

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AVGAMASYA ASFALTİTİNDEN KARBON KÖPÜK ÜRETİMİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim. Müh. Deniz BARAN**

Anabilim Dalı : KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

AVGAMASYA ASFALTİTİNDEN KARBON KÖPÜK ÜRETİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kim. Müh. Deniz BARAN
(506061007)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Haziran 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ekrem EKİNCİ
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Hüsnü ATAKÜL (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. A. Sezai SARAÇ (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu asfaltitlerinden ilk kez karbon köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Basınç, sıcaklık, basınç, boşaltma süresi ve son sıcaklıkta bekleme süresi proses parametreleri olarak seçilmiştir. Çalışmada anılan proses parametrelerinin üretilen karbon köpüklerin yoğunluğuna, dayanımına ve yapısal özelliklerine etkileri de incelenmiştir.

Her şeyden önce tez danışmanım, hocam Prof. Dr. Ekrem EKİNCİ'ye bu çalışmanın her aşamasında göstermiş olduğu samimi, insani ve teknik desteklerinden ve yapmış olduğu teşviklerden ve tavsiyelerden dolayı kendisine teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada bana göstermiş olduğu teknik desteklerinden, akademik ve kişisel tavsiyelerinden dolayı Prof. Dr. M. Ferhat YARDIM'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerinden dolayı Araş. Gör. Ayşenur GÜL'e, karakterizasyon işlemleri sırasında SEM görüntülerinden dolayı teknisyen Işık YAVUZ'a, basma dayanımı ölçümlerindeki yardımlarından dolayı Araş. Gör. Özgür ÇELİK'e teşekkür ederim.

Ayrıca desteklerinden dolayı Araş. Gör. Pelin Demirçivi'ye çalışma arkadaşlarım Gaye DEMİR ve Esra IŞIKSAL'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Son olarak, tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan maddi manevi desteğini ve fedakarlığını esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2008

Deniz BARAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Karbon Elementi	4
2.2. Karbonun Allotropları	5
2.3. Grafitize Olan ve Olamayan Karbon	7
2.4. Karbon Köpük	8
2.4.1. Karbon Köpüğünün Tarihçesi	11
2.4.2. Kullanılan Karbon Köpük Hammaddeleri	12
2.4.2.1. Kömür Tabanlı Karbon Köpük	13
2.4.2.2. Mezofaz Zift Tabanlı Karbon Köpük	16
2.4.2.3. Kömür Katranı ve Petrol Zifti Tabanlı Karbon Köpük	19
2.4.2.4. Fenolik Reçine Tabanlı Karbon Köpük	20
2.4.2.5. Poliakrilonitril (PAN) Tabanlı Karbon Köpük	20
2.4.2.6. Vinilidin Klorit Polimeri Tabanlı Karbon Köpük	21
2.5. Karbon Köpük Üretim Aşamaları	22
2.5.1. Stabilizasyon	22
2.5.2. Karbonizasyon	23
2.5.3. Grafitizasyon	24
2.6. Karbon Köpüğün Uygulama Alanları	24
2.6.1. Isı Alıcılar	26
2.6.2. Zımpara	27
2.6.3. Isı Değiştiriciler	28
2.6.4. Uzay Sanayinde Hafif Ayna ve Roket Motorunda	28

2.6.5. Katalitik Konvertörler	29
2.6.6. Batarya ve Yakıt Pilleri	29
2.6.7. Tıp Alanında	31
2.7. Asfaltit	32
2.7.1. Türkiye’de Asfaltit Rezervleri ve Üretimi	33
2.7.2. Asfaltitin Kullanım Alanları	35
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	37
3.1. Karbon Köpük Üretimi İçin Kullanılan Asfaltitin Karakterizasyonu	37
3.2. Deney Düzenegi	39
3.3. Deneyin Yapılışı	40
3.4. Deneysel Parametrelerin İncelenmesi	45
3.4.1. Basıncın Etkisi	46
3.4.2. Sıcaklığın Etkisi	46
3.4.3. Basınç Boşaltma Süresinin Etkisi	46
3.4.4. Son Sıcaklıkta Bekleme Süresinin Etkisi	46
3.5. Karbon Köpüğün Karakterizasyonunda Kullanılan Ekipmanlar	46
3.5.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	46
3.5.2. Dayanım Testi	47
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	48
4.1. Karbon Köpük Üretiminde Basıncın Etkisi	48
4.2. Karbon Köpük Üretiminde Sıcaklığın Etkisi	54
4.3. Karbon Köpük Üretiminde Basınç Boşaltma Süresinin Etkisi	59
4.4. Karbon Köpük Üretiminde Son Sıcaklıkta Bekleme Süresinin Etkisi	65
4.5. Karbon Köpük Üretiminde Karbonizasyon İşleminin Etkisi	68
5. SONUÇLAR	72
6. ÖNERİLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR	73
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	81

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 ORNL karbon köpüğü deneysel sonuçları ve alüminyum ile karşılaştırılması	10
Tablo 2.2 Farklı hammaddelerden üretilen karbon köpüklerin genel özellikleri	22
Tablo 2.3 Karbon köpüğün uygulama alanları.....	25
Tablo 2.4 Türkiye’de asfaltit rezervleri (Binton).....	34
Tablo 2.5 Şırnak asfaltiti analiz sonuçları.....	34
Tablo 3.1 Asfaltitin kısa analizi sonuçları	38
Tablo 3.2 Asfaltitin elementel analiz sonuçları.....	38
Tablo 3.3 Karbonizasyon işlemi kademeleri.....	45
Tablo 4.1 Optimum parametrelerde üretilmiş köpüğün karbonizasyon öncesi ve sonrası verileri	70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Grafitin yapısı	5
Şekil 2.2	: Elmasın yapısı	6
Şekil 2.3	: Fullerenin yapısı	7
Şekil 2.4	: Karbon köpük görüntüleri	8
Şekil 2.5	: Kömür tabanlı karbon köpüğü	14
Şekil 2.6-a	: Anizotropik köpük üretimi.....	15
Şekil 2.6-b	: İzotropik köpük üretimi..	15
Şekil 2.7-a	: AR mezofaz zift	17
Şekil 2.7-b	: Petrol tabanlı mezofaz zift	17
Şekil 2.8	: Naftalinden üretilmiş AR mezofaz ziftin blok akış diyagramı.....	17
Şekil 2.9	: Mitsubishi AR mezofaz zifti	18
Şekil 2.10	: AR mezofaz zift türevli karbon köpüğü	18
Şekil 2.11-a	: Petrol zifti karbon köpüğü	20
Şekil 2.11-b	: Katran zifti karbon köpüğü	20
Şekil 2.12	: Alüminyum ve karbon köpüğünden yapılmış ısı alıcılar	26
Şekil 2.13	: Karbon köpükten yapılmış ısı alıcı	27
Şekil 2.14	: Karbon köpükten yapılmış zımpara	27
Şekil 2.15	: Karbon köpükten yapılmış ısı değiştirici	28
Şekil 2.16-a	: Karbon köpükten yapılmış hafif ayna	29
Şekil 2.16-b	: Karbon köpükten yapılmış roket motoru	29
Şekil 2.17	: Karbon köpükten yapılmış katalitik konvertörler	29
Şekil 2.18	: Karbon köpükten yapılan bataryalar	30
Şekil 2.19	: Yakıt pillerinin yapısı	31
Şekil 2.20-a	: Karbon köpük yapısı	31
Şekil 2.20-b	: Kemik yapısı	31
Şekil 2.21	: Petrolden asfaltik maddelerin oluşum evresi	33
Şekil 3.1	: Asfaltit	37
Şekil 3.2	: Avgamasya asfaltitinin TGA sıcaklık-kütle kaybı grafiği....	39
Şekil 3.3	: Reaktör	40
Şekil 3.4	: Kaskat kontrol sistemi	40
Şekil 3.5	: Şırnak asfaltitinin tozlaştırılmış hali.....	41
Şekil 3.6	: Karbon köpüğün ürettiği alüminyum kap	41
Şekil 3.7	: Isıtıcı ve reaktör sıcaklıklarının zamanla değişimi	42
Şekil 3.8	: Üretilen karbon köpük	43
Şekil 3.9	: Karbonizasyon fırını.....	44
Şekil 3.10	: Karbonizasyon işlemi sıcaklık eğrisi	45
Şekil 4.1	: Farklı basınçlar sonucunda üretilmiş köpüklerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri	49
Şekil 4.2	: Karbon köpüğün yapısının analizinde kullanılan terimler ...	51
Şekil 4.3	: Farklı basınçlarda üretilmiş karbon köpüklerin yoğunlukları	53

Şekil 4.4	: Farklı basınçlarda üretilmiş karbon köpüklerin dayanımları.	53
Şekil 4.5	: Farklı sıcaklıklar sonucunda üretilmiş köpüklerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri	55
Şekil 4.6	: Farklı sıcaklıklarda üretilmiş karbon köpüklerin yoğunlukları.....	58
Şekil 4.7	: Farklı sıcaklıklarda üretilmiş karbon köpüklerin dayanımları.....	59
Şekil 4.8	: Farklı basınç boşaltma sürelerinde üretilmiş köpüklerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	61
Şekil 4.9	: Farklı basınç boşaltma sürelerinde üretilmiş köpüklerin yoğunlukları.....	63
Şekil 4.10	: Farklı basınç boşaltma sürelerinde üretilmiş köpüklerin dayanımları.....	64
Şekil 4.11	: Son sıcaklıkta farklı bekleme sürelerinde üretilmiş köpüklerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri.....	66
Şekil 4.12	: Farklı bekleme sürelerinde üretilmiş köpüklerin yoğunlukları.....	67
Şekil 4.13	: Farklı bekleme sürelerinde üretilmiş köpüklerin dayanımları.....	68
Şekil 4.14	: Optimum parametrelerde üretilen köpüğün karbonizasyon öncesi ve sonrası taramalı elektron mikroskobu görüntüleri..	69

AVGAMASYA ASFALTİTİNDEN KARBON KÖPÜK ÜRETİMİ

ÖZET

Gelişen endüstri ve teknoloji ile birlikte yüksek dayanımlı, hafif, düşük yoğunluklu ve ekonomik malzeme gereksinimi ileri teknoloji ürünü malzemelerin oluşumuna sebep olmuştur. Yapılan araştırmalarda karbon tabanlı malzemelerin kullanılan diğer malzemelere göre bazı özel avantajlar da sunduğu görülmüştür.

Önemli bir karbon malzemesi olan karbon köpüğün ısı iletkenliği, hafifliği, dayanım ve gerilim kuvvetinin yüksek olması ve karbon malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ısı ışımlara tabi tutulması sonucunda çok iyi mekanik özellikler kazanması da onu diğer malzeme gruplarına göre daha avantajlı hale getirmektedir. Karbon köpük sahip olduğu bu özelliklerle birçok endüstriyel uygulama alanına sahiptir.

Karbon köpüğün uygulama alanları başlıca iki ana başlık altında toplanılabilir; savunma ve uzay endüstrisinde karbon köpüğün kullanım alanları haberleşme araçları, radar önleme sistemleri, hafif aynalar, optik araçlar, yalıtım panelleri, roket başlıkları, ısı yalıtımı ve ses yalıtımı olarak sıranabilir. Ticari endüstrilerde ise karbon köpüğün kullanım alanları fren diskleri, yakıt pili elektrotları, katalitik konvertörler, yüksek sıcaklık yalıtımı, diş implantı, kemik protezi, birçok makinenin bileşeni, engelleyici bariyerler ve otomotiv sektörü olarak verilebilir.

Bu çalışmada, karbon köpük üretiminde Güneydoğu Anadolu'dan getirilen Avgamasya asfaltiti ile çalışılmıştır. Bu amaçla, toz asfaltit maddesi yüksek basınç ve sıcaklık reaktörüne silindirik bir alüminyum kap içerisinde konulur. Reaktöre önceden belirlenen değerde basınç verildikten sonra sıcaklık belirlenmiş bir değere çıkarılır ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletildikten sonra reaktördeki basıncın hızlı bir şekilde boşaltılmasıyla karbon köpük elde edilmiş olur. Bu çalışmada basınç, sıcaklık, basınç boşaltma süresi ve son sıcaklıkta bekleme süresi temel parametreler olarak seçilmiştir. Bunun yanı sıra, sınırlı şekilde karbonizasyonun köpük özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

Üretilen karbon köpüklerin yorumlanabilmesi ve literatürdeki karbon köpüklerle kıyaslanabilmesi için taramalı elektron mikroskobunda görüntüleri çekilmiş, yoğunluğu ölçülüp dayanım testi sonucu sıkışma dayanımları bulunmuştur.

Yapılan deneylerin sonucunda, artan basınç ve sıcaklıkla daha homojen, yoğun ve dayanıklı karbon köpüğü elde edildiği görülmüştür. Basınç boşaltma süresinin artışı yoğunluğu önemli ölçüde etkilemezken, dayanımında artış meydana getirmiştir. Son sıcaklıkta bekleme süresinin artışı ile köpüğün yapısı daha da homojen olmuş, dayanım ve yoğunluğu az bir miktar olsa da artmıştır. Karbonizasyon işlemi üretilen köpüklerin yoğunluk ve dayanımını artırmıştır.

CARBON FOAM PRODUCTION FROM AVGAMASYA ASPHALTITE

SUMMARY

In the fast developing industry and technology, requirements of high resistance, light, low density and economic materials resulted in development of advanced technology products. Research conducted showed carbon based materials possess some special advantages compared to other materials.

An important form of carbon is carbon foam due to its high thermal conductivity, light weight, high compressive and tensile strengths and excellent material characteristics attributed after high temperature graphitization treatment are the main reason for its unique position. These characteristics consequently attribute a lot of application areas for carbon foam.

Carbon foams have mainly to application areas in industry. The first one being defence and military include communication devices, radar preventing systems, light mirrors, optical devices, isolation panels, rocket caps, thermal isolation and sound isolation. The second application are being commercial industry which include mainly brake discs, fuel cell electrodes, catalytic converters, high thermal isolation, dental implants, bone prosthesis, component of machineries, preventive barrier, and automotive industries.

In this study production of carbon foams from South eastern Anatolian, Avgamasya asphaltite is studied. For this purpose powdered asphaltite sample is placed in an autoclave using specially shaped aluminum mold. Reactor is then pressurised to a defined value and the reactor is raised to specified temperature. The system is hold for a certain period of time, afterwhich the system is subject to sharp pressure release to obtain carbon foam. In this study pressure, temperature, pressure release time and hold time at the highest temperature were taken as the main parameters for investigation. Also affect of carbonisation on foaming characteristic is evaluated.

In order characterise and make comparison with literature results SEM micrographs were taken, densities and compressive strengths of the foams are measured.

Experimental results revieled that increasing pressure resulted in more homogeneous, denser and more strong foam products. Pressure release time had insignificant effect on the density but had considerably influenced the strength of the foams. While hold time at the highest temperature increased, the structure of foam is more homogeneous and also, endurance and density of the foam is increased. Carbonisation subsequently increased the density and strength of the foam.

1. GİRİŞ

İnsan ihtiyaçları, bilim ve teknolojiye sürekli yeni malzemelerin ortaya çıkmasına ve gelişimine neden olmuştur. 1950’li yılların sonunda kompozit malzemelerin üretimiyle ilgili araştırmalar, yüksek sertlik ve düşük spesifik ağırlığa sahip olan karbon fiberlerin keşfine öncülük etmiştir. Günümüzde endüstrinin hızla gelişmesi ile birlikte yüksek dayanımlı, hafif ve ekonomik malzeme gereksinimi ileri teknoloji ürünü malzemelerin geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte karbon fiberlerin yanı sıra onun yerine veya ilave amaçlarla kullanılabilecek daha iyi özelliklerdeki yeni malzeme arayışına girilmiştir.

Malzeme alanında yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları, karbon malzemelerin sahip olduğu yüksek dayanım, yüksek gerilim, yüksek iletkenlik ve düşük yoğunluk gibi önemli özellikleriyle diğer malzemelere göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Karbon malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ısı işlemlere tabii tutulması sonucunda çok iyi mekanik özellikler kazanması da onu diğer malzeme gruplarına göre daha avantajlı hale getirmektedir [1,2]. Yapılan yeni araştırmalarla gelişen teknolojiye uygun karbon malzemelerin üretimine çalışılmıştır ve bu çalışmalar sonucunda bir karbon malzemesi olan karbon köpük ortaya çıkmıştır.

Karbon köpüğün sahip olduğu başlıca karakteristik özellikleri şöyle basit bir şekilde anlatılabilir; karbon köpüğün yoğunluğu alüminyuma göre altı kat, bakıra göre ise onbeş kat daha düşüktür. Karbon köpük sıcaklıkla artan yüksek dayanıma ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Karbon köpüğün termal iletkenliği, üretildiği hammadde ve üretim yöntemine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Karbon köpüğün termal iletkenliği alüminyuma göre dört kat, bakıra göre ise altı kat daha fazladır [3].

Karbon köpük sahip olduğu bu özellikler sayesinde birçok sektörde uygulama alanına sahiptir. Karbon köpüğün sahip olduğu uygulama alanları başlıca iki grup altında incelenebilir. Bu gruplardan ilki uzay ve savunma uygulamalarıdır. Bu uygulamalarda karbon köpük haberleşme araçlarında, radar önleme sistemlerinde,

hafif ayna ve optik araçlarda, savaş gemilerinde, roket başlıklarında, ısı ve ses yalıtımında ve benzeri ekipmanların yapımında kullanılmaktadır [4,5].

Karbon köpüğün diğer bir uygulama alanı ise ticari amaçlı kullanıldığı uygulamalardır. Bu uygulamalarda ise, karbon köpük araçların fren disklerinde, yakıt pili elektrotlarında, katalitik konvertörlerde, yüksek sıcaklık yalıtımında, tıp alanında diş implantlarında ve kemik protezlerinde, birçok makinenin bileşenlerinde, engelleyici bariyerlerde ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Karbon köpüğün bahsedilen bu uygulama alanları ve sahip olduğu özellikler karbon köpük yapımında kullanılan hammaddeye ve üretim metoduna göre farklılık göstermektedir. Şimdiye kadar karbon köpük yapımında kullanılan hammaddeler, kömür katranı ve petrol zifti [6], kömür [7], poliakrilonitril [8], vinilidin klorit polimeri [9], poliüretan [10], sentetik mezofaz zift [11,12] ve pirolizlenebilir organik bileşiklerdir [13].

1990'lı yılların başında karbon köpük üreten firmalar kurulmaya başlanmıştır. Bu firmaların önde gelenleri Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır. Karbon köpük üretiminde başı çeken firmalardan biri Pocofoam [14], diğeri ise C-foam firmasıdır [15]. Pocofoam şirketi karbon köpük üretiminde hammadde olarak AR mezofaz zift kullanmaktadır. Üretim yöntemi olarak ise Oak Ridge National Laboratory (ORNL) tarafından geliştirilen yöntemi kullanmaktadır [3]. C-foam şirketi ise karbon köpük üretiminde hammadde olarak kömür kullanmaktadır. Üretim yöntemi olarak ise, Touchstone Research Laboratory tarafından geliştirilen yöntemi kullanmaktadır [16].

Karbon köpük sahip olduğu özelliklerle ve çok geniş kullanım alanıyla çok büyük bir ekonomik kar yaratmıştır. İleri teknolojiyi kullanan ülkeler bu pazardan pay alabilmek için bu konuda araştırma ve geliştirme içine girmiş ve bunun için bütçe ayırmışlardır. Ülkemiz de bu amaçla ilk defa İTÜ'de Kimya Mühendisliği bölümünde AR mezofaz ziftinden karbon köpük yapılmıştır.

Bu pazardan ekonomik olarak pay sağlayabilmek için kullanılacak hammaddenin dışardan getirilmesi yerine ülke içindeki kaynakların değerlendirilmesi amacıyla hammadde olarak Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan petrol tabanlı bir madde olan Avgamasya asfaltinin kullanımı öngörülmüştür.

Bu çalışmanın öncelikli amacı pahalı ve başka ülke teknolojisi ile üretilen AR zifti yerine yerli ve doğal zift karakterli asfaltitlerin devreye alınıp alınamayacağının değerlendirilmesidir. Bu alışmada Avgamasya asfaltitinden karbon köpük retilbileceğine karar verildikten sonra çalışmanın ikinci amacı olan optimum deney parametrelerinin belirlenmesine geçilmiştir. Çalışmada basınç, sıcaklık, basınç düşürme süresi ve son sıcaklıkta bekleme süresi gibi dört farklı deney parametresinin optimum değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Karbon Elementi

Karbon doğada yaygın olarak bulunan ametal özelliklere sahip bir elementtir. Simgesi C, atom sayısı 6, atom ağırlığı 12,011 olan karbon, periyodik çizelgenin IVA grubunda bulunmakta ve elektron dizilimi ise $1s^2 2s^2 2p^2$ dir [17]. Periyodik çizelgedeki başka birçok grubun tersine, IVA grubu elementleri, kimyasal bakımdan birbirinden çok farklıdır. Grubu temsil edici davranışı en az gösteren element ise karbondur. Bu elementlerin en hafifi ve en az metalik olanıdır [18].

Dünyada hem doğal halde, hem de başka elementlerle bileşik halinde bulunan karbon, ağırlık olarak yerkabuğunun yaklaşık %0,2'sini oluşturmaktadır. Yaşamın dayandığı temel işlevleri yerine getirmek için yeterli çeşitlilikte ve karmaşıklıkta düzenlemeler oluşturarak başka elementlerle birleşme yeteneği, yalnızca karbonda bulunmaktadır. Bileşiklerin %94'ü (4 milyondan çoğu) karbon içermektedir. Belirli karbon bileşikleri, canlılardaki maddenin yaklaşık %18'ini oluşturmaktadır. Bu bileşikler, canlı yapısında, hücre yapımında kullanılan yapıtaşları olarak işlev görmektedirler [18].

Karbon elementi ^{12}C , ^{13}C ve ^{14}C gibi farklı izotoplara sahiptir. Karbonun en bol bulunan izotopu, doğal karbonun %98,89'unu oluşturan karbon-12 dir. Tam olarak 12 dalton (atom kütlesi birimi) değerinde olan bu izotop, atom ağırlığı konusunda uluslararası standart olarak kabul edilmektedir.

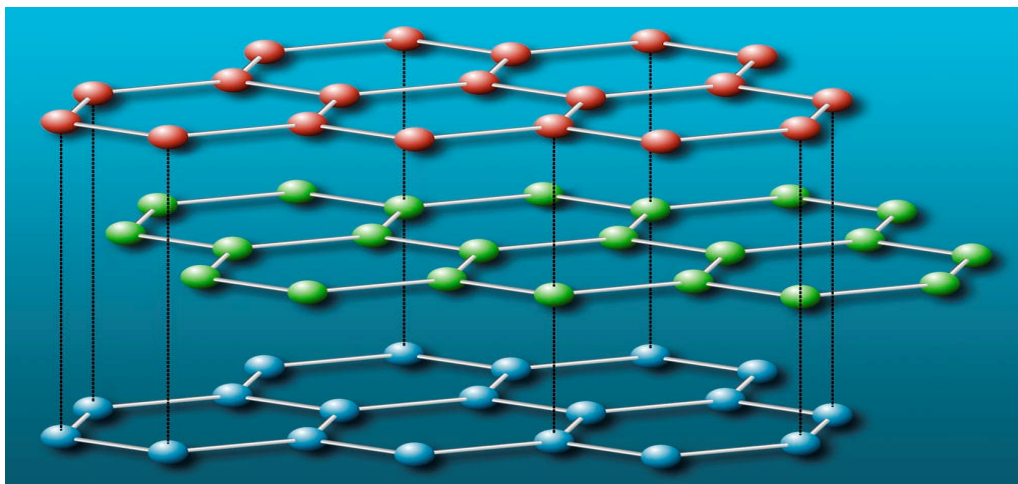
Doğal karbonun %1,11'ini oluşturan karbon-13, karbonun ikinci kararlı izotopudur. Karbonun diğer bir izotopu olan karbon-14 ise 5730 yıl gibi çok uzun olan bir yarılanma süresine sahiptir. Karbonun izotopları arasından karbon-14 en kararlı olanıdır [18,19]. Metallerin ve ametallerin birçoğundan farklı olarak, karbondaki görülen bağ oluşumu genellikle iyonik bağ değil, kovalent bağdır.

2.2 Karbonun Allotropları

Aynı maddenin değişik kristal biçimlerine allotrop denmektedir. Allotrop kelimesi Yunancada değişik biçim anlamındaki iki sözcükten meydana gelmektedir. Karbonun üç tane bilinen allotropu vardır. Bunlar grafit, elmas ve fullerendir. Karbonun farklı kristal biçimleri sonucu meydana gelen allotropları da farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir [18,20].

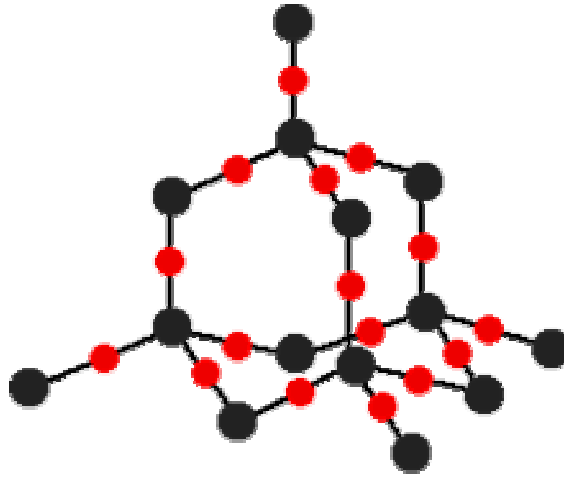
Karbonun allotroplarından grafit, yumuşak, yağlı, kağıtta iz bırakan, siyah renkli katı bir maddedir. Grafit, yağ haline getirilip makinelerde çalışan parçaların birbirine sürtünürken aşınmasını azaltmak ya da engellemek amacıyla yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Kurşun kalemilerin içindeki uç da içine kil katılarak biraz sertleştirilmiş grafitir. Grafit yapay olarak da hazırlanabilmektedir. Bunun için, kok kömürünün çok yüksek sıcaklıklarda işlenmesi gerekmektedir. Grafit, çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmekte ve elektriği çok iyi iletebilmektedir.

Grafitte karbon atomları sp^2 hibritleşmesi yaparak hegzagonal halkalar oluşturmaktadır. Grafitte karbon atomları, üst üste yığılmış geniş, yassı levhalar oluşturacak biçimde, iki boyutlu düzlemde birbirlerine bağlanmıştır. Bu levhalar birbirlerinin üzerinden kolayca kayabilirler grafitin iyi bir yağlayıcı olma özelliği de bundan kaynaklanmaktadır. Grafitin kağıt üzerinde iz bırakmasının nedeni de, bu ince atom levhalarının grafitten ayrılarak kağıdın üzerinde birikmesidir [18,19]. şekil 2.1’de grafitin yapısı gösterilmektedir.



şekil 2.1: Grafitin Yapısı [18]

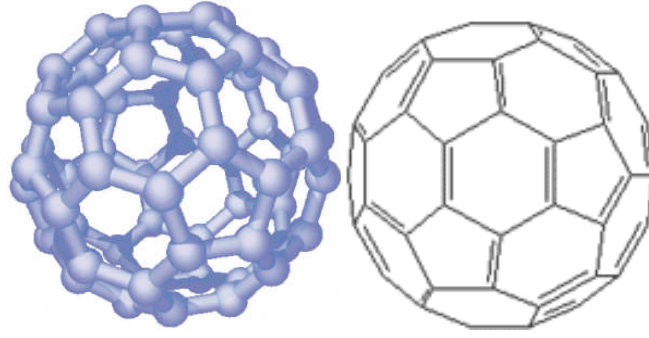
Elmasın saf hali, bilinen en sert malzemedir. Saf elmas ısıyı iyi iletmez ve elektrik yalıtkanıdır. Elmasın özellikleri, bütünüyle birbirine kenetlenmiş dörtyüzlü karbon atomlarının oluşturduğu billur yapısından kaynaklanır. Bu atomların her biri, en yakın dört komşusuna ortaklaşa bağlanmıştır. Elmasta her karbon atomu, dört başka karbon atomuna bağlanarak üç boyutlu katı bir yapı oluşturur. Elmasta karbon atomları sp^3 hibritleşmesi yaparak tetrahedral bir düzen oluştururlar. Karbon-karbon bağının olağanüstü dayanıklılığı ve ortaklaşa bağlarla kenetlenmiş yapısı, elmasın sert ve eylemsiz olmasını sağlayan nedenlerdir [18]. Şekil 2.2’de elmasın yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Elmasın Yapısı [18]

Kısa bir döneme kadar karbonun grafit ve elmas olmak üzere sadece 2 tane allotropu olduğu biliniyordu. 1980’lerin sonuna doğru keşfedilen fulleren molekülü bu görüşü değiştirdi. Molekül formülü C_{60} olan ve saf karbondan oluşan fulleren molekülü, futbol topunu andıran yapısıyla karbonun ayrı bir allotropudur. Bu yapıdaki bütün karbon atomları sp^2 hibritleşmesine yakın bir yapıdadır ama açılarının tamamı sp^2 hibritindeki gibi 120° değildir.

Fulleren genellikle 6 karbon atomunun düzlemsel olarak birbiri ile bağlanarak oluşturduğu içi boş küresel, silindirik ve halkasal yapılardır. 5’li veya 7’li halkalar şeklinde birleştiği zaman yapı düzlemsellikten uzaklaşır. Fullerenin, grafitte benzeyen bağ kararlılığı nedeniyle reaktif bir madde değildir ve birçok çözücü madde içerisinde çözünmez [23]. Şekil 2.3’de fullerenin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Fullerenin Yapısı [24]

2.3 Grafitize Olan ve Olamayan Karbon

Grafit, karbon elementinin allotropik halidir. Doğal grafit, kristal yapısının kusursuzluğu önemsenmeyen, karbon içeren bir mineraldir. Grafitizasyon işlemi ise, termodinamik olarak kararsız olan grafitik olmayan karbonun termal işlemlerle grafitik yapıya dönüştürüldüğü katı hal dönüşümüdür [26]. Grafit yapısında bulunan atomlarının dizilişleri daha düzgün olduğundan elektrik ve ısı iletkenlikleri daha yüksektir. Grafitizasyonun yapılış sebebi de budur [27]. Karbon elementi grafitize olma bakımından grafitize olan karbon ve olamayan karbon olarak ikiye ayrılır.

Grafitik karbonlar, yapısal bozukluklarına bakılmaksızın grafitin allotropik formundaki karbon elementi içeren maddedeki bütün değişikliklerdir [28,29]. Sentetik grafitler büyük ölçüde grafitik karbon içerirler. Grafitik karbonlar, grafitik olmayan karbonların ısı işlem grafitizasyonundan ya da hidrokarbonlardan kimyasal buhar çökmesi (CVD) işlemiyle 2073 K sıcaklığının üzerinde grafitik yapılu kalıntı oluşumundan elde edilebilirler [26].

Birçok grafitik olmayan karbon, genelde 2473 K veya üzerinde ısı işlemlerle yapılan grafitizasyonla grafitte dönüştürülebilir karbonlardır. Grafitize edilemeyen karbonlar, 3273 K sıcaklıklardaki ısı işlemlerde veya atmosferik basınç altında ya da daha düşük basınçlarda bile grafitik karbonlara dönüştürülemeyen karbonlardır. Grafitize edilemeyen yapılara izotropik karbonlar, grafitize edilebilen yapılara anizotropik karbonlar denir.

İzotropik karbonlar, az katlı dizin oluşturmak amacıyla az sayıda, gelişigüzel düzenlenmiş lamellerden oluşmuştur. İzotropik karbonlar, ağaçtaki lignin maddesi veya selüloz gibi polimerik maddelerden elde edilmiştir. Anizotropik karbonlar, esasen paralel olarak yerleşmiş grafitik yapıyı oluşturmak amacıyla ısı işlem

boyunca katlarını arttırdığı düşünölen lamellere sahiptir. Anizotropik karbonlar, naftalin, petrol zifti, kömür katranı zifti gibi aromatik hidrokarbonlardan türetilen mezofaz ziftten elde edilmiştir [30].

2.4 Karbon Köpük

Köpük kelimesi genelde gözenekli ve düşük yoğunluğa sahip malzemeler için kullanılan bir kelimedir. Köpikleşme olayı gaz baloncuklarının, katı veya sıvı maddeler içinde dağılımıyla oluşan bir olaydır [30]. Bazı malzemelerin köpüklerinin elde edilmesiyle o malzemelere pek çok alanda uygulama imkanı sağlanmaktadır. Bu malzemelerin başında da karbon gelmektedir ve elde edilen karbon köpük sahip olduğu özellikleriyle eşsiz bir malzeme haline gelip yeni nesil bir teknolojik malzeme olmuştur.

Karbon köpüğün sahip olduğu özelliklerin başında düşük yoğunluk, yüksek mekanik dayanım, sıcaklıkla artan mekanik dayanım, sıcaklığa bağılı olarak farklılık gösteren yüksek termal iletkenlik, düşük ısıl genleşme, gözenekli yapı, yüksek elektrik iletkenliği, düşük fiyat ve kullanılacağı alana göre şekil alabilme gibi özellikler gelmektedir [31].

Karbon köpük üretiminde farklı hammaddeler kullanılabilir. Üretilen karbon köpüğün sahip olduğu özellikler kullanılacağı alana göre modifiye edilebilir. Karbon köpüğün özelliklerindeki değişiklikler kullanılan hammaddeye ve üretim prosesi koşullarına göre değişiklik gösterebilir [32]. Şekil 2.4’de bazı karbon köpük görüntüleri verilmektedir.



Şekil 2.4: Karbon Köpük Görüntüleri [15]

Karbon köpükler genelde hücre yapısına göre, açık hücreli ve kapalı hücreli köpükleri olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Gözeneklerinin birbirleriyle hiçbir bağlantısı olmadığı ve herhangi bir gaz molekülünün bile giriş-çıkış yapamadığı bu tür karbon köpükler kapalı hücreli karbon köpükler olarak adlandırılır. Açık hücreli köpükler de ise gözenekler içerden birbirleriyle bağlantılıdır ve bu köpüklerde bir uçtan bırakılan gaz diğer uçtan çıkabilmektedir.

Açık gözenekli karbon köpükler de yoğunluk daha düşük ve daha yüksek yüzey alanına sahiptirler [30]. Karbon köpük üretildiği malzeme ve üretim yöntemine göre yoğunluğu 200 kg/m^3 ile 800 kg/m^3 arasında değişmektedir. Karbon köpük gözenekli bir yapıdır ve gözeneklerinin boyutu $10 \text{ }\mu\text{m}$ ile $400 \text{ }\mu\text{m}$ arasında değişmektedir.

Son yıllarda özellikle karbon köpüğün yüksek termal iletkenlik özelliğinden dolayı bile karbon köpük kendine çok fazla uygulama alanı bulmuş ve bu yüzden karbon köpük daha da popüler hale gelmiş ve bu alanda patentler alınmaktadır [33,34]. Karbon köpüğün termal iletkenlik özelliği, üretilen karbon köpüğün üretim sıcaklığı ve üretildiği hammadde ile direk ilişkilidir [32]. Karbon köpük alüminyum ve bakır gibi ısı iletkenliği yüksek olan maddelerle kıyaslanacak olursa bakırdan altı ve alüminyumdan dört kat daha fazla termal iletkenliğe sahiptir [35].

Tablo 2.1’de Oak Ridge Ulusal Laboratuvarından (ORNL) alınan tabloda üç farklı karbon köpüğünün ve alüminyumun karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 2.1: ORNL Karbon Köpüğü Deneysel Sonuçları ve Alüminyum ile Karşılaştırılması [36]

	Birim	Köpük I	Köpük II	Köpük III	Alüminyum 6061
Fiziksel Özellikler					
Yoğunluk	kg/m³	570	590	700	2880
Gözeneklilik	%	75	74	69	0
Açık Gözeneklilik Oranı	%	98	98	--	0
Ortalama Hücre Boyutu	µm	350	60	350–400	--
Mekanik Özellikler					
Basma Kuvveti	MPa	2.1	5.0	5.1	--
Basma Katsayısı	GPa	0.144	0.180	0.413	70
Gerilme Kuvveti	MPa	0.7	--	--	180
Isıl Özellikler					
Isıl İletkenlik	(W/m·K)/ (kg/m³)	0.218	0.313	0.25	0.063
Isıl yayılım	m²/s	0.0453	0.031	0.0352	0.081
Isı Kapasitesi	L/kg.K	691	691	691	890

Karbon köpük üretiminde en önemli değişkenler basınç, sıcaklık, sıcaklık artış hızı ve basınç boşaltma süresidir. Bu parametrelerle yapılan değişiklikler sonucu istenilen özelliklerde karbon köpüğü üretilebilir [37].

2.4.1 Karbon Köpüğünün Tarihçesi

Yapısında karbon atomları bulunduran malzemeler olarak bilinen karbon malzemeleri tarih öncesi dönemlerde bile mangal kömürü şeklinde insanlık tarafından kullanılmıştır. Bu mangal kömürü o zamanlar insanlar tarafından bir çeşit kalem olarak kullanılmış, mağaralarda duvarlara resimler çizilmiş ya da bir iletişim aracı olarak kullanılmıştır. Daha sonraları başka bir karbon tabanlı malzeme olan elmas bulunmuştur. Bilinen en sert malzeme olan elmas mücevher olarak kullanıldı. Yağlayıcı malzeme olan yumuşak grafit bulundu ve bu grafit çok uzun zamandır kalem ucunda ve mürekkepte kullanılmaktadır. Karbonun bir sonraki kullanım alanı ise çelik ve bronz imalatında olmuştur [17,38,39].

1940’lardan sonra karbon için yeni bir çağ başlamıştır ve değişik hammaddelerden karbon fiber üretimi başlamıştır [39].

1960’lı yıllarda ilk karbon köpüğü Walter Ford tarafından elde edilmiştir. Bu karbon köpüğü Walter Ford tarafından organik polimer köpüklerin ısıtılmasına tabi tutulması ile elde edilmiştir [40].

1967’de Googin ve Napier polimerizasyon yöntemiyle karbon köpük elde etmişlerdir. Bu çalışmada Oak Ridge Atomik Enerji Komisyonu Laboratuvarında karbon köpüğünün yapısal ve maddesel özelliklerini başlangıçta kullanılan hammaddenin (üretan-polimer) değiştirilerek kontrol edilebildiğini belirtmiştir [41].

1967’lerden 1970’lere gelene kadar bu ilk keşiflerden sonra birçok araştırmacı karbon köpüğün kullanım alanları hakkında elektrotlardan yalıtıma kadar birçok alanda yüksek sıcaklıklarda(2273 K) yenilikler keşfetmişlerdir.

1970’lere gelince araştırmacıların karbon köpükle ilgili yaptığı öncelikli araştırmalar karbon köpük üretiminde kullanılan alternatif hammaddeler ve üretilen karbon köpüklerin özellikleri üzerinde odaklanmıştır [6,9,42,43,44]. Örneğin, Klett, R. ulusal Sandia laboratuvarlarında, şişe mantarından ilk karbon köpüklerini üretti, bu doğal hücreli bir hammadde idi.

Raley 1976'da amonyakla vinylidene klorür polimerlerinde karbon köpük üretti. Bu köpük gazlar için bir filtre malzemesi olarak sigara dumanında kullanıldı [9]. 1981'de, Bonzom petrolden ve kömür katranı ziftinden elde edilmiş karbon köpüğü geliştirdi ve bu malzeme ısı ve ses yalıtımında kullanıldı [6].

Bu yapılan çalışmalar dışında yapılan diğer çalışmalarda, karbon köpük üretiminde değişik üretim prosesleri ve hammaddeler kullanılarak karbon köpüğün özelliklerini geliştirmek ve maliyetini düşürmek amaçlanmıştır. Üretilen bu karbon köpükleri çoğunlukla ısı yalıtım için kullanılmaktadır.

Yeni nesil karbon köpüklerin üretimi zift ve kömür gibi farklı hammaddelerden 1990'lar da başlamıştır. 1990'lı yılların başında Wright Patterson Hava Kuvvetleri Laboratuvarlarında yapılan araştırmalar sonucunda araştırmacılar mezofaz türevli karbon köpüğü üretiminde öncü olmuşlardır. Bu köpükler maliyeti çok yüksek olan polimer kaynaklı köpüklere göre hem daha düşük maliyete hem de daha iyi spesifik özelliklere sahipti. Araştırmacıların yaptıkları bu çalışmalar hafif ve kuvvetli bir karbon köpüğü üretmeye odaklıydı [45,46,47].

Yüksek maliyetli karbon köpüğü maliyetinin azaltılması amacıyla Stiller tarafından West Virginia Üniversitesinde başlangıç maddesi kömür kullanılarak geliştirilen yöntemle mükemmel ısı yalıtkanlık ve çok yüksek dayanıklılığa sahip köpükler üretilmiştir [45].

1997 yılında Oak Ridge Ulusal Laboratuvarında (ORNL) Klett, ilk naftalinden türetilmiş mezofaz zift bazlı yüksek spesifik ısı iletkenliğe sahip grafitik köpüğünü üretmiştir [45]. Bu spesifik ısı iletkenliği önceleri 40 W/m.K civarında iken mezofaz zift bazlı karbon köpüğü üretilmesi ile spesifik ısı iletkenlik 180 W/m.K'e kadar çıkmıştır [45]. Karbon köpüğünün bu özelliği sayesinde ısı değiştiricilerin kullanıldığı birçok uygulama alanında meydana gelen problemlere de çözüm bulunmuştur.

2.4.2 Kullanılan Karbon Köpük Hammaddeleri

Karbon köpüğün uygulama alanları ve sahip olduğu özellikler karbon köpük yapımında kullanılan hammaddeye ve üretim metoduna göre farklılık göstermektedir. 1960'dan şimdiye kadar karbon köpük yapımında kullanılan hammaddeler, kömür katranı ve petrol zifti, kömür, poliakrilonitril, vinilidin klorit polimeri, poliüretan, sentetik mezofaz zift ve pirolizlenebilir organik bileşikler gibi

hammadelerdir. Bu çalışma ile karbon köpük üretimi konusunda yeni bir hammadde literatüre eklenmiştir.

Karbon köpüğün sahip olduğu fiziksel özellikler kullanılan hammaddeye göre çok geniş aralıklarda değişebilir ve mikro yapı olarak da izotropik ve anizotropik yapı gösterebilir. Kullanılan hammaddenin sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösteren kütle kaybı, akışkanlık ve genleşme gibi özellikleri oluşan karbon köpüğün performansını ve yapısını doğrudan etkileyen özelliklerdir [48].

2.4.2.1 Kömür Tabanlı Karbon Köpük

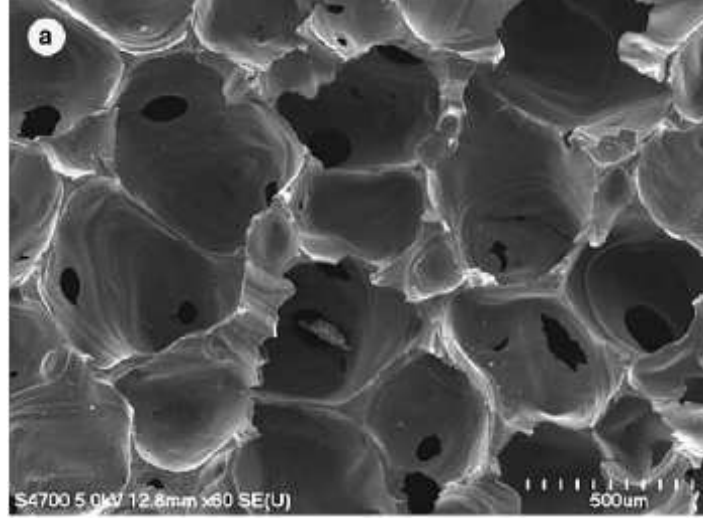
Kömür insanoğlu tarafından çok eski tarihlerden bu yana kullanılmagelmiş en önemli maddelerden birisidir. Kömür yıllarca elektrik üretim proseslerinde, fabrikalarda ve evlerde yakıt olarak kullanılmıştır. Kömürün ısıl değerini artırmak için bünyesindeki yanmayan madde olan külün azaltılmasına ve kükürt gibi baca gazlarının miktarının azaltılmasına yönelik prosesler geliştirildi. Teknoloji değiştikçe kömür içinde farklı kullanım alanları ortaya çıkmaya başlamıştır [7]. Gelişen teknolojiyle karbon fiberler ortaya çıktı ve bu anizotropik yapıdaki karbon fiberlerin birçok kullanım alanı oldu. Karbon fiberlerin pek çok avantajı ve dezavantajları vardı. Bu dezavantajlarından bazıları şunlardı; kırılganlık, düşük darbe direnci, düşük dayanım ve çok düşük genleşme katsayısıydı [49].

Kömürden karbon köpük üretimindeki amaç hem daha düşük maliyetli ürün sağlamak hem de karbon fiberlerin bu mevcut eksiklerini gidermekti [50].

Kömür bazlı karbon köpük prosesi bir koklaştırma prosesidir. Bu proseste bitümlü kömürlerden külsüzleştirme ve hidrojenleme yöntemiyle koklaştırma prosesi için hammadde elde edilir. Prosesin işleyişi şöyledir, öncelikle bitümlü kömüre hidrojenleme uygulanır. Hidrojenleme yöntemi yüksek basınç altında bir katalizör yardımıyla hidrojen ile kömürün tepkimeye sokulmasıyla gerçekleşir [18]. Hidrojenlemeden sonra kömürün bünyesindeki kül değerinin düşürülmesi için hidrojenlenmiş kömür bazı aşamalarla uygun bir sırayla uygun çözücülerle çözünür.

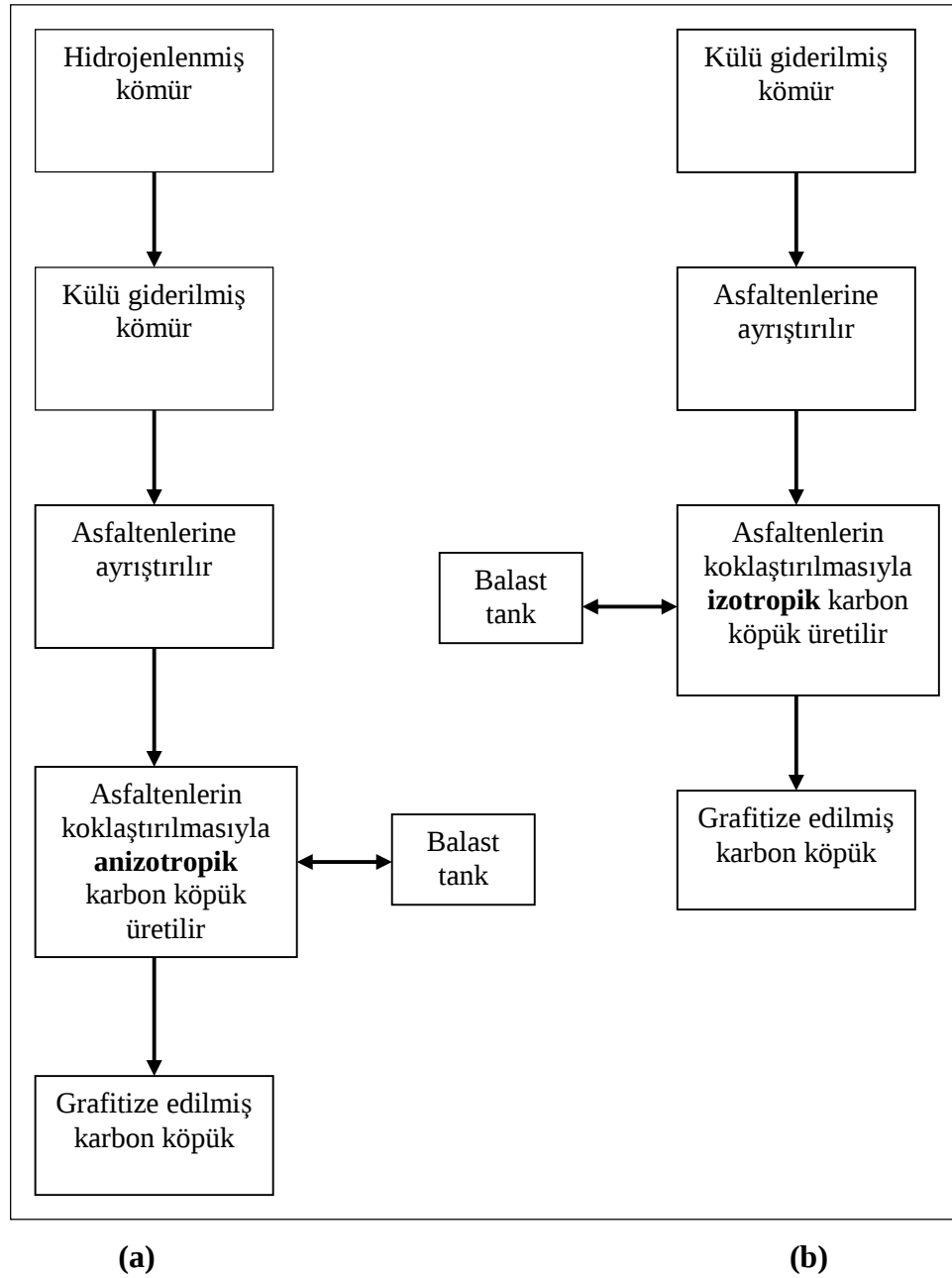
Hidrojenlenmiş ve daha sonra külü belli bir değere kadar giderilmiş olan kömür bir otoklav içerisine konularak sıcaklığı 598 K -773 K arasına ve basıncı 0.1 MPa (atmosfer basıncı) ile 10 MPa arasında bir değere getirilerek 10 dakikadan 8 saate kadar ısıtılır. Isıtma sonucunda kömürün içerisindeki uçucu gazların uzaklaştırılması sağlanır ve otoklav tekrar oda şartlarına döndürüldüğünde anizotropik karbon köpük

elde edilmiş olur. Şekil 2.5’de kömür tabanlı karbon köpüğün SEM fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Kömür Tabanlı Karbon Köpüğü [48]

Bu yöntemde hidrojenleme işlemi yapılmadan kömüre direk külsüzleştirme işlemi yapıldıktan sonra elde edilen kömürden üretilen karbon köpük izotropik bir ürün olurdu. Hidrojenlenmiş ve hidrojenlenmemiş kömürler belli oranlarda karıştırılarak elde edilen karbon köpüğün anizotropi derecesi ayarlanabilir [51]. Şekil 2.6’da kömür tabanlı anizotropik ve izotropik yapılı karbon köpüğünün oluşum mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.6: (a) Aniotropik Köpük Üretimi b) İzotropik Köpük Üretimi [50]

Koklaştırma sonucunda elde edilen karbon köpük bünyesindeki kalıntı uçucu maddelerinde uzaklaştırılması için koklaