resulting materials of the new structure are identified and found satisfactory in both dimensional consistency and mechanical properties.





1. GİRİŞ

Karbonun bir allotropu olan grafen, fiziksel ve mekanik özellikleri sebebiyle son yıllarda büyük bir ilgi odağı haline gelmiştir. Andre K. Geim ve Konstantin S. Novoselov grafenin elde edilmesi ve karakterizasyonu üzerine yaptıkları çalışmalar ile 2010 yılında Fizik alanında Nobel Ödülü'ne layık görülmüşlerdir. Bu alandaki ilk teorik çalışmalar ise 1940'lı yıllarda 'The Band Theory of Graphite' adlı çalışmasıyla Wallace, P. R. tarafından gerçekleştirilmiştir. Teknolojik yetersizlikler grafenin tek katman halinde elde edilmesini ve deneysel çalışmaları günümüze kadar ertelemiştir.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda grafen yoğunluğunun $0,77 \text{ mg/m}^2$ olduğu hesaplanmıştır. Mukavemet bakımından çelik ile kıyaslandığında (çeliğin kopma mukavemeti aralığı $250 - 1200 \text{ N/mm}^2$, bu değer çelik 2 boyutlu olduğu varsayılırsa $0,084 - 0,40 \text{ N/m}$ 'dir. Grafenin mukavemet değeri ise 42 N/m 'dir.) grafenin çelikten 100 kat daha mukavim olduğu görülmüştür. Elektrik iletkenliği bakımından kıyaslandığında, bakırın kitle iletkenliği $0,60 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ iken grafenin kitle iletkenliği değeri $0,96 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 'dir. Grafenin ısı iletkenliği ise 50 W/(cm.K) değerine yaklaşmaktadır, öte yandan bakırın oda sıcaklığındaki ısı iletkenliği 4 W/(cm.K) olduğu düşünülürse grafenin ısı iletkenliği bakırdan 10 kat daha yüksektir.

Grafenin bu özelliklerinden faydalanabilmek için kullanım alanlarına uygun formlara getirme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmada ise grafeni lif formuna getirecek bir konstrüksiyon yapılmak istenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Grafen oksit lif eğirme cihazı tasarımı çalışmasında sıvı halde bulunan çeşitli oranlardaki grafen oksit çözeltisinin, lif formuna dönüştürülerek katı halde toplanması hedeflenmiştir. Enjektör pompalı sistemler kurulup incelenerek, bu sistemlerdeki eksiklikler tespit edilmiştir. Gözlemlenen bu eksiklikler doğrultusunda yeni bir lif eğirme cihazı tasarımı yapılması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Grafen kullanım alanlarına göre çeşitli formlara getirilmektedir. Bunların başında grafen film ve grafen lif gelmektedir. Yapılan literatür araştırmasında grafen çözeltilisinin vakum yardımıyla gözenekli bir yüzey üzerine yayılması sağlanmaktadır. Daha sonra grafen ile yüzey birbirinden ayrılıp grafen filmler elde edilmektedir (Zhou, 2013). Grafen filmlerin dokunmatik ekran, esnek enerji depolama filmi gibi alanlarda kullanımları mevcuttur. Bunun yanı sıra grafen köpük formunda da üretilmektedir (Cheng, 2015).

Grafenin lif formuna getirilmesi için genellikle ıslak çekim yöntemi tercih edilmektedir (Gupta ve Kothari, 1997). Islak çekim hattı ile grafen lifi elde edilerek yapılan çalışmalarda farklı oranlardaki grafen çözeltilerinden lifler elde edilerek, bu liflerin mekanik özellikleri incelenmektedir (Jalili ve diğ., 2013).

Araştırmalarda üretimi gerçekleştirilen liflerin üretim yöntemleri incelendiğinde birçok ürünün üretim yönteminin saklı tutulduğu görülmüştür. Bu alandaki üretim metotlarının hala geliştirilmekte olması bu gizliliğin başlıca sebebidir. Sıklıkla karşılaşılan ıslak çekim üretim yönteminde ise enjektör pompası kullanımı haricinde bir cihaz kullanımına rastlanmamıştır.

2. GRAFEN NEDİR?

2.1 Karbon

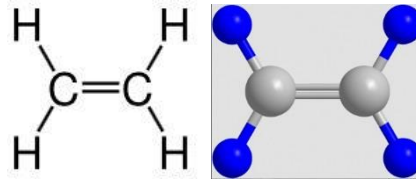
Karbon, doğada en sık bulunan altıncı elementtir ve periyodik tablonun en ilginç elementlerinden biridir. C sembolü ile gösterilir, atom numarası 6'dır. Ametal sınıfında bulunan karbon periyodik tablonun 4A grubunda yer alır. ${}^6\text{C}$ elektron dizilimi $1s^2, 2s^2, 2p^2$ şeklindedir. Şekil 2.1'de karbonun periyodik tablodaki yeri gösterilmiştir.

Periyodik Tablo

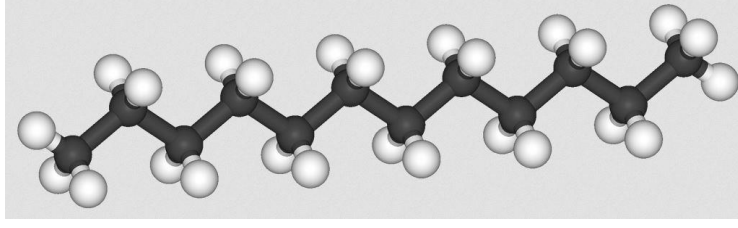
1	IA	H	IIA	Be	IIIA	B	IVA	C	VA	N	VIA	O	VIIA	F	VIIIA	He		
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Hs	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113					
Lantanitler		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
Aktinitler		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Şekil 2.1 : Karbonun periyodik tablodaki yeri.

Karbon aynı zamanda kolay zincir oluşturma özelliğine sahiptir. Minimum iki karbon atomundan zincir oluşturabildiği gibi yaklaşık 70 halkalı zincirler oluşturabilir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te karbon zincir yapıları eten ve dodekan yer almaktadır. Karbondan sonra en çok zincir oluşturabilen silisyum sadece 6 halka oluşturabildiğinden arada ciddi fark olduğu görülebilmektedir.



Şekil 2.2 : İki karbon atomundan oluşmuş zincir yapısı (eten).



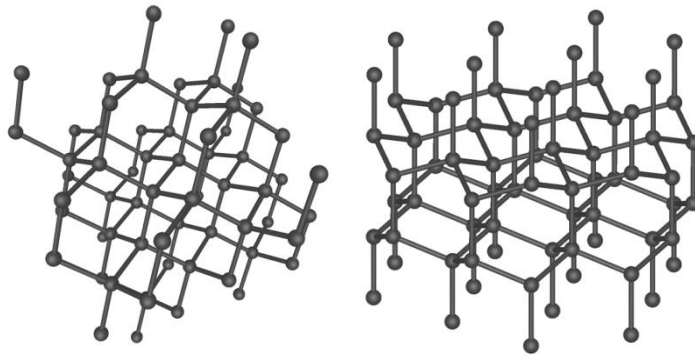
Şekil 2.3 : Çok karbonlu karbon atomundan oluşmuş zincir yapı (dodekan).

2.2 Karbon Allotropları

Allotrop; aynı elementin uzayda farklı şekilde dizilerek oluşturduğu, farklı geometrik şekildeki kristallerine denir. Yunanca ‘değişik’ anlamına gelen “*allos*” ve ‘biçim’ anlamına gelen “*tropos*” sözcüklerinin birleşimiyle oluşmuştur. Elmas, Amorf Karbon (kömür), Fulleren ve Grafit ilk aklı gelen Karbon allotroplarıdır.

2.2.1 Elmas

Her karbon atomunun, dört başka karbon atomuna bağlanarak üç boyutlu yapı oluşturmasıyla meydana gelir. Şekil 2.4 üç boyutlu karbon diziliminde elmas ve altıgen elması göstermektedir. Bilinen en sert doğal madde olan elmas, bazı minerallerle saflığı bozularak renksiz ve saydam görüntüsünden mat siyaha kadar çeşitli renklerde bulunabilir. Kovalent bağ yapısından dolayı ısıyı çok iyi ileten bir malzemedir ($22W/(cm.K)$), düşük sıcaklıklarda ($104K$) $410W/(cm.K)$ 'e kadar ısı iletkenlik katsayısı artabilir. Elmas serbest elektron taşımadığından elektriksel olarak yalıtıcıdır.

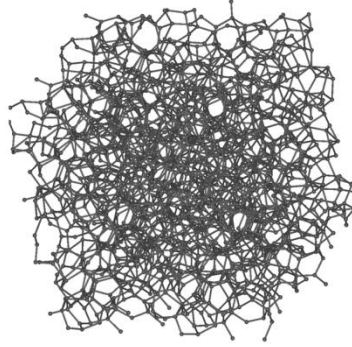


Şekil 2.4 : Elmas ve altıgen elmasın karbon dizilimi.

2.2.2 Amorf karbon

Amorf yapı belirli bir kristal yapısı olmayan, atomların serbest dağılımda yerleştiği yapılara denir. Şekil 2.5'te amorf karbon dizilimi gösterilmektedir. Amorf yapıdaki karbon atomlarına verilen genel isim ise kömürdür. İçerdiği karbon miktarlarına göre

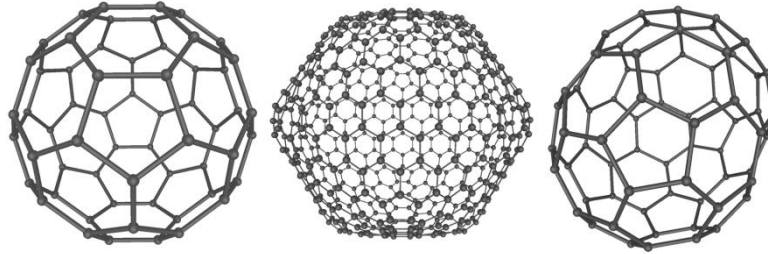
kendi aralarında sınıflandırılabilirler. %70 karbona sahip amorf karbon yapıları linyit kömürü, %80-90 arasına taş kömürü, %95 ve üzerine ise atlasit adı verilir.



Şekil 2.5 : Amorf karbonun karbon dizilimi.

2.2.3 Fulleren

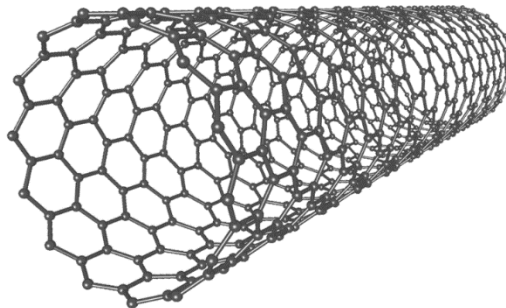
Karbonun yapay allotroplarıdır. Grafit benzeri yapıları sahiptirler ancak grafit gibi her zaman sadece altıgen yapıya sahip olmayıp beşgen ve yedigen yapıları da sahiptirler. Şekil 2.6'da çeşitli karbon dizilimlerine sahip fullerenler yer almaktadır. Böylece sistem kıvrılarak küreler, silindirler ve elipsler oluşturur. Bağ kurulan karbon sayılarına göre çok çeşitlilik gösterirler.



Şekil 2.6 : C₆₀ C₅₄₀ C₇₀ fulleren karbon dizilimi.

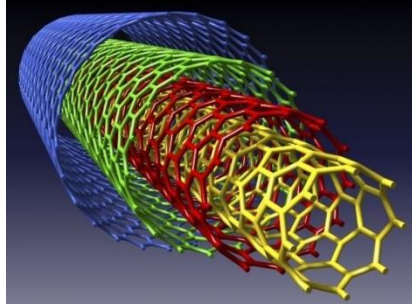
2.2.4 Karbon nanotüp

Karbonun bir başka yapay allotropudur. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de görüldüğü üzere silindirik bir (tüp) yapıya sahiptir. Uzunluk / Çap oranı 28×10^6 mertebelerindedir.



Şekil 2.7 : Tek duvarlı karbon nanotüp.

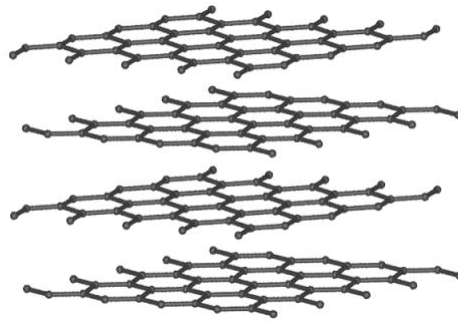
Aynı zamanda iç içe geçmiş karbon nanotüplerden oluşan çok katmanlı karbon nanotüpler de mevcuttur.



Şekil 2.8 : Çok katmanlı karbon nanotüp.

2.2.5 Grafit

Her karbon atomunun, aynı düzlemde bulunan diğer üç karbon atomuna bağlanmasıyla altıgen halkalar meydana gelecek şekilde oluşmuş karbon allotropudur. Oluşan bu yapı sadece iki boyutludur (*grafen* yapı, sadece atom yüksekliği üçüncü boyutu oluşturur, uzunluk ve genişlik dikkate alındığında önemsiz derecede küçüktür.). Bu iki boyutlu tabakalar birbirlerine zayıf Van der Waals bağları ile bağlanarak üç boyutlu bir yapı oluştururlar. Şekil 2.9'da üstüste gelen katmanlar görülmektedir. Zayıf bağlar sayesinde tabakalar birbiri üzerinde rahatça kayabilirler ve endüstride ciddi bir yağlayıcı olarak kullanılmasına imkân verirler. Grafitte üç elektron bağlanmaya katıldığından yapı bir serbest elektrona sahip olmuş olur. Bu sayede elektrik iletkenliği kazanmıştır.

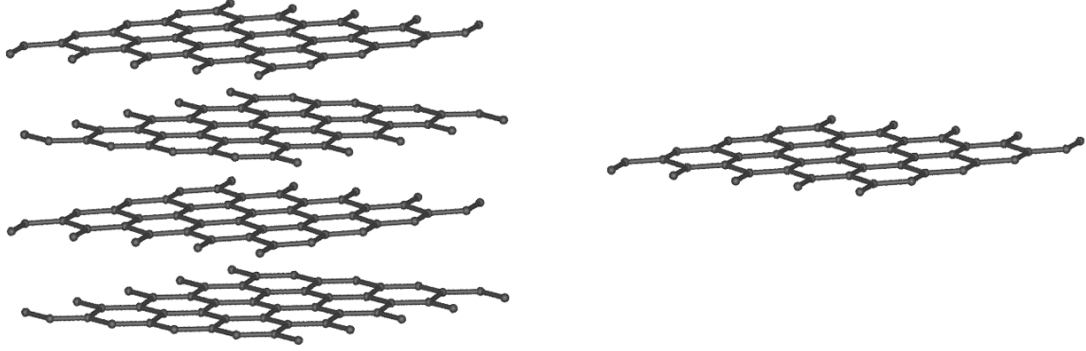


Şekil 2.9 : Grafit yapısı.

2.2.6 Grafen

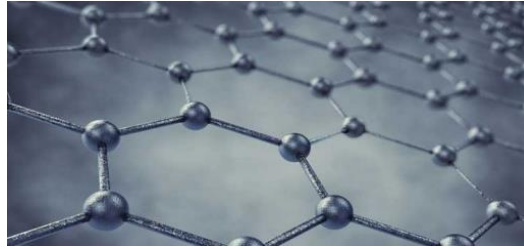
Grafen, karbon atomunun altıgen halkalar meydana getirecek şekilde dizilerek bal peteği yapıları oluşturduğu iki boyutlu allotropudur. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de görülebileceği gibi grafitin bir katmanı olarak düşünülebilir. İki boyutlu planar yapıların çok ender örneklerinden birisidir. Grafit, karbon nano tüp (CNT) fulleren

sp^2 melezleşmesinin bir ürünüdür. Karbon atomları 1s ve 2p orbitallerinin birleşimi ile 120° açılı sp^2 melezleşmesi yaparken boşta kalan p_z orbitalleri de grafen malzemesine üstün özellikler kazandırmaktadır. Bu dizilim sayesinde doğada iki boyutlu tek malzeme örneğini oluşturmuş olur.



Şekil 2.10 : Grafitin tek katmanı olan grafen.

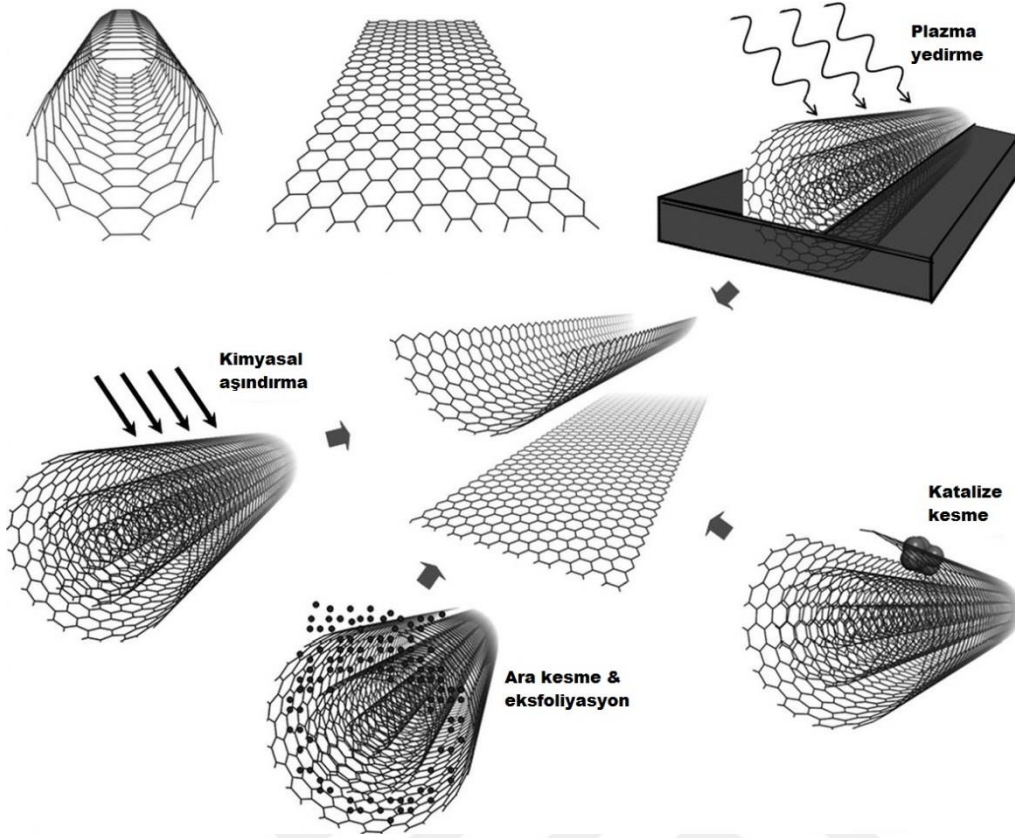
Grafit tabakalarından ayrılmış olan grafen, atomları çok sıkı olarak dizildiğinden içerisinden helyumun (en küçük atomun) dahi geçmesine izin vermemektedir. Buna rağmen kolayca esneyebilmektedir. Isıyı en iyi ilettiği düşünülen diğer bir karbon allotropu olan elmastan daha yüksek bir ısı iletkenliğe sahiptir ($30W/(cm.K)$). Grafen aynı zamanda çok iyi elektrik iletkenliğine sahip bir malzemedir. Elektronlar bu tek atom kalınlığındaki karbon tabakası içerisinde kütleleri yokmuşçasına yüksek hızlı hareket edebilmektedirler.



Şekil 2.11 : Grafen yapısı.

2.3 Grafen Elde Etme Yöntemleri

Grafen üretimi için ark plazma, kimyasal buhar depolama ve kimyasal eksfoliyasyon olmak üzere üç farklı teknik yaygın olarak kullanılmaktadır. Maliyet ve üretim kapasitesi ele alındığında kimyasal eksfoliyasyon tekniği daha avantajlıdır. Şekil 2.12'de karbon nanotüpten grafen elde etme yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Çeşitli grafen elde etme yöntemleri (Wang, 2014).

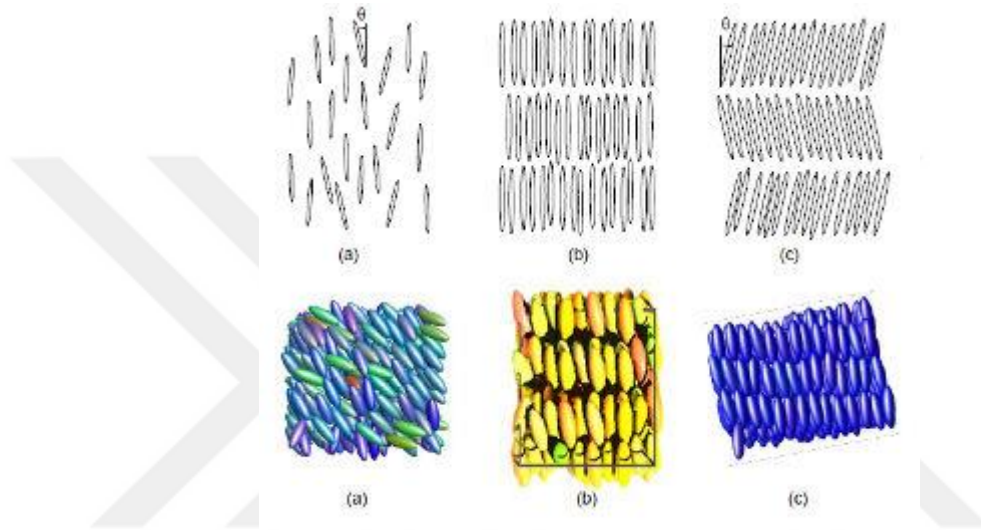
2.3.1 Kimyasal ekfoliyasyon tekniği ile grafen oksit sentezi

Kimyasal ekfoliyasyon tekniğinde güçlü oksidantlar kullanılarak grafitin yapısındaki grafen tabakaları arasındaki bağlar kırılarak tabakaların arası açılmaktadır. Hummers metodu grafitten grafen oksit sentezi sağlayan, bu tip üretimdeki en yaygın metotlardan biridir. Bu yöntemde derişik sülfirik asit (H_2SO_4) içindeki potasyum permanganat ($KMnO_4$) ve sodyum nitrat ($NaNO_3$) kullanılarak grafitin oksidasyonu gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yöntemde NO_2 , N_2O_4 gibi zehirli gazlar meydana çıkmaktadır. Gelişmiş Hummers metodunda sodyum nitrat ($NaNO_3$) kullanılmamakta, potasyum permanganat ($KMnO_4$) miktarı artırılmakta ve sülfirik asit (H_2SO_4) yerine $H_2SO_4:H_3PO_4$ karışımı kullanılmaktadır. Bu sayede daha fazla miktarda yükseltgenmiş hidrofilik grafen elde edilmektedir.

2.3.2 Grafen oksitin likit kristal yapısı

Likit kristaller çeşitli sıvı kristal safhalara sahip olan kimyasal yapılardır. Bir likit kristal bir sıvı gibi akar ancak molekülleri bir kristalinki gibi yönlü olabilir. Likit kristaller termotropik, liyotropik ve metallotropik fazlar olarak sınıflanırlar.

Liyotropik sıvı kristaller kendi aralarında lamel dizilim ve hegzagonal dizilim olarak ikiye ayrılırlar. Termotropik sıvı kristaller, sıcaklık değışirirken sıvı fazda bir faz değışikliği yaparlar. Termotropik, düşük molekül ağırlığına sahip maddeler için en bilinen çubuk tip ve disk tip moleküllerdir. Çubuk tip likit kristaller smetik (S) ve nematik (N) olarak ikiye ayrılırlar. Bunların her ikisi de uzun moleküler eksnelere paraleldir. Nematik fazda tüm mezofazlar en düşük düzenleme derecesindedirler ve mezogenlerin eksneleri hareketlerine paralel konumdadırlar. Şekil 2.13'te mezogenlerin moleküler düzenlenmeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.13 : Mezogenlerin moleküler düzenlenmeleri: (a) nematik bir fazda, (b) smektik-A fazda, (c) smektik-C fazda (Gennes vd., 1993).

Bu durum sıvı faza benzer, iki boyutludur, tüm hareketlilikler aynı düzlemedir. Tek bir yön vardır ancak her bir mezogenin kendine özgü bazı hareketleri yapması da mümkündür. Kimyasal ekfoliyasyon yöntemine göre hazırlanmış grafen oksit sulu çözeltilerinde de grafen oksitin nematik fazda dizilimler gösterdiği gözlemlenmiştir.



3. GRAFEN OKSİTİN LİF FORMUNA GETİRİLMESİ

Grafen ilk sentezi yapıldığında toz ve katı halde bulunmaktadır. Toz halinde grafen teorik olarak yüksek malzeme özelliklerine sahip olsa da, bu özelliklerin toz formunda kullanılabilmesi mümkün değildir. Şekil 3.1’de toz halde grafenin bir kap içerisindeki formu görülebilmektedir. Bu sebeple kullanım alanlarına hitap edebilecek formlara getirilebilmesi gerekmektedir. Lif ve film formları ilk akla gelecek grafen formlarıdır.



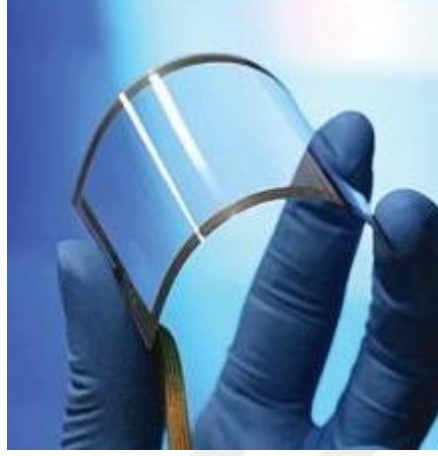
Şekil 3.1: Toz grafen (grafit).

3.1 Grafen Kullanım Alanları

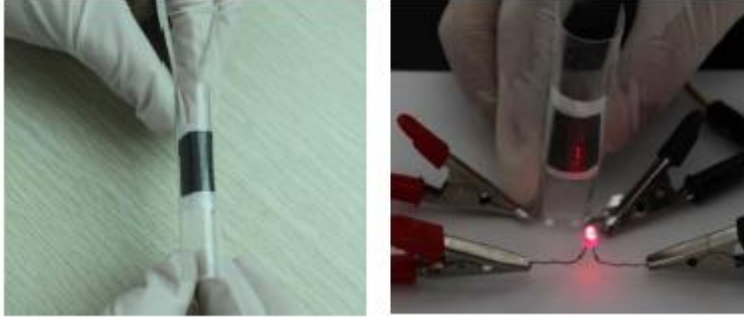
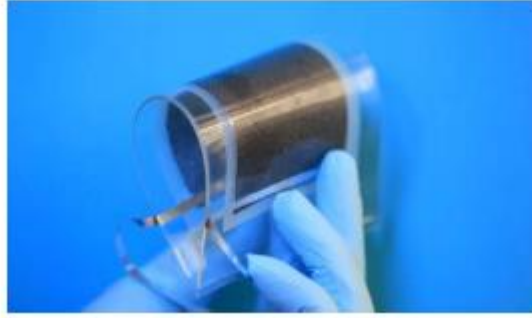
Grafen güçlü mekanik özellikleri sebebiyle birçok alanda kullanılmak istenmektedir. Evrende bilinen en ince malzeme olması, bugüne kadar ölçülmüş teorik olarak en güçlü malzeme olması, elmadan bile daha sert bir malzeme olması, en gerilebilir kristal yapı olması (yaklaşık 20% elastikiyet), geçirgen olmayan bir yapısı olması (He atomları dahi yapının içerisinde geçememektedir), ısı iletiminin yüksek olması, akım yoğunluğunun oda sıcaklığında bakırdan milyonlarca kat daha fazla olması, saf hareketliliğinin Si’den yüzlerce kat fazla olması, yük taşıma özelliğinin bulunması vb. gibi özellikleri sebebiyle şimdiden tercih sebebi olmuştur.

Grafen, sensör yapımı, kompozit malzeme olarak kullanılması, esnek ekran alanında kullanılabilir bir malzeme olması, enerji depolama alanında kullanılabilmesi gibi birçok alanda kullanım potansiyeline sahip bir malzeme durumundadır. Şekil 3.2’de grafenin esnek ekran olarak kullanım alanı gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 3.3’te enerji

depolama olarak kullanılan grafenin bir lambayı yakabilecek enerjiyi depolayabildiği, yapılacak teknolojik çalışmalar ile kapasitesinin arttırılabileceği görülmektedir.



Şekil 3.2: Grafen ekran (Peplow, 2013).

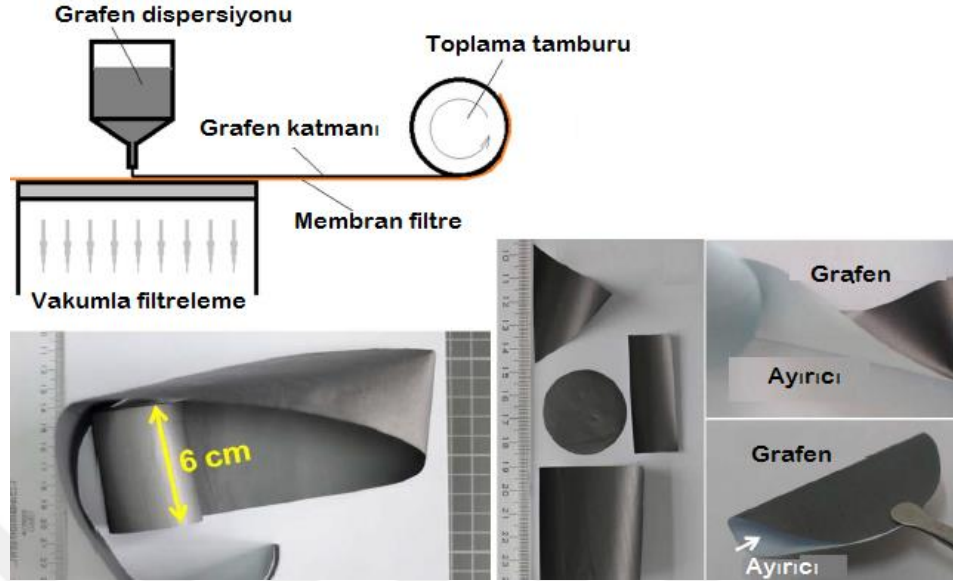


Şekil 3.3: Grafen pil (Cheng, 2015).

Grafenin filmler, grafen dispersiyonunun vakumlu bir kanal tarafından ayırıcı yüzey üzerinde çekilip, ayırıcı yüzeyler toplanarak elde edilmektedir. Şekil 3.4'te grafen film elde etme yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.

Film halini alan grafen, yüksek elektrik iletkenliği ve hassas yapısı sayesinde dokunmatik yüzey olarak kullanılabilirliği düşünülmüştür. Grafenin bu kadar yüksek elektrik iletkenliğine sahip olması onun aynı zamanda direkt olarak elektiriği iletebilmesi için kullanılmasını akla getirmektedir. Bu şekilde bir kullanım amacı için

grafenin lif haline getirilmesi uygun görülmüş ve bununla alakalı çalışmalara başlanmıştır.



Şekil 3.4: Grafen film (Cheng, 2015).

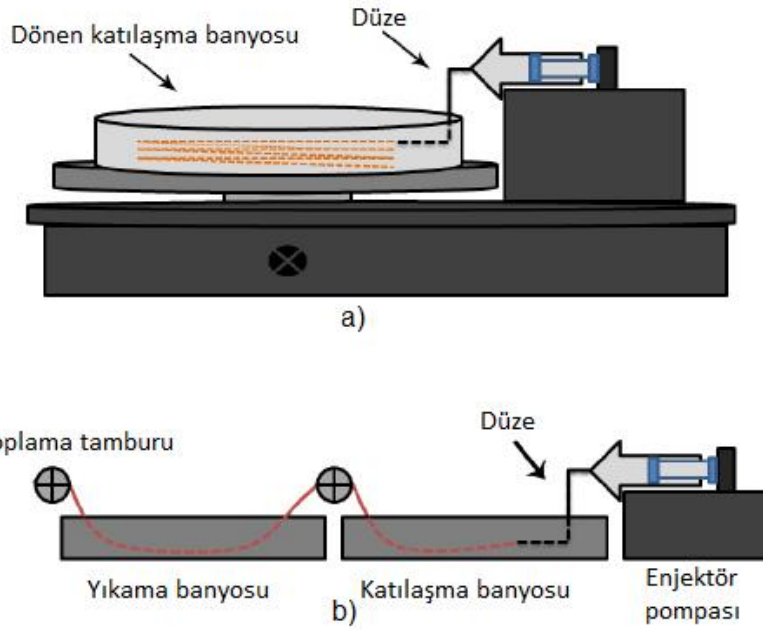
3.2 Lif Formu İhtiyacı

Grafenin yüksek elektrik iletkenliği kabiliyetinden faydalanabilmek için lif formu en uygun form olarak ele alınabilir. Örnek vermek gerekirse bir Boeing 737’de yaklaşık 23km kablo bulunmaktadır. Bu kabloların genel ağırlığı tonlarla ifade edilebilir ve hava taşıtlarına ciddi yük oluşturmaktadırlar. Bununla birlikte, hemen hemen her bölgesinde çeşitli sensörler hava aracına etki eden her kuvveti algılamakta ve uygun uçuş şeklini hazırlamakta kullanılmaktadır. Böyle bir durumda, hava taşıtında bulunan kablo ve benzeri sensör malzemelerin grafen gibi süper özelliklere sahip bir malzemeden yapılabilmesi fikri ön plana çıkmaktadır.

3.3 Islak Çekim (wet-spinning) Yöntemi ile Grafen Lif Formu Elde Etme

Islak çekim, hazırlanan grafen oksit dispersiyonunun koagülasyon (çökelme) banyosuna istenilen kesitte iletildikten sonra, malzemenin banyodan toplanması yöntemidir. Şekil 3.5.a’da da görüleceği üzere bir düze ucu banyonun içerisine yerleştirilir ve çıkan grafenin havaya temas etmeden önce direkt koagülasyon banyosuna çıkması sağlanır. Bu yöntemde dönen bir kap kullanılmıştır ve grafenin kabın tabanında toplanması sağlanmaktadır. Şekil 3.5.b’de ise düzeden çıkan grafen

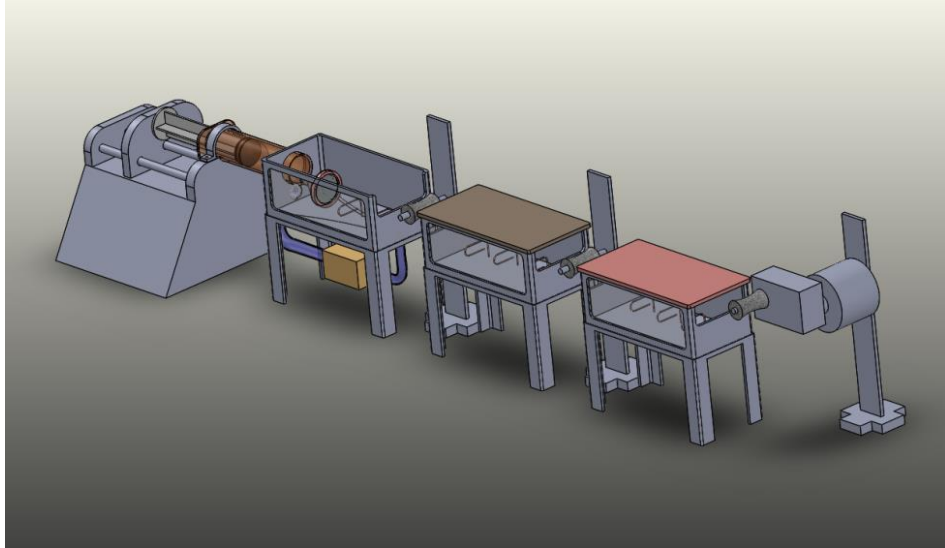
önce koagülasyon banyosuna aktarılmakta, buradan tamburlar aracılığıyla yıkama banyosundan geçirilerek, toplama tamburuyla işlem sonlandırılmaktadır.



Şekil 3.5: Islak çekim yöntemi (Jalili, 2013).

3.4 Enjektör Pompalı Islak Çekim Hattı Tasarımı

Islak çekim hattının oluşturulmasında bir adet enjektör pompası, enjektör, düze, koagülasyon banyosu, ayırma makaraları ve toplama tamburu ve motoru kullanılması düşünülmüştür. Bu tasarımda enjektör ucu yani düzenin koagülasyon banyosu içinde kalması gerekmektedir. Aksi halde grafen koagülasyon banyosundan önce havaya temas edecek ve istenilen form oluşamayacaktır. Öncelikle enjektör grafen oksit dispersiyonu ile doldurulur. Enjektör ucuna grafenin küçük çaplarda çıkabilmesini sağlayacak düze monte edilir ve ardından enjektör pompasına yerleştirilir. Enjektör pompası istenilen debiye ayarlanır ve işlem başlatılır. Hizalama tellerinden geçirilen grafen formu makaralar aracılığı ile değişik banyolara sokulur ve bir makara ve motor yardımıyla grafen toplanır. Burada mevcut banyolar koagülasyon banyosu, metanol banyosu ve kurutma banyosudur. Şekil 3.6'da tasarlanan enjektör pompalı ıslak çekim hattı montaj halinde görülmektedir.



Şekil 3.6: Islak çekim hattı tasarımı.

3.4.1 Enjektör pompası seçimi

Islak çekim hattının kurulumu esnasında programlanabilir tek enjektör kapasiteli enjektör pompası seçilmiştir. Şekil 3.7’de ticari olarak temin edilebilen bir enjektör pompası görülmektedir. Bu seçimdeki en büyük ölçüt düşük debilerin ayarlanabilir özellikte olmasıdır. Cihazın debi aralığı $0,73 \mu\text{l}/\text{sa}$ ile $2100 \text{ ml}/\text{sa}$ şeklinde programlanabilmektedir.



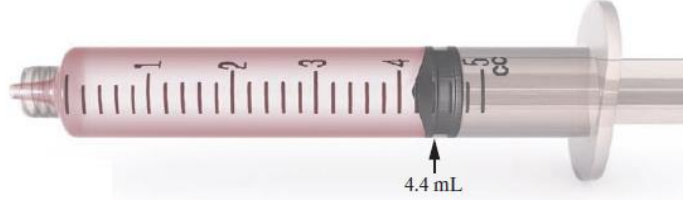
Şekil 3.7: Enjektör pompası.

Enjektör pompası ayarlanırken enjektör çapı ve istenilen debi enjektör pompasına girdi olarak girilmektedir. Böylelikle enjektör pompası içerisindeki step motor istenilen devre getirilir ve enjektör pompası lineer hareket yaparak enjektörün içerisindeki grafen dışarı doğru itilmeye başlar.

3.4.2 Enjektör seçimi

Sisteme monte edilecek enjektör seçiminde en büyük etken enjektör hacmi olmuştur. Enjektör pompası boyutsal kısıtlarından dolayı 50 ml’lik enjektörlere kadar kullanılabilir. Hacmi arttırabilmek için ise daha kapasiteli ve boyutları daha

büyük enjektör pompaları gerekmektedir. Genellikle enjektör pompalarındaki kapasiteler ise seri birkaç enjektörün yan yana bağlanmasıyla oluşmaktadır. Böyle bir durum mevcut sistem için gerekmemektedir.



Şekil 3.8: Standart 5ml enjektör.

Şekil 3.8’de gösterilen 5ml’lik ve 10ml’lik enjektörler sistemde kullanılmıştır. 5ml’lik bir enjektör için her bir çizgi 0,2ml’lik bir hacmi göstermektedir. Ancak enjektörün plastik yapısından ve formundan dolayı kullanımında çeşitli sorunlarla karşılaşmıştır. Enjektörün plastik yapısı grafenin enjektör ucundan çıkarken karşılaştığı sürtünme direncinden dolayı deforme olmakta ve çapta çeşitli farklılıklar oluşmaktadır. Çapta oluşan bu değişiklikler enjektör pompasında girilen sabit çap girdisiyle uyuşmamakta ve debi değişmektedir. Aynı zamanda bazı sızdırmazlık problemleriyle de karşılaşmaktadır. Bu değişiklik sonucunda ise üretilen grafen lif çapları değişime uğramakta ve sürecin devamlılığı etkilenmektedir. Bu deformasyonun önüne geçebilme adına cam enjektör kullanımı ihtiyacı duyulmuş ve yapılacak ıslak çekimlere cam enjektörlerle devam edilmiştir. Şekil 3.9’da iki parça halinde enjektör görülmektedir.



Şekil 3.9: Cam enjektör.

3.4.3 Düze tasarımı

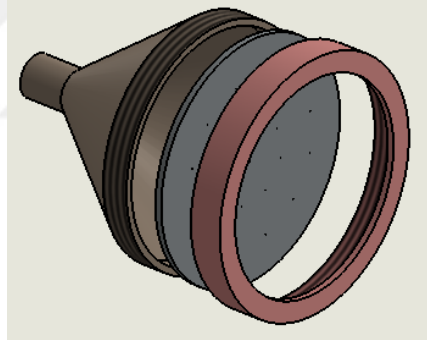
Enjektör pompasına bağlanan grafen dolu enjektörün ucuna, grafenin lif formunda alınmasını sağlayan bir düze monte edilmesi gerekmektedir. Bu düzede çoklu grafen lif elde edilmesini sağlayabilen birçok delik bulunabilmektedir. Şekil 3.10’da çok delikli bir düzeden ıslak çekim yapıldığı görülmektedir. Düzedeki delik çaplarının

mümkün olduğunca küçük olması alınan ürünün lif çapının küçük olması anlamına gelmektedir.



Şekil 3.10: Çok delikli düze (Jalili, 2013).

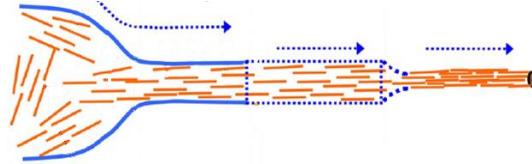
Bu durumda PTFE malzemesi kullanılması düşünülerek 35 mm çapında, 3 mm kalınlığında PTFE plaka üzerine merkezde 1 adet, 12 mm çapta 8 adet, 24 mm çapta 12 adet 0,1 mm çapta toplam 21 delik oluşacak şekilde bir düze tasarlanmıştır. Delik çaplarının grafenin çıkış yönüne göre daralarak devam etmesi istenmiş ve 2mm kalınlık sabit 0,1 mm çapta geri kalan kısım ise 0,2 mm çaptan daralarak 0,1 mm çapa inilmesi istenmiştir.



Şekil 3.11: Düze tasarımı.

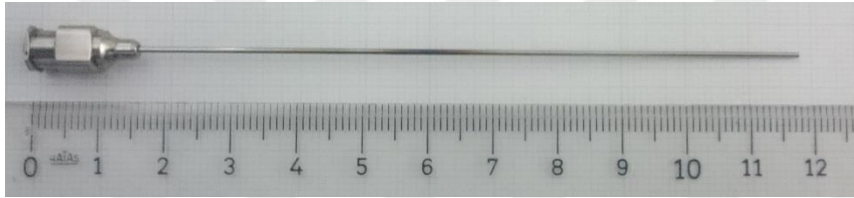
Şekil 3.11’de görüldüğü üzere 3 parça şeklinde tasarlanan düze, sırasıyla enjektöre monte edilecek kısım, deliklerin bulunduğu ara plaka ve plakayı monte edebileceğimiz bir tutucu ile tamamlanmıştır. Montaj dış açılarak sağlanmak istenip, bu tasarım sayesinde hem düzenin temizliği hem de farklı delik sayısı ve delik çaplarındaki plakaların kullanılması hedeflenmiştir. Parça imatları yapıldıktan sonra sıra plakaya istenilen çaplarda delik delinmesi işlemine gelinmiştir ancak bu çaplarda istenilen çap aralığında delik delebilecek bir imalatçı bulunamamıştır. Bu durumda mekanik olarak 0,5 mm çapta delikler delinerek işlem tamamlanmış olup sistem enjektöre monte edilmiştir. Fakat sistem istenilen formda lifler vermemiş ve delik çaplarının büyüklüğü ve sayı olarak çokluğu sistemi negatif olarak etkilemiştir.

Yapılan araştırmalarda grafenin likit kristal yapısından yararlanılmaya çalışıldığı gözlenlenmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan dzelerde düze çapının delik boyunca daralması akış anında grafen yapısında bir hizalanma meydana getirir. Şekil 3.12’de düze içerindeki yönelim görülebilmektedir. Bu yönelim daha kolay ve sürekli lif oluşumuna olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.12: Düze içerisinde Grafen hizalanması.

Bu yönelimden faydalanmak adına çap/boy oranı olabildiğince yüksek bir düze arayışına geçilmiştir. Literatürde 1/50’lik bir oranın kullanımı dikkati çekmektedir. Bu kapsamda hazır bulunabilen bir enjektör iğnesi kullanılmasına karar verilmiştir



Şekil 3.13: Enjektör iğnesi.

Şekil 3.13’te görülen enjektör iğnesinin iğne boyu 102 mm ve gövde boyu ise 16 mm’dir. Enjektör iğnesinin delik çapı ise 0,5 mm’dir. Bu durumda 0,5/102 (1/204)’lk oranda bir enjektör iğnesinin kullanımı söz konusudur.

3.4.4 Koagülasyon banyosu ve grafen dispersiyon oranının belirlenmesi

Koagülasyon banyosu belli bir oranda hazırlanan grafen dispersiyonunun düzeden çıktığı andan itibaren okmesini sağlayan katılaşma havuzudur. Grafen dispersiyonu bu havuza girdiği zaman içinde bulunan saf su katılaşma banyosunda bulunan karışımla davranışından dolayı sadece grafen kalacak Şekilde hareket eder. Dzeden çıktığı lif Şeklini koruyan grafen havuz içerisinden toplanmaya başlanır. Bu işlem esnasında iki önemli parametre göze çarpmaktadır. Bunlardan birincisi grafen dispersiyonunun oranı, diğerisi ise katılaşma banyosunun oranıdır. Bu iki parametre birbirleriyle direkt bağlantılı olarak değişim gösterebilmektedirler.

Literatürde grafen dispersiyonlarının katılaştırılmasında sıklıkla rastlanan katılaşma banyoları NMP/CTAB, DMF/CTAB, Etanol/CTAB, su/CTAB, etanol/su/CTAB,

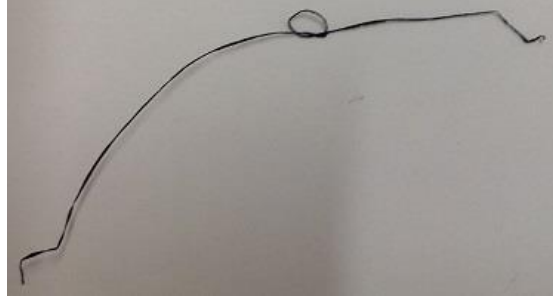
etanol/su/ KCl_2 , etanol/su/ $CuSO_4$, etanol/su/NaOH, etanol/su/ $CaCl_2$ olarak sayılabilir. Bu katılaşma banyolarında kullanılan bileşimler miktarlarına göre de değişim göstermektedirler. Hazırlanan karışımlarda belli miktarda saf suya hacimce birkaç katı olacak şekilde etanol katıldıktan sonra kütlece belli bir oranında kalsiyum klorür ($CaCl_2$) kullanılarak etanol/su/ $CaCl_2$ karışımı seçilmiştir. Ayrıca aynı oranlarda sodyum hidroksitli karışım (etanol/su/NaOH) da kullanılan bir diğer karışım olmuştur ancak bu karışımda ortaya çıkan ısı ve cilde kaşıntı ve yakıcı bir etkisinin olması kullanımının daha dikkatli olması anlamına gelmektedir.

Grafen karışımının hazırlanmasında ise çeşitli oranlar kullanılmıştır. Bu oranlar 1 ml saf suya konulacak grafen oksit miktarını vermektedir. Öncelikle çalışmalara 5 mg/ml'lik grafen oksit hazırlanarak başlanmıştır ama yapılan denemelerde bu oranın yoğunluğunun katılaşmaya müsade etmediği görülmüştür.



Şekil 3.14: Lif formu elde edilememesi.

Bunun üzerine grafen oranı arttırılmıştır. Çeşitli oranlarda grafen karışımları ile deneyler yapılmaya çalışılmıştır. Bu durumlarda ise lif formuna yaklaşılsa da yeterli katılaşma meydana gelmediğinden bu formlar katılaşma banyosundan çıkarken deforme olmuşlardır. Şekil 3.14'te katılaşma banyosunda lif formunda kalamayan grafen çözeltisi gösterilmiştir. Nihayetinde grafen oranının belli bir seviyede tutulması düşünülerek bu seviyenin katılaşma banyosunda lif formu alabilme kabiliyeti açısından uygun grafen oranı olduğuna kanaat getirilmiştir. Ayrıca denenen belirlenen oranın üzerinde de grafen formu oluşumu gözlenmiştir ancak bu karışım oranlarında harcanan grafen ve alınan lif formu açısından yeterli iyileştirme elde edilmemesi daha az yoğun grafen karışımının kullanılmasına devam edilmesini göstermiştir. Şekil 3.15'te belirlenen oranda hazırlanan grafen çözeltisi ile lif formu elde edilmiş, lif katılaşma banyosundan çıktından sonra life düğüm atılabildiği gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Lif formu elde edilmesi.

3.4.5 Toplama motorunun seçimi ve toplama tamburunun boyutlandırması

Toplama tamburunun boyutlandırılmasında, katılaşma banyosuna giren grafen karışımının lif formundaki ilerleme hızı dikkate alınır. Bu hızın toplama tamburunun çizgisel hızına eşit olması durumunda, katılaşma banyosu içerisinde grafen liflerinin birikmesine izin verilmeden lif toplama işlemi gerçekleştirilebilir. Bu durumda motorun devir sayısını belirleyen parametreler de toplama tamburunun çizgisel hızı ve çapıdır.

$$\frac{\pi \cdot d [mm]}{60} \cdot n [d/d] = v [mm/s] \quad (3.1)$$

Eşitlikte ‘*d*’ tambur çapını, ‘*n*’ motor devrini ve ‘*v*’ tamburun çizgisel hızını ifade etmektedir. 30 mg/ml’lik grafen karışımı katılaşma banyosuna 400 μ l/*d*’lık debiyle aktarıldığında oluşan lif formu katılaşma banyosu içerisinde 14 mm/s hızla ilerlemektedir. Bu aynı zamanda tamburun çizgisel hızına eşittir. Motor devir sayısının belirlenmesi durumunda tambur çapı yukarıdaki eşitliğe göre elde edilmiş olur. 2 *d/d*’lık bir motor seçimi yapılarak 134 mm’lik toplama tamburu çapı değeri hesaplanmış ve bu parametreler sonucunda imalat ve montaj gerçekleştirilmiştir.

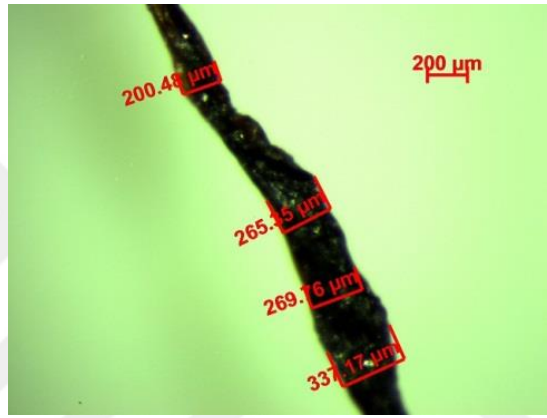
3.4.6 Islak çekim hattı ile elde edilmiş lif özellikleri

Islak çekim hattı sonrası elde edilen grafen lifler çok kısa süreliğine (yaklaşık 2, 3 saniye) metanol banyosunda bekletilirler. Bunun amacı grafen liflerin üzerinde kalan tuzların liflerden ayrıştırılarak liflerin mümkün olduğunca grafen yapısına sahip olmasını sağlamak ve oluşacak gerilme sayesinde daha mukavim bir lif elde etmektir. Eğer metanol banyosunda daha fazla bırakılırlarsa lifler zarar görmekte ve ayrışmaktadırlar. Bu yüzden zamanlama konusunda dikkatli olunması gerekmektedir. Metanol banyosundan çıkarılan lifler kurutulmak üzere nemi ayarlanabilir kuru bir ortama alınırlar ve yaklaşık 1 gün kadar bekletilirler. İlk aşamada grafenin mekanik

özelliklerinden lif çapları ve lif mukavemetleri incelenmiştir. Liflerin elektriksel özelliklerinin incelenebilmesi için ise bir indirgenme işlemi gerekmektedir. Bu sebeple bu aşama daha sonraya bırakılmıştır.

3.4.7 Lif çapı

Lif çapları optik mikroskoptan alınan görüntülerin dijital ortama aktarılarak ölçeklendirilmesiyle elde edilir. Islak çekim hattından elde edilen grafen lifinin boyutları ölçekli olarak Şekil 3.16'da verilmiştir. Grafen oksit lifindeki çap değişkenliği rahatlıkla görülebilmektedir. Bu durum enjektör pompalı ıslak çekim hattının performansının sorgulanmasına sebep olmuştur.



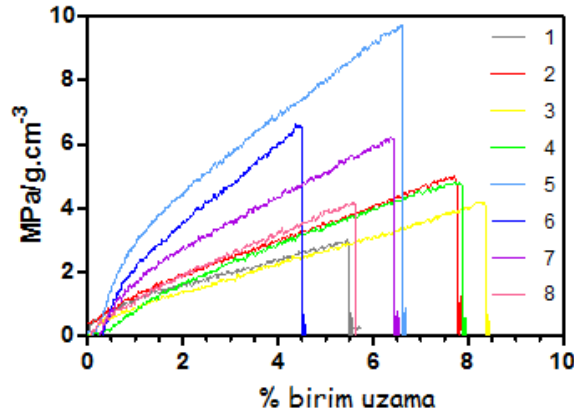
Şekil 3.16: Grafen lif çapı.

3.4.8 Çekme testi ve lif mukavemeti

Yapılan bir diğer çalışma çekme testi uygulaması ile lif mukavemetini belirlemektir. Bunun için düşük kuvvetlerin ölçülebildiği bir yük hücresine sahip olan universal test cihazı kullanılmıştır. Test cihazındaki çeneler grafen liflere zarar vermeyecek şekilde pnömatik çeneler ile değiştirilir. Aynı zamanda numuneler de test için hazırlanırken tek ekseninde durması sağlanacak şekilde ve çenelerden zarar görmesini engelleyecek şekilde kağıt formlara yapıştırılır. Şekil 3.17'de çekme cihazı, hazırlanan numuneler ve numunelerin pnömatik çenelerdeki konumu gösterilmiştir. Çekme testi için hazırlanan numuneler pnömatik çenelere yerleştirilir. Ardından çekme testi 0,5 mm/d hızda ilerleyecek şekilde başlatılır. Grafen lifteki kopma işlemi gerçekleştiğinde test bitirilir. Test başlamadan önce girilen ilk boy ve çap değerleri sonucunda bilgisayar destekli alınan ölçümlerin grafikleri tablolar halinde elde edilebilir.



Şekil 3.17: Çekme cihazı, deney numuneleri ve çekme deneyi.



Şekil 3.18: Özgül gerilme – birim uzama grafiği.

Deney setleri, üretilen liflerin lif boyunca farklı bölgelerinden alınan örneklerle hazırlanır. Yapılan deneyler sonrasında Şekil 3.18’de bulunan grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafikte görüleceği üzere yüzde uzamalar açısından bir tutarsızlık göze çarpmaktadır. Ayrıca numunelerin özgül mukavemetleri arasında da görülen farklar enjektör pompasıyla elde edilen liflerin, lif boyunca eş dağılımlı bir fiziksel yapıya sahip olamadıklarını göstermektedir.

3.4.9 Enjektör pompalı tasarımın dezavantajları

Grafen malzemesi enjektör pompalı ıslak çekim hattı sayesinde kolayca lif formuna getirilebilmektedir. Ancak bu tasarımda bazı yetersizlikler ve eksiklikler bulunmaktadır. Öncelikle lif formu kazanan grafenin toplama tamburuna aktarılması el işçiliği ile sağlanabilmektedir. Bu durum tecrübeye dayalı ve operatör bazlı özelliklerin (kabiliyet, beceri, tecrübe vs.) ön plana çıktığı bir vaziyet ortaya çıkarmaktadır.

Elde edilen grafen lifler mikroskop altında incelendiğinde, lif boyunca sabit bir çapın elde edilememesi enjektör pompalı tasarımın başlıca dezavantajlarından biridir. Lif boyunca sabit çap sağlayabilmek için enjektör pompasının yapısının incelenmesi gerekmektedir. Enjektör pompası, enjektörün cihaza tutturularak enjektör pistonunun enjektör gövdesine göre lineer hareket etmesini sağlayacak bir sistemdir. Burada enjektör pistonu her iki taraftan hizalanmış olan çubuklar vasıtasıyla bir hareket vidası yardımıyla itilmektedir. Ancak itme işlemini sağlayan hareket vidasına dönme hareketini veren motor enjektör pompasının içinde bulunan bir adım motordur. Adım motorlar bağlı oldukları sürücülerden aldıkları giriş darbeleri (pals) yardımıyla açısal olarak ayarlanabilen birimlerde hareket ederler. Bir turdaki adım miktarı belli olan motorun her adımda döneceği açı da belli olmuş olur. Örneğin 400 adımlık bir adım motor, $360/(400=0,9^\circ)$ 'lık bir adım açısına sahiptir. Bu değer adım motorunun aynı zamanda hassasiyetini de gösteren bir değerdir. Step motorun bir avantajı giriş darbelerinin zamanının sürücüler yardımıyla kolayca ayarlanabilir olmasıdır. Ancak adımlar arasındaki süre arttıkça motorun sürekliliği de ortadan kalkmaktadır. Grafen lif formu oluştururken de buna benzer bir durum ortaya çıkmıştır. Sürücüye girilen debi miktarının azalmasıyla giriş darbeleri arasındaki süre artmış, bu sebeple darbe anında grafen lif çapı yüksek iken bir sonraki darbenin gelmesine yakın çap azalmıştır ve bu durum lif çapının değişken olmasına yol açmıştır.

Bir diğer konu ise her ne kadar grafen karışımı için gerekli grafen üretimi kısıtlı olsa da enjektörlerin hacimlerinin sınırlı olması tasarımı belli ölçüde süresizleştirmiştir. Bu durum enjektör pompası yerine farklı bir cihaz kullanılması gerekliliğini doğurmaktadır.

Ayrıca kullanılan enjektör pompasında kullanılan enjektörlerin deformasyonu sonucu mevcut kesit alanlarını koruyamamaları ayarlanandan farklı debilerin meydana çıkmasına sebep olmaktadır. Bu durumu engelleme amaçlı kullanılan cam enjektörler durumu anlık olarak düzeltse de genel anlamda yeni bir sistemin gereksinimini giderememiştir.



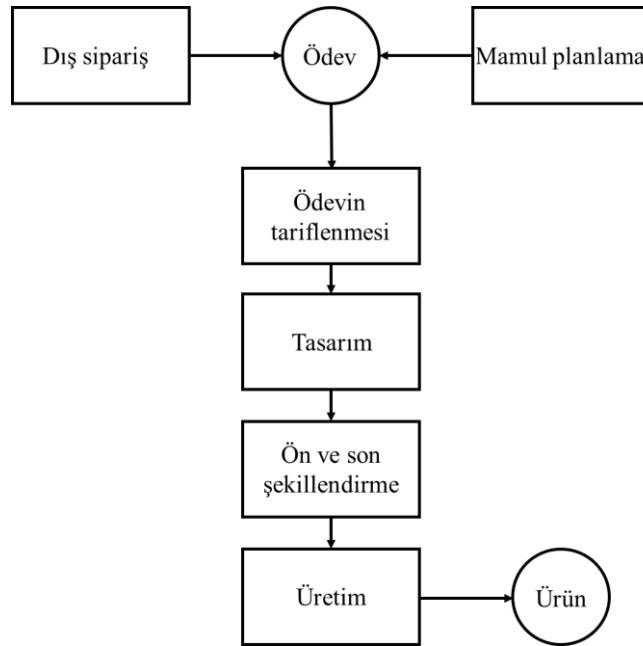
4. GRAFEN OKSİT LİF EĞİRME CİHAZI TASARIMI

Konstrüksiyon, ödevin tarifinden, giriş ve çıkış değerlerinin kesin olarak belirtilmesinden, uygulanacak fiziksel prensiplerin işlenmesi, bu prensipleri sağlayan fonksiyon elemanları ve alt sistemlerin seçimi, bunların montaj ve detay resimlerinin hazırlanmasına kadar geçen bütün faaliyetleri kapsar. Konstrüksiyonda hedef, verilen giriş ve çıkış değerlerini gerçekleştiren en kullanışlı, ekonomik ve estetik bir sistemin gerçekleştirilmesidir.

Konstrüksiyon aşamasında uygulanacak adımlar sıralanmak istenirse;

- Ödevi yerine getirecek mantıklı fikirlerin oluşturulması,
- Deneyler yardımıyla ek bilgilerin elde edilmesi,
- Çeşitli çözümlerin ele alınması,
- En uygun çözümün tespiti ve kroki halinde değerlendirilmesi,
- Ölçekli ön konstrüksiyon ve hesaplar,
- Son şekillendirme ve detaylar,

şeklinde özet bir adım listesi elde edilebilir.



Şekil 4.1 : Konstrüksiyon adımları.

4.1 Konstrüktif Geliştirme Sürecindeki Fazlar

Konstrüksiyon adımları çok çeşitli sıralamalar ile detaylandırılabilir. Ancak sade anlamda bir sıralama yapılmak istenirse hepsi 4 fazda toplanabilir. Bu fazlar sırasıyla

- Faz 0, ödevin analizi, istekler listesi ve ödevin kesinlik kazanması,
- Faz 1, temel fonksiyonun tanımlanması,
- Faz 2, soyuttan somuta geçilerek fonksiyon strüktürün tanımlanması,
- Faz 3, fonksiyon strüktürünün maddesel ve geometrik özelliklerinin tespiti,

şeklinde yazılabilir.

Yapılan ‘Grafen oksit lif eğirme cihazı tasarımı’ çalışmasında bu adımlar sırasıyla uygulanmış ve bir tasarım ortaya konulmuştur.

4.1.1 Faz 0, ödevin analizi, istekler listesi ve ödevin kesinlik kazanması

Konstrüktif geliştirme sürecinin ön çalışması, veya verilen ödev tarifinin kesinleştirilmesi olarak tanımlanan bu evreye ‘0-fazı’ denir.

Ödevin tanımlanabilmesi için öncelikle bir siparişe veya ürün planlama durumuna ihtiyaç vardır. Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle hız kazanan grafen çalışmaları sonucunda, sektörde grafeni lif formuna getirecek cihaz ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaç doğrultusunda bir sipariş ortaya konmuştur. Bu siparişe kısaca grafen lif eğirme cihazı denilebilir. Bu durumda ödev; grafeni lif formuna getirecek bir cihazın tasarımı olarak kendiliğinden ortaya çıkmış olur. Ancak ödevin bu hali bir teknik yapıt ortaya koymak için yeterli tanıma sahip değildir. Bu sebeple ödevi net bir şekilde tarif etmek gereklidir. Tarifi yapabilmek için ödevin kısıtlarını saptamak ve istekleri tam olarak belirtmek gerekmektedir.

4.1.1.1 İstekler listesi

Ödevin netlik kazanmasında en önemli faaliyet istekler listesinin hazırlanmasıdır. Teknik sistemi tanımlayan özellikler, teknik sistemi niteliksel ve niceliksel olarak belirten büyüklüklerdir. Bazı özellikleri sayısal olarak değerlendirmek mümkündür. Ne büyüklükte, ne ağırlıkta gibi soruların cevabı genellikle niceliksel ve bu sayede objektiftir. Ancak güzel, çirkin, zarif, kaba gibi kavramlar kişisel yoruma bağlıdır ve sayısallaştırılması pek mümkün olmayan, değerlendirilmesi ilgili topluma bağlı olarak değişen kavramlardır.

Bunun haricinde genel olarak ödevi tarifleyen istekler üç kategoride incelenebilir.

I - Kesin İstekler; Ödevin çözümünde kesinlikle yerine getirilmesi istenen isteklerdir. Bu istek tipi dar toleranslarda yerine getirilmesi gerekenler (kati istek) ve alt veya üst sınır belirtecek şekilde (minimal istek) ikiye ayrılabilir.

II – Arzu Tipi İstekler; Gerçekleştirilmesi zorunlu olmayan isteklerdir. Konstrüksiyonda bu tip istekler imkanlar dahilinde değerlendirilir.

III – Hedef Gösteren İstekler; Bu istekler konstrüksiyonun geliştirilmesi esnasında konstrüktör tarafından ortaya çıkarılacak olan ve ileriki benzer teknik yapıtların geliştirilmesi için uygulanabilecek isteklerdir.

Yukarıda sıralanan istek tipleri ışığında grafen oksit lif eğirme cihazı tasarımı ödevinde daha önceki tasarlanan sistem (ıslak çekim hattı) göz önünde bulundurularak bir istekler listesi hazırlanmıştır.

Çizelge 4.1 : İstekler listesi.

Kesin İstekler	Arzu Tipi İstekler	Hedef Gösteren İstekler
Sürekli bir lif formu elde edilmesi,	Belirli bir lif çapı aralığı (100 μm / 250 μm)	Operatör kontrolünden bağımsız bir sistemin kurulması
Minimum 100 ml sistem hacmi (ıslak çekim hattında 50 ml ile sınırlı hacmin arttırılması) Sistemin 50 $\mu\text{l}/d$ - 500 $\mu\text{l}/d$ aralığında debiye sahip olması	Lif mukavemetinin yüksek olması,	

4.1.2 Faz I, temel fonksiyon

İstekler listesi niceliksel ve niteliksel birçok özelliğin bulunduğu bir kümedir. Karmaşık bir sistem tasarımında çok fazla sayıda elemana sahip olabilir. Bunların çözümü bir çözümler kümesine ulaşılmasını sağlar ama bu çözümler kümesinden en sağlıklı çözümün saptanması bir hayli zordur. Bu durumda ödevi yerine getirebilen mümkün olduğunca soyut bir üst sistem meydana getirmek gerekmektedir. Soyutlandırma aşamasında arzu tipi istekler bir kenara bırakılır ve kesin istekler mertebelerinden bağımsızlaştırılarak olabildiğince temele inilir. Bu projede temel fonksiyon; ‘belli bir hacimdeki grafen oksit sıvısının lif formu alacak ve bu formda kalacak hale getirilerek katılaşma banyosuna iletilmesi’ olarak tanımlanmıştır.

Konstrüksiyonun bu fonksiyonu ne şekilde yerine getireceği bir sonraki adım olacak ve bu temel fonksiyonun alt kümeleri oluşturularak çözüme gidilecektir.

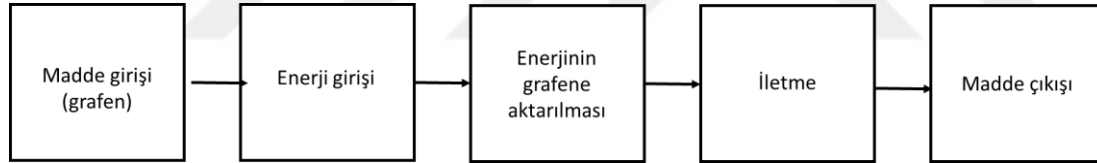
Sistemin temel fonksiyonu yerine getirmesinde sisteme madde girişi, enerji girişi ve sinyal girişi sağlanarak sistemden madde ve enerji çıkışı beklenecektir.



Şekil 4.2 : Kara kutu.

4.1.3 Faz II, fonksiyon strüktürünün belirlenmesi

Strüktür kavramı, teknik sistemin fonksiyonel iç yapısını belirtir. Temel prensibi ve istekler listesi tanımlanmış bir ödevde, kara kutunun içi hala belirsizdir. Kara kutunun giriş ve çıkış büyüklükleri arasındaki temel ilişkiyi çok sayıda alt fonksiyonlara ayırmak mümkündür. Belirli bir düzen ve ilişkiler bağı içerisinde bulunan alt fonksiyonların herbirine fonksiyon strüktürü adı verilir.

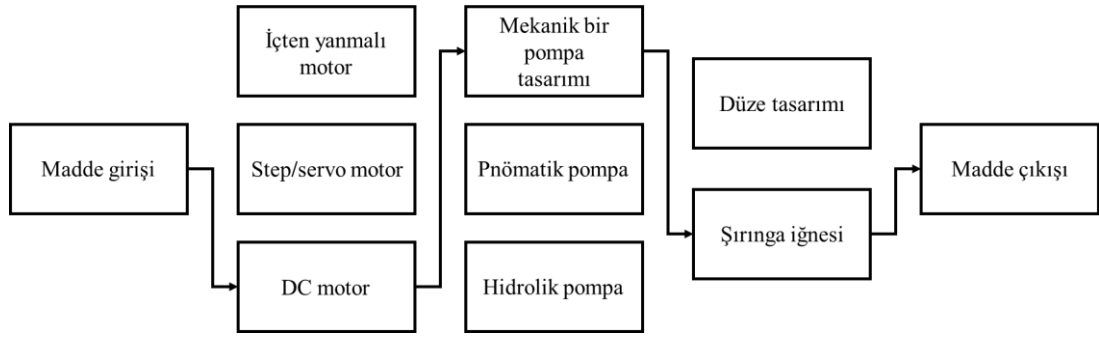


Şekil 4.3 : Fonksiyon strüktürü.

Şekildeki fonksiyon strüktürünün alt fonksiyonları; grafenin bir hazneye doldurulması, sisteme enerji verilmesi, enerji dönüşümü, grafenin daralan haznedan dışarı itilmesi, grafenin son formu olarak sistemden çıkışı olarak sıralanabilir.

Yapılan sentezlerde ödevi yerine getirecek çeşitli alt fonksiyonlar öngörülmüştür.

Herbir alt fonksiyonun avantajları ve dezavantajları göz önüne alınarak seçimler yapılmış ve uygulanacak olan yöntemler tek tek belirlenmiştir.

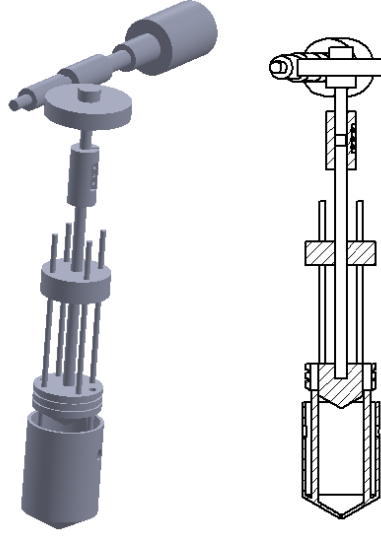


Şekil 4.4 : Alt fonksiyonlar.

Madde girişi kısmı hazneye grafen malzemesinin doldurulması durumudur. Sisteme verilecek enerji elektrik enerjisi olarak öngörülmüş ve bir DC motor kullanılmasına karar verilmiştir. Burada DC motor kullanılmak istenmesindeki temel etken bir önceki tasarımda mevcut step motorun ve enjektör pompasının sistem için yeterli kabiliyete sahip olmamasına inanılmasıdır. Bir sonraki aşamada yer alan mekanik pompa tasarımı alt fonksiyonunda ise diğer iki pompa türünün çok düşük debilerde ($50 \mu\text{l/d} - 500 \mu\text{l/d}$) çalışabilme kabiliyetlerinin olamaması mekanik pompa tasarımı seçimini gerektirmiştir. Sistemde enjektör iğnesi kullanımına devam edilmesinde bir sakınca görülmemiştir.

Fonksiyon strüktürü ışığında hazneye doldurulan grafeni enjektör iğnesine doğru itecek bir piston tasarımı yapılmasına karar verilmiştir. Bu tasarımda kullanılacak DC motorların hızları 30 d/d, 10d/d, 2 d/d gibi düşük devirler olsa da yeterli seviyede olmadığı öngörülmüş ve hız düşürücü bir mekanizma kullanılması düşünülmüştür. Bu mekanizma sayesinde dönme hızı düşürülmüştür. Ancak pistonun lineer hareketini sağlayabilme açısından dönme hareketini lineer harekete dönüştürmek gerekmiştir. Bu gereksinim doğrultusunda basit bir hareket vidası prensibi kullanılmasına karar verilmiştir. Akışı verbal olarak tanımlamak gerekirse; güç kaynağından alınan enerji, motoru çalıştırır ve motor dönme hareketi yapmaya başlar, yeterli devre inebilmek için bir devir düşürücü mekanizma kullanılır ve bu devir düşürücü mekanizmanın çıkış mili hareket vidasının civatası olarak tespit edilir. Grafenin bulunduğu hazne, hareket vidasının somunu olarak tespit edilen piston ile sıkıştırılır. Hareket vidasının civatası dönme hareketini gerçekleştirdiğinde aksenal dönme hareketi serbestliği kısıtlanan piston lineer hareket etmiş olur. Böylece piston ve hazne arasında sıkışan grafen enjektör ucundan çıkmaya zorlanır. Yapılan bu sentezde boyutsuz olarak tasarım elemanları belirlenmiştir. Bu süreçte

EK-A Şekil A.1, Şekil A.2 ve Şekil A.3'te bulunan parametreler mümkün olduğunca dikkate alınmıştır. Sistemin ilk modeli Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4.5 : İlk model tasarım.

4.1.4 Faz III, fonksiyon strüktürünün maddesel ve geometrik özelliklerinin tespiti

Konstrüksiyon sistematığının niceliksel kısmı olan Faz III sürecinde hesaba dayalı 'algoritmik faaliyetlerin' yanısıra tecrübeye ve sezgiye dayalı, hesap edilemeyen veya hesap edilmesine gerek duyulmayan 'heuristik faaliyetler' de mevcuttur. Konstrüksiyon sistematığının son adımı olan bu fazda kullanılması belirlenen sistemlerin tek tek hesaplamaları yapılır, hesaba gerek duyulmayan parametrelerin büyüklükleri sezgisel olarak belirlenir ve teknik resimleri çizilir. Teknik resmi çizilen bir teknik yapıt artık nihai aşamasına ulaşmış, imalata hazır hale gelmiş bulunmaktadır.

Grafen oksit lif eğirme sistemi bir bütün olarak düşünüldüğünde fonksiyonu yerine getirecek her elemanın giriş ve çıkış büyüklüğü bir diğer elemanın giriş veya çıkış büyüklüğü olacağından, sistem elemanları arasında çok parametrelili bir fonksiyonun kurulması uygun görülmüştür.

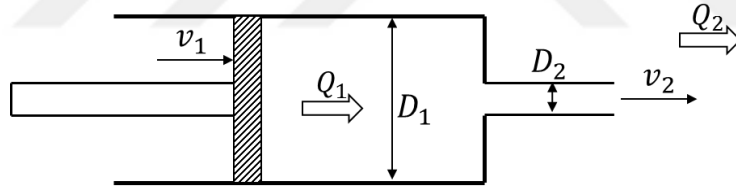
Sistem elemanları akış sırasına göre güç ünitesi, DC motor, redüktör, hareket vidası, grafen haznesi ve enjektör iğnesi olarak sıralanabilir.

Grafenin enjektör iğnesinden istenen debide akışını sağlayabilmek için, grafen haznesinin boyutları ve pistonun lineer hızı bilinmelidir. Pistonun lineer hızı ise hareket vidasının dönme hızı ve hareket vidasının hatvesinin belirlenmesiyle

hesaplanabilir. Redüktörün çıkış mili hareket vidası olduğundan, seçilecek olan DC motor ve redüktörün dönme hızları hareket vidasının dönme hızının elde edilmesini sağlayacaktır.

Çizelge 4.2 : Sistem parametreleri.

Fonksiyon parametresi	Birim	Parametre tanımı
Q_1	$[\mu\text{l/s}] - [\text{mm}^3/\text{s}]$	Grafen haznesi giriş hacimsel debisi
Q_2	$[\mu\text{l/s}] - [\text{mm}^3/\text{s}]$	Enjektör iğnesi ucu çıkış hacimsel debisi
D_1	$[\text{mm}]$	Grafen haznesi iç çapı
D_2	$[\text{mm}]$	Enjektör iğnesi iç çapı
A_1	$[\text{mm}^2]$	Grafen haznesi kesit alanı
A_2	$[\text{mm}^2]$	Enjektör iğnesi kesit alanı
v_1	$[\text{mm/s}]$	Grafen haznesi piston hızı
v_2	$[\text{mm/s}]$	Enjektör iğnesi ucu grafen çıkış hızı
n_1	$[\text{d/d}]$	Motor devir sayısı
n_2	$[\text{d/d}]$	Redüktör çıkış devir sayısı
i		Redüktör çevrim oranı
h	$[\text{mm}]$	Vida mekanizması hatvesi
V_{hazne}	$[\text{mm}^3]$	Grafen haznesi hacmi
H_{hazne}	$[\text{mm}]$	Grafen hazne yüksekliği



Şekil 4.6 : Grafen haznesi parametreleri.

Sıvıların sıkıştırılmaz olduğu kabulü yapıldığında, grafen haznesi giriş debisi, enjektör ucu çıkış debisine eşittir. Böylece aşağıdaki eşitlikler elde edilebilir.

$$Q_1 = Q_2 \quad (4.1)$$

$$Q_1 = A_1 \cdot v_1 \quad (4.2)$$

$$Q_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot v_1 \quad (4.3)$$

$$n_1 = n_2 \cdot i \quad (4.4)$$

$$Q_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{n_1}{i} \cdot \frac{1}{60} \cdot h = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot v_2 = Q_2 \quad (4.5)$$

Bu eşitliklerde istekler listesinde yer alan $Q_1 = 400 \mu l/d$ bilinen tek parametredir. Diğer parametreler ödevi yerine getirecek elemanların seçimine bağlı olarak değişkenlik göstermektedirler.

4.1.4.1 Sistem elemanlarının seçimi ve boyutlandırılması

Giriş debisi $Q_1 = 400 \mu l/d = 6,67 \mu l/s$ değerini sağlamak için A_1 ve v_1 değerlerinin seçimlerinin yapılması gerekmiştir. Burada mevcut olan debi miktarı gerçekten çok küçük bir değer olduğundan A_1 ve v_1 değerlerinin de küçük olması gerekmiştir. Ancak A_1 değeri grafen haznesi hacminin bir çarpanı olduğundan ($V_{hazne} = A_1 \cdot H_{hazne}$) hacmin diğer parametresi olan H_{hazne} 'nin alabileceği mantıklı değer aralıklarında seçim yapılmasına dikkat edilmiştir. Yapılan iterasyonlar sonucunda;

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \quad (4.6)$$

eşitliğinde $D_1 = 40 \text{ mm}$ seçilmiştir. Bu seçim yapılırken kullanılacak standart piston keçe çapları göz önünde bulundurulmuştur. Bu durumda $v_1 = 0,0053 \text{ mm/s}$ olarak hesaplanmıştır.

$$V_{hazne} = A_1 \cdot H_{hazne} \quad (4.7)$$

eşitliğinde $A_1 = 1256 \text{ mm}^2$ olduğunda $V_{hazne} = 150 \text{ ml}$ hacmi sağlaması için işlevsel $H_{hazne} = 120 \text{ mm}$ olarak hesaplanmıştır. Böylece grafen haznesinin işlevi sağlayacak boyutları belirlenmiş olur.

İstenen $Q_1 = 400 \mu l/d = 6,67 \mu l/s$ değerini sağlamak için belirlenmesi gereken diğer parametreler; motor devir sayısı n_1 , redüktör çevrim oranı i ve hareket vidası hatvesi h 'dir.

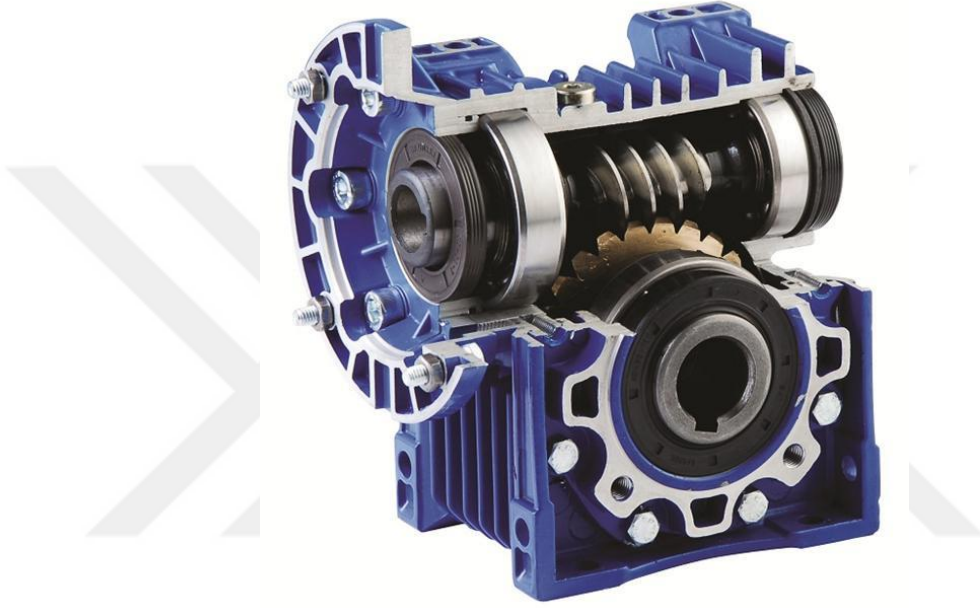
Tasarımı yapılan grafen oksit lif eğirme cihazı ile istekler listesinde verilen aralıklarda debiler elde edebilmek amacıyla giriş parametrelerinin değiştirilebilir olması istenmektedir. Bu durumda redüktör çevrim oranı ve hareket vidası hatvesi sabit bir değer seçilirse, tek giriş değişkeni DC motorun devir sayısı olacak şekilde tasarıma devam edilmiştir. Yapılan iterasyonlarda hareket vidası hatvesi 2 mm olarak seçilip redüktör çevrim oranı 100 kabul edilirse;

$$Q_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \frac{n_1}{i} \cdot \frac{1}{60} \cdot h \quad (4.8)$$

eşitliğindeki debi artık sadece motor devir sayısının bir fonksiyonu olacaktır.

Redüktör seçimi

Piyasadaki ürün yelpazesi göz önüne alındığında 100 çevrim oranına sahip bir redüktör en yaygın sonsuz vida mekanizması olarak karşımıza çıkar.



Şekil 4.7 : Sonsuz vida mekanizması.

Sonsuz vida milinin her bir turu, çarkın taksimatı kadar dönme hareketi yapmasını sağlar. Bu mekanizmanın en büyük avantajı yüksek çevrim oranlarına sahip olmasıdır. Her ne kadar sonsuz vida mekanizmalarının verimleri düşük olsa da momentini,

$$M_{giriş} = i \cdot \eta \cdot M_{çıkış} \quad (4.9)$$

eşitliğine göre arttıracığından, sistem için yeterli momenti sağlayacağı öngörülmüştür.

Motor seçimi

Eşitlik 4.8'de seçilen değerler yerine konursa,

$$6,67 = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} \cdot \frac{n_1}{100} \cdot \frac{1}{60} \cdot 2 \quad (4.9)$$

motor devir sayısı $n_1 = 15,92 \text{ d/d}$ bulunur. Bu devir sayısı adım motorlar ile kolaylıkla sağlanabilir. Ancak adım motorları bu tasarım için lif çapında süreksizliğe sebep olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu tip motor kullanılmamıştır. Bunun yerine piyasadan kolayca tedarik edilebilen, ekonomik, genel anlamda ekstra bir sürücüye ihtiyaç duyulmayan DC motor tercih edilmiştir. Ancak DC motor standart devir değerleri 2, 4, 5, 10, 30, 50 d/d ve 12, 24 V'luk değerlerdir. Bu durumda DC motorun devir sayısının ayarlanabilir olması gerektiği görülmüştür. Seçilen 24 V 30 d/d'lık DC motorun kullanım anında voltajının değiştirilerek devir sayısı ayarının yapılmasında hiçbir sakınca görülmemiştir. Voltajın düşürülmesi gücün yani momentin düşeceği anlamına gelse de sistemde kullanılan yüksek çevrim oranlı redüktör ve hareket vidasının dönme hareketini ilerleme hareketine çevirmesi bir hayli yüksek moment ve kuvvetlere ulaşılmasını sağlamaktadır.

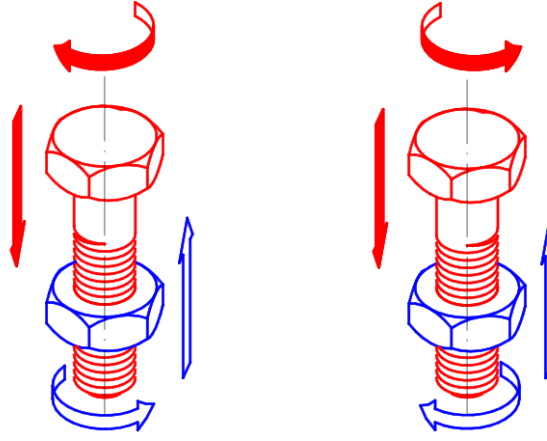
Çizelge 4.3 : DC motor ölçümlerden elde edilen voltaj ve devir sayısı değerleri.

Voltaj	d/d	Voltaj	d/d	Voltaj	d/d
2	2,2	11	15,8	17,5	26,1
5	6,5	12,5	17,6	20	28
7,5	10,5	15	23,1	24	32
10	14,6	16	24,0	30	50

Her ne kadar DC motorun voltaj değerinin değiştirilerek devir sayısı değişiklikleri ölçümler sonucunda elde edilmiş olsa da, bu ilişki motorun karakteristiği ve kullanım süresine bağlı olarak değişebilmektedir. Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere DC motor voltajı bir güç ünitesi yardımı ile 11V değerine ayarlandığında DC motor devir sayısı tasarımda istenen devir sayısına yakınsamaktadır.

Hareket Vidası ve Grafen Haznesi İmalatı

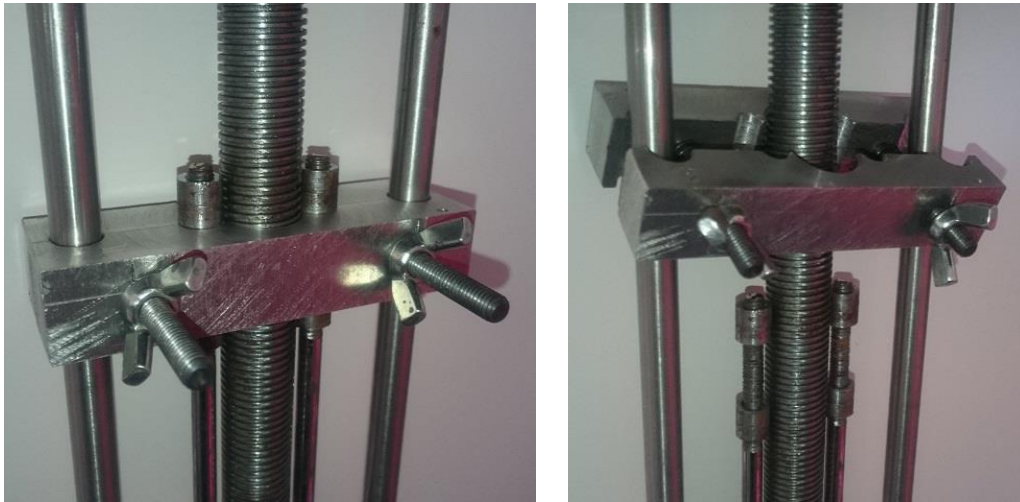
Hareket vidalarında, vida miline yalnızca dönme serbestliği verildiğinde ve somunun dönmesi engellendiğinde, somun vida mili ekseninde lineer hareket eder. Bu prensip sayesinde dönme hareketinden lineer harekete geçiş sağlanır. Somunun dönmesi engellendiğinde, sağ helis olarak imal edilen hareket vidası saat yönünün tersine döndürülürse, somun vida başından uzaklaşır.



Şekil 4.8 : Sırasıyla sağ ve sol helis yönlü civataların dönme yönüne göre aksenal hareketleri (Kutay, 2010).

Grafen oksit lif eğirme cihazı tasarımında, kare profile ve 2 mm hatveye sahip hareket vidası 150 mm uzunluğunda ve paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir.

Hareket vidasının somunu, daha önce hesaplanan lineer hızlarda hareket edeceğinden ilerleme görsel olarak farkedilmeyecek kadar yavaştır. Belli bir mesafe kateden vida somununun eski konumuna dönebilmesi için motor ters yönde çalıştırılmalıdır. Ancak motor devir sayısı tasarım açısından düşük seçildiğinden, somunun eski konumuna dönmesi uzun süreler alacaktır. Bu nedenle somunun vida milinden bağımsız bir şekilde ilk konumuna getirilebilecek bir tasarım yapılmıştır. Aynı zamanda ilerleme hareketini pistonla iletmesi için hareket vidası somunu pistonla bağlanmıştır ve dönme hareketinin engellenmesi için de iskeleye sabitlenen saplamalara yataklanmıştır.



Şekil 4.9 : Hareket vidası somunu ve saplamaların bağlantısı.

Hareket vidasının somununa bağlanan pistonu, grafen haznesi ile arasındaki sızdırmazlığı sağlayabilmesi açısından 40 mm çapında çift yönlü çalışabilen piston keçesi montajı yapılmıştır.



Şekil 4.10 : Piston keçesi ve piston.

İç çapı ve işlevsel yüksekliği (pistonun yüksekliği grafen haznesinin yüksekliğinden düşülerek, grafen haznesinin grafen doldurulabilen işlevsel yüksekliği elde edilir) belli olan grafen haznesinin iskeleye montajı ve enjektör iğnesinin grafen haznesine montajı için çeşitli çözümler düşünülmüştür. Bu çözümlerde basitlik ve belirlilik ilkeleri kullanılmaya özen gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : İlk grafen haznesi tasarımı ve iyileştirilmiş hali.

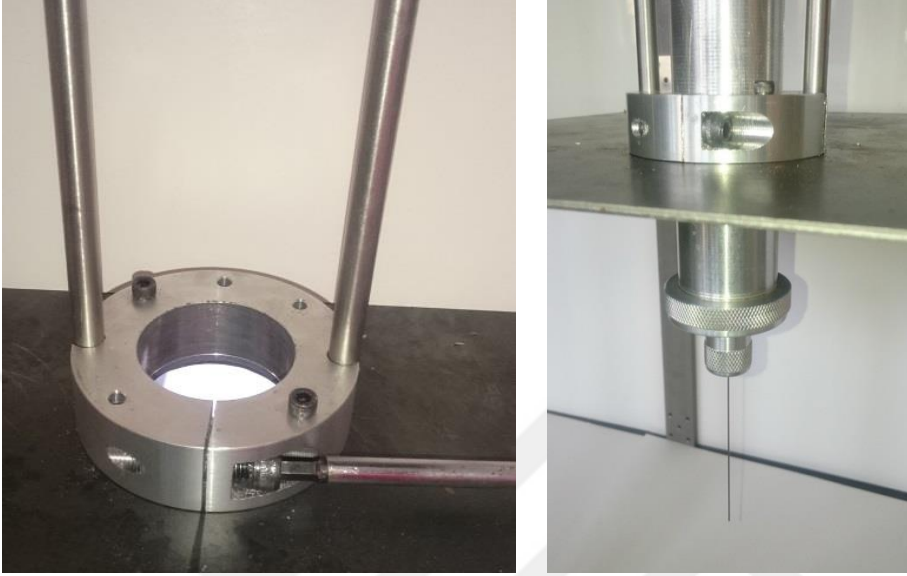
Basitlik ilkesi gereğince tasarım daha basit, imalatı ve montajı daha kolay hale getirilmiştir. Ancak parça montajı ve imalatı kolaylaştırma adına belirsizliğe gidilmemiş, merkezleme pimlerinin kullanımına gerek kalmayacak kadar belirli bir tasarım halini almıştır.

Grafen haznesi üç parçadan meydana gelmektedir. İlk parça hazne gövdesi olup alt kısmına belirli bir yükseklikte dış açılmıştır. İkinci parça kapak görevi görerek iç yüzeyine açılan dişler vasıtasıyla gövdeye monte edilir. Bu kapak aynı zamanda enjektör iğnesinin montajını da sağlayacak formda tasarlanmıştır. Üçüncü parça olan enjektör tutucunun iç yüzeyine ve hazne kapağının ucundaki dış yüzeye diş açılmıştır. Enjektör iğnesi, hazne kapağı ile enjektör tutucu arasında konarak parçalar sıkılır.



Şekil 4.12 : Grafen haznesi parçaları ve piston.

Grafen haznesi ise bir kelepçe yardımıyla gövdeye sabitlenir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, sonsuz vida mekanizmasının çıkış mili olan hareket vidasının ekseni ile grafen haznesinin merkezlenmesidir. Ancak seçilmiş olan piston keçesinin elastik yapısı sayesinde ufak merkez kaçıklıkları kendiliğinden tolere edilir.

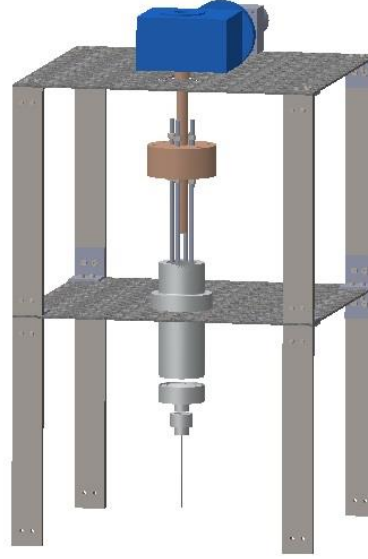


Şekil 4.13 : Grafen haznesi kelepçesi.

Sistemdeki parçalar kolay işlenebilmesi ve grafen ile herhangi bir tepkimeye girmemesi göz önüne alındığından 6061 serisi alüminyum kullanılarak imal edilmiştir. Parçaların tasarımlarında torna tezgahında kolay imal edilebilmesi dikkate alınmıştır.

Yardımcı sistem elemanlarının tasarımı

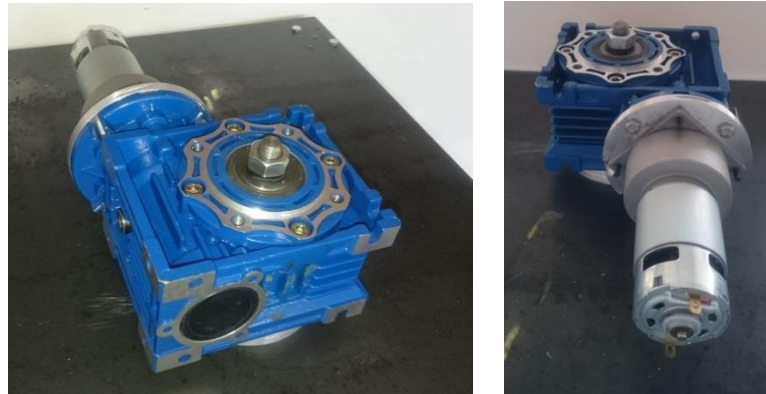
Yardımcı sistem elemanları, sistemin ana elemanlarını bir arada tutan parçalardır. Bu parçaların tasarımın ödevini yerine getirmesinde önemli bir yeri yoktur. Bu sebeple tasarımları aşamasında niteliksel sentez uygulanmış, mümkün olduğunca basit çözümler üretilmiştir. Örneğin motor redüktöre bir flanşla bağlanmış, sonsuz vida mekanizması ile grafen haznesi arasındaki mesafe ve grafen haznesi ile koagülasyon banyosu arasındaki mesafeler dikkate alınarak iskele tasarımı yapılmıştır. Bu iskele tasarımında mümkün olduğunca az sehim yapacak kalınlıkta iki adet çelik sac, eş merkezli olarak delinip motorun ve grafen haznesinin saclara montajı gerçekleştirilecek şekilde boyutlandırılmıştır. Tasarımın bu aşaması heuristik faaliyet olarak değerlendirilebilir ve düzeneğin kullanım kolaylığına göre boyutlarda değişikliğe gidilebilir. Böylece tasarımın iyileştirilmesi için açık bir kapı bırakılmış olur.



Şekil 4.14 : Sistemin ilk tasarımı.

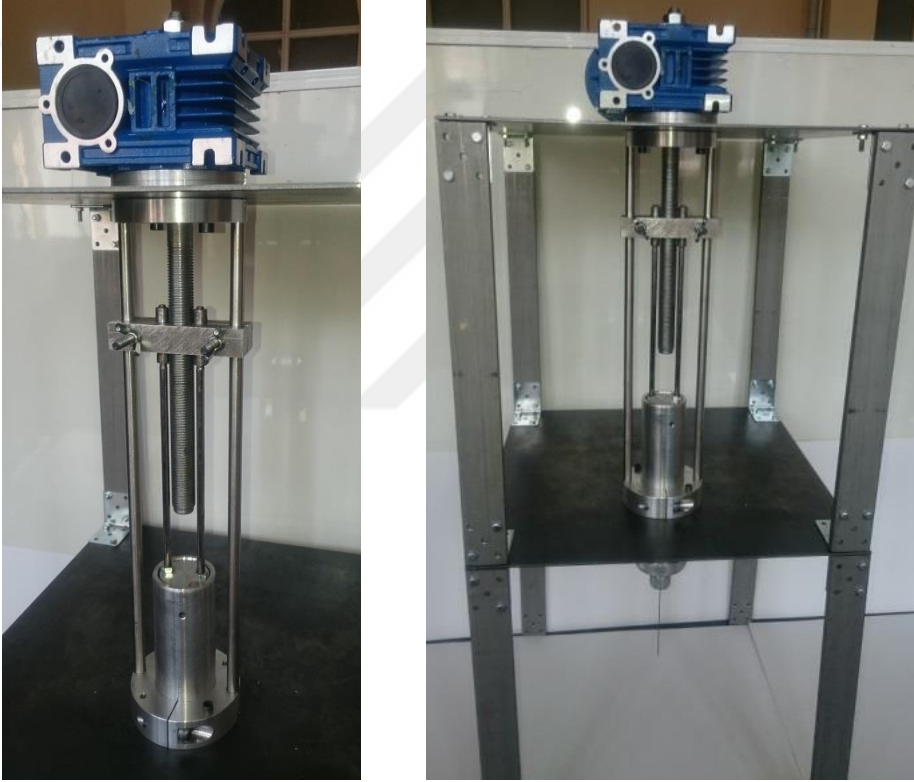
4.1.4.2 Sistemin montajı

Sistemin montajı elemanları birbirine istenen aralıklarda ve konumlarda bağlanmasıyla meydana gelmiştir. Öncelikle ilk taslakta düşünülen sıra korunmuş ve gerekli konumlandırmalar yapılmıştır. Sistemin taşınacağı iskele 400x400'lük alt ve üst sac olacak şekilde iki kat olarak düşünülmüştür. Bu saclar aralarına dikdörtgen profil 400 mm uzunluğunda paslanmaz çelik ayaklar gelecek şekilde L parçalar ve cıvatalar yardımıyla bağlanmış ve sistemin taşıyıcı gövdesinin montajı tamamlanmıştır. İskelenin üst sacına bir flanş yardımıyla sonsuz vida mekanizması bağlanmıştır daha sonra motor yine bir flanş yardımıyla redüktöre bağlanmış ve hareket cıvatası sonsuz vida mekanizmasının çıkış çarkına bir feder ve cıvata yardımıyla yerleştirilmiştir.



Şekil 4.15 : Motorun redüktöre montajı ve iskeledeki konumu.

Ardından hareket civatası somununun aksenal dönme serbestliğini kısıtlamak amacıyla iki adet 400 mm uzunluğunda ve 7 mm çapında saplama birbirlerinden 100 mm mesafeyle paralel bir şekilde saclar arasına flanşlar yardımıyla bağlanmışlardır. Sistemin alt kısmına ise flanş görünümlü bir kelepçe bağlanmış bu sayede grafen haznesi sıkıştırılarak piston hareketinden dolayı hazne ilerlemesine engel olunmuştur. Hareket civatası ve saplama referansında hareket civatası somunu sisteme monte edilmiştir. Bu arada grafen haznesine hareket civatası somununa bağlı olacak piston ve bağlama elemanları yerleştirilir. 3 parçadan oluşan grafen haznesi sırasıyla kapatılıp enjektör iğnesi yerleştirilir ve iskelenin alt kısmından önce piston ucu geçecek şekilde monte edilip kelepçe ile sıkılır.



Şekil 4.16 : Tasarımın montaj hali.

5. TASARIMDA DENEY YAPILIŞI

Montajı yapılan tasarımda deneyler deney malzemesinin hazırlanmasıyla başlar. Grafen oksit üretildikten sonra belli bir karışımda olacak şekilde belli miktarda grafene belli miktarda saf su eklenerek grafen oksit karışımı hazırlanır. Karışım ultrasonik banyoya konularak grafen mümkün olduğunca homojen hale getirilmeye ve karışım esnasında kurduğu fiziksel bağlardan koparılmaya çalışılır. Ultrasonik banyoya konulmaması durumunda grafen çözeltisinde çökeltmeler meydana gelmekte ve topaklaşmalarla karşılaşılmaktadır. Bu sebeple ultrasonik banyo büyük öneme sahiptir. Şekil 5.1’de kullanılan ultrasonik banyo gösterilmiştir.

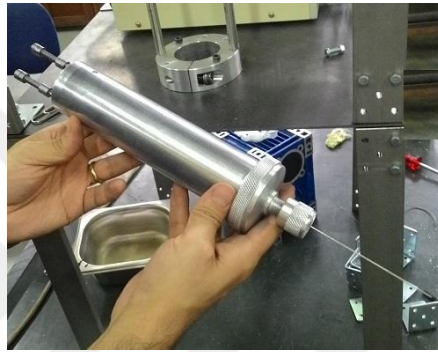


Şekil 5.1 : Ultrasonik banyo.

Ultrasonik banyodan alınan grafen dispersiyonu pistonu içine geçirilmiş grafen haznesine dikkatlice doldurulur. Dolum esnasında hazne içerisinde boşluk kalmamasına dikkat edilir. Hazne önce hazne kapağıyla kapatılır daha sonra enjektör iğnesi yerleştirilir ve enjektör tutucu kapatılarak montaja hazır hale getirilir. Şekil 5.2’de grafen haznesi kısmının montaj aşamaları ve Şekil 5.3’te grafen haznesinin son montaj durumu verilmiştir. Ardından iskelenin alt kısmından grafen haznesi kelepçenin içine yerleştirilir. Hareket civatası somunu, piston bağlantı çubukları ve hareket civatası birbirlerine kelebek civatalar yardımıyla monte edilir. Enjektör iğnesinin altına, iğne sıvının içine batacak şekilde katılma havuzu yerleştirilir. Güç ünitesi motora bağlandıktan sonra akım verilir ve ayarlanan voltajda sistem çalışmaya başlar.

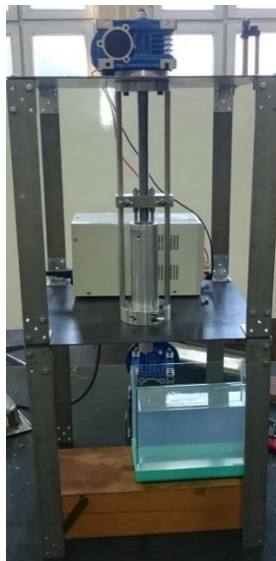


Şekil 5.2 : Grafen haznesinin doldurulması.



Şekil 5.3 : Grafen haznesinin montaj hali.

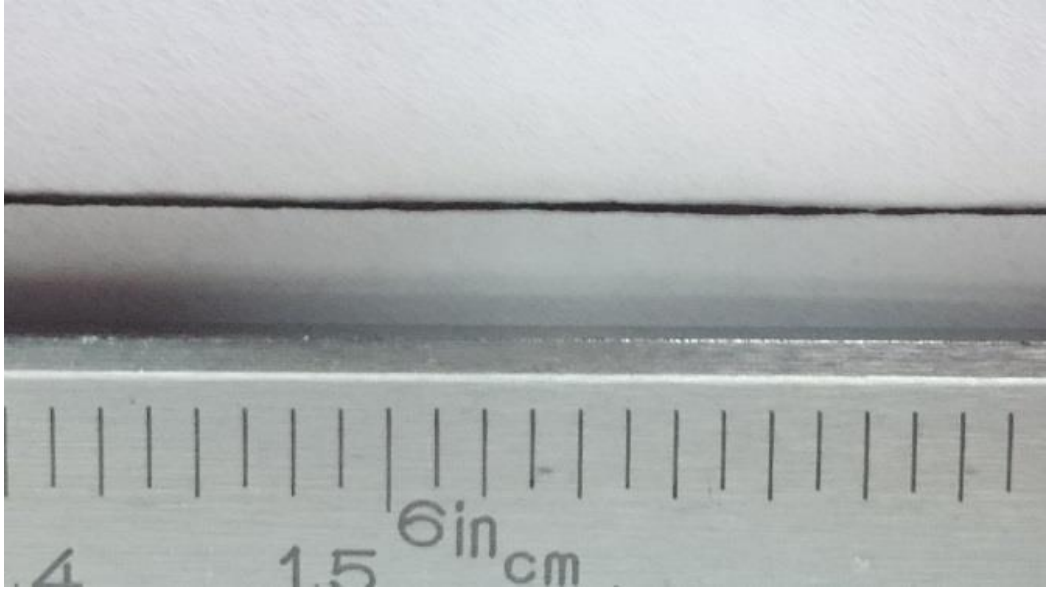
Şekil 5.4'te sistemin son montaj hali yer almaktadır. Bu aşamada çalışan sistemden çıkan ürünler de gösterilmiştir. Dikey sistemden çıkan grafen katılaşma banyosunun derin olmasının verdiği avantaj ile aşağı doğru herhangi bir kuvvete maruz kalmadan akar, daha sonra bir hafif gerginlik oluşturacak şekilde yatay olarak grafen toplanır.



Şekil 5.4 : Koagülasyon banyosu.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

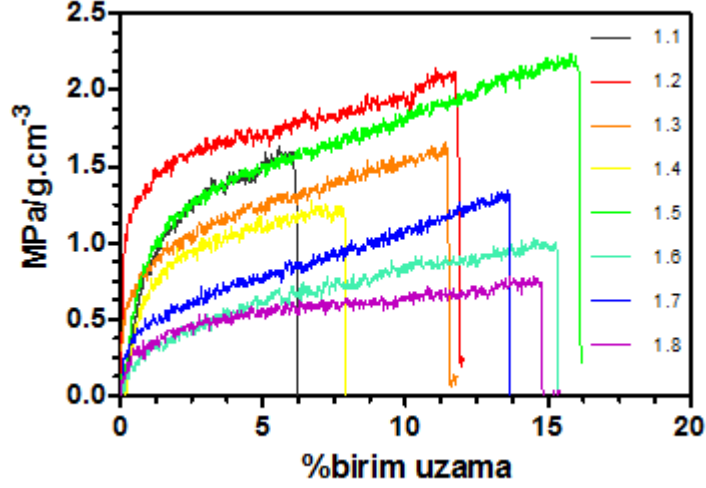
Grafen oksit lif eğirme cihazı tasarlanmış, imal edildikten sonra ise deneylerde kullanılmıştır. Kullanım esnasında montaj ile alakalı herhangi bir problemle karşılaşılmamıştır. Cihaz belirlenen voltaj değeri olan 11V'ta çalıştırılmıştır. Ancak grafenin çıkış hızı beklenilenin altında seyrettiğinden voltaj değeri 15V'lara kadar yükseltilmiştir. Bu farkın malzemenin newtonien olmadığı için ortaya çıktığı düşünülmüştür. Cihaz tasarımında grafen malzemesi newtonienmiş gibi düşünülüp hesaplar yapılmıştır. Ufak bir voltaj değişikliği ile bu hatanın giderilmesi mümkün olmuştur. Bu koşullar altında alınan grafen lifleri çapta süreklilik sağlamışlardır.



Şekil 6.1 : Grafen lifi.

Ortalama çap değerleri ölçüldüğünde farklı iki deney setinden sırasıyla 196 μm ve 212 μm çaplar elde edilmiştir. Ortalama çapların birbirlerine bu denli yakın olması sistemin standart bir çalışma yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

Liflerle alakalı mukavemet ölçümleri yapıldığında yeni sistemle elde edilen sonuçlar Şekil 6.2'deki gibidir.



Şekil 6.2 : Özgül gerilme – birim uzama grafiği.

Bu sonuçlar ışığında enjektör pompalı tasarımla elde edilen sonuçlar (Şekil 3.18) ve yeni sistemle elde edilen sonuçlar (Şekil 6.2) arasında bir karşılaştırma yapıldığında, yeni tasarlanan sistemin yüzde birim uzama açısından daha iyi sonuçlar verdiği ancak mukavemet açısından geride kaldığı söylenebilir. Sistem değerlendirmesinde grafen liflerinin mukavemet açısından iyileştirilmesi amacıyla daha fazla kontrollü deneye ihtiyaç vardır. Bazı sonucu etkileyen faktörler; grafen malzemesinin üretildikten sonra bekleme süresi, ultrasonik banyoda oluşan ısının grafen malzemesini olumsuz etkilemesi, alınan liflerin metanol banyosunda bekleme süresi, ayrıca metanol banyosundan alındıktan sonra çekme testi için geçen süre şeklinde sıralanabilir. Bu olumsuz etkenlerin her iki sistem için kontrollü bir şekilde azaltılması durumunda daha objektif bir karşılaştırma yapmak mümkün olur.

Tasarlanan sistemin mevcut durumu, istekler listesindeki kriterlerini karşılamaktadır. Deneylerin çok uzun süre aldığı düşünülürse, tüm bu zamanın operatör kontrolü altında geçirilecek olması tasarımın negatif yönüdür. Tasarıma eklenecek yenilikler ile sistem iyileştirilebilir. Bunlardan biri pistonun hazne içerisinde katetmesi istenilen mesafeye konulacak switchlerdir. Bu sayede piston belli bir konuma geldiğinde switch'e temas edecek ve sistemin otomatik olarak durdurulması veya başlatılması sağlanacaktır. Böylece üretilen liflerin üretim aşamasında kopmaması halinde sistem operatörsüz olarak çalışabilir.

Tasarımın bir diğer negatif yönü ise, katılma banyosunda biriken grafen liflerin bu banyodan çıkarılması ve toplanması aşamasıdır. Bu durumlarda da sistem operatör bağımlı olarak çalışmaktadır. Liflerin katılma banyosu içerisinde birikmeye

başlaması veya kopması durumunda katılma banyosu içerisine konulacak bir konveyör bant ile grafen lifleri operatörden bağımsız olacak şekilde katılma banyosundan çıkarılıp toplama tamburuna veya başka banyolara yönlendirilebilir.





KAYNAKLAR

- Akkurt, M.** (2012). *Makine Elemanları*. (Birinci baskı, Birinci Cilt, sf.287-381). İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Chinese Academy of Sciences, Material Science, Institute of Metal Research.** (2015). *Fabrication and application explorations of graphene materials* [PowerPoint slides]. Retrieved from <https://www.iumurshq.org/index.php/component/attachments/download/88>
- Gupta, V.B., Kothari, V. K.** (1997). *Manufactured Fibre Technology*. Delhi, India, Springer-Science.
- Ilankeeran, P. K., Mohite, P. M., Kamle, S.** (2012). Axial Tensile Testing of Single Fibres. *Modern Mechanical Engineering*, 2, 151 – 156 DOI:10.4236/mme.2012.24020
- Jalili, R., Aboutalebi, S. H., Izadeh, D. E., Shepherd, R. L., Chen, J., Yamini, S. A., Konstantinov, K., Minett, A. I., Razal, J. M., Wallace, G. G.** (2013). Scalable One-Step Wet-Spinning of Graphene Fibers and Yarns from Liquid Crystalline Dispersions of Graphene Oxide: Towards Multifunctional Textiles. *Advanced Functional Materials*, 23, 5345 – 5354 DOI:10.1002/adfm.201300765
- Kumar, P., Maiti, U. N., Lee, K. E., Kim, S. O.** (2014). Rheological Properties of Graphene Oxide Liquid Crystal. *Elsevier, carbon* 80, 453 – 461 DOI:10.1016/j.carbon.2014.08.085.
- Peplow, M.** (2013). Graphene: The Quest for Supercaarbon. *Nature*, 503, 327 – 329 DOI:10.1038/503327a.
- Temiz, V.,** (2006). *Konstrüksiyon Sistematiği Ders Notları*, İTÜ
- The Royal Swedish Academy of Sciences.** (2010). *Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2010, Graphene*. Kungl. Vetenskaps-Akademien.
- Ulukan, L.,** (1980). *Sistematik Konstrüksiyon Ders Notları*, İTÜ
- Wang, X., Shi, Y.,** (2014). Fabrication Techniques of Graphene Nanostructures, *Nanofabrication and its Application in Renewable Energy* (pp.1-30). Retrieved from; <http://pubs.rsc.org/en/content/chapterhtml/2014/9781782623380-00001?isbn=978-1-78262-338-0#cit94>.
- Xu, Z., Gao, C.** (2014). Graphene in Macroscopic Order: Liquid Crystals and Wet-Spun Fibers. *Accounts of Chemical Research*, 47, 1267 – 1276 DOI:10.1021/ar4002813.

Zhou, G., Pei, S., Li, L., Wang, D., Wang, S., Huang, K., Yin, L., Li, F., Cheng, H. (2014). A Graphene-Pure-Sulfur Sandwich Structure for Ultrafast, Long-Life Lithium-Sulfur Batteries. *Advanced Materials*, 26, 625 – 631 DOI:10.1002/adma.201302877.



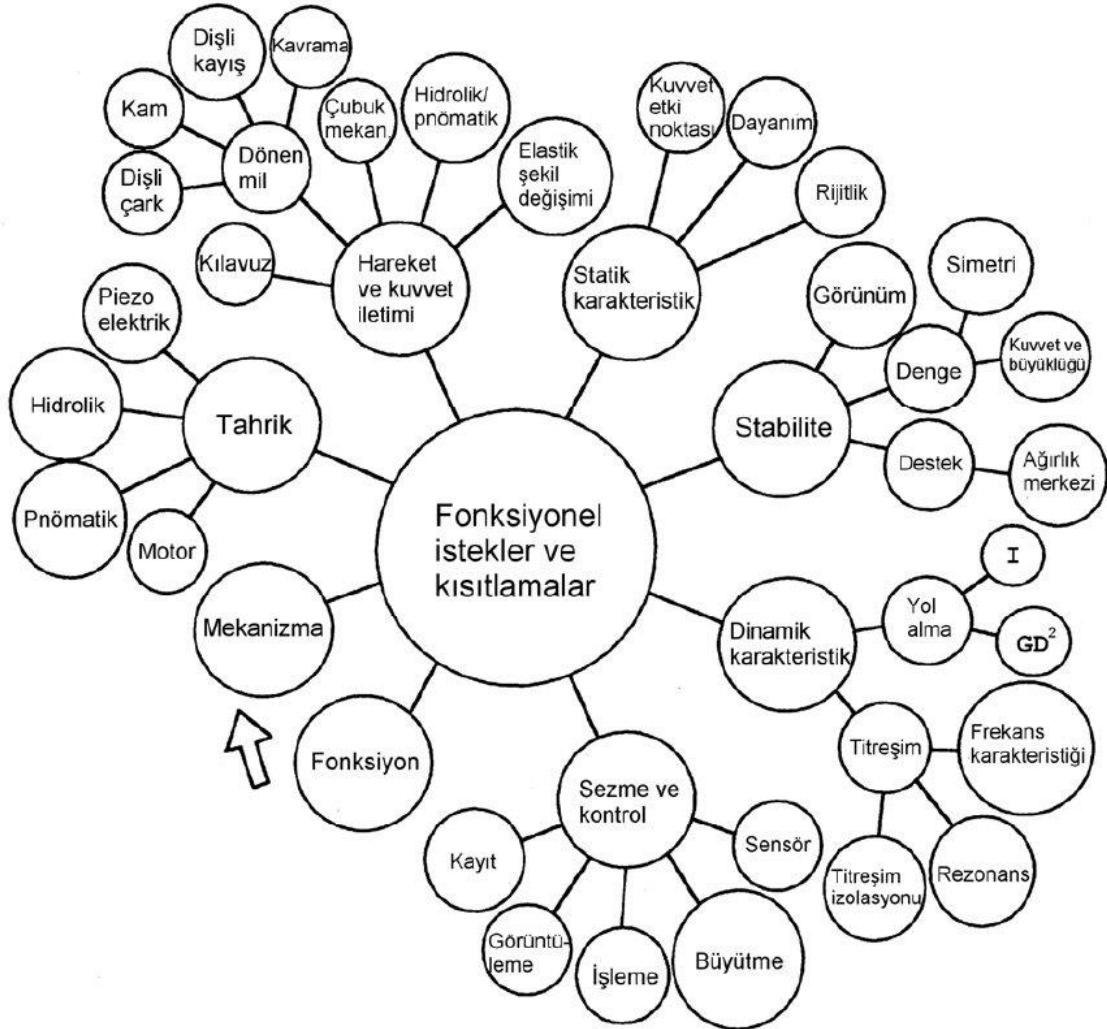
EKLER

EK A: Konstrüksiyon sistematığı şemaları

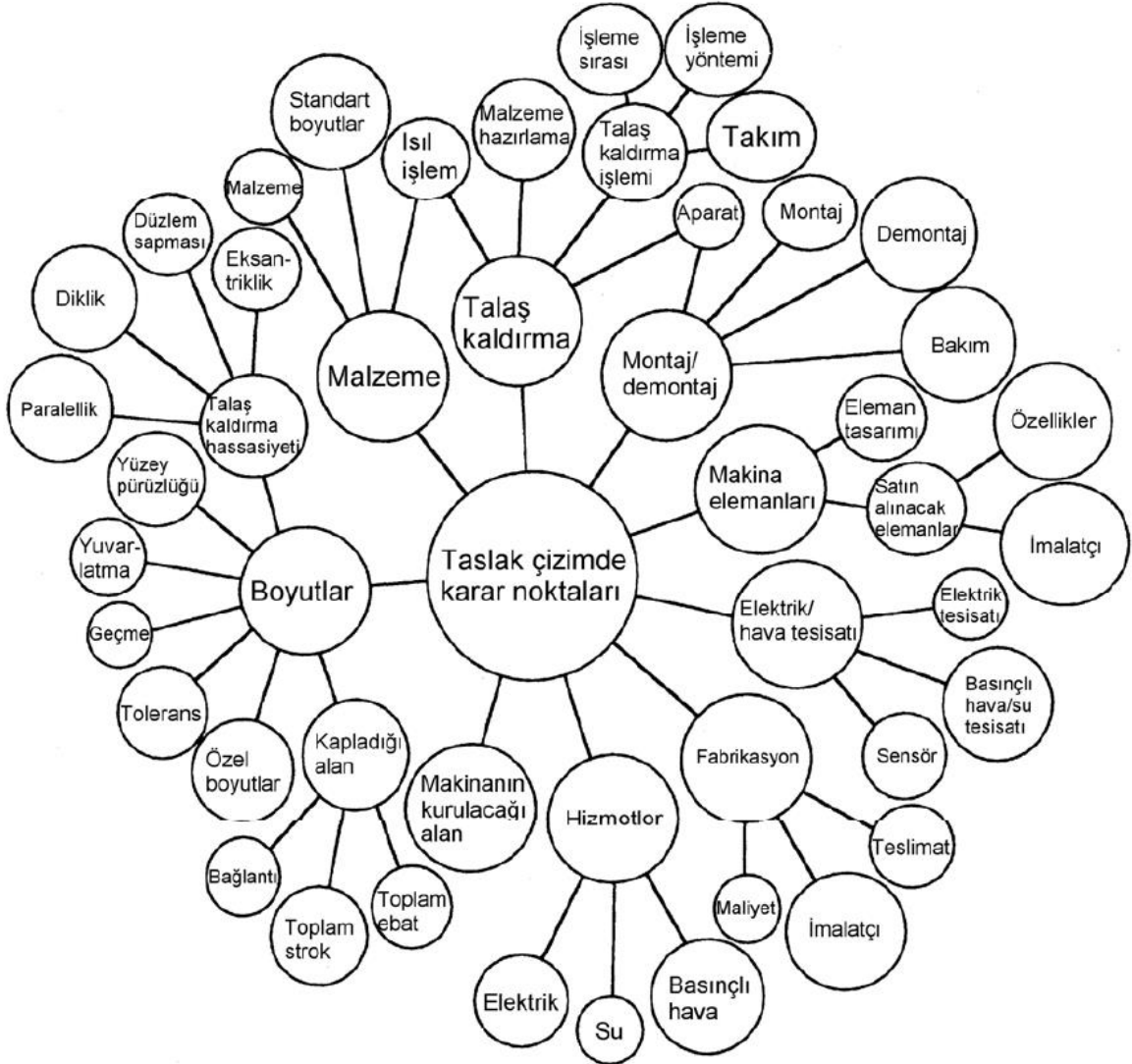
EK B: Teknik resimler



EK A



Şekil A.1 : Konstrüksiyon sistematüğinde fonksiyonel istekler ve kısıtlamalar.



Şekil A.3 : Konstrüksiyon sistematğinde taslak çizimde karar noktaları.

EK B





















ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İsmail Kaya
Doğum Tarihi ve Yeri : 04.05.1988
E-posta : kayaism@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2012-2013 yılları arasında Işık Üniversitesi Makina Mühendisliği Laboratuvarları'nda öğrenci asistanlık yaptı.
- 2013-2014 yılları arasında Işık Üniveristesesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde yarı zamanlı araştırma görevliliği yaptı.
- 2014'ten beri İstanbul Teknik Üniveristesesi Makina Mühendisliği Konstrüksiyon Programı'nda araştırma görevliliğini sürdürmektedir..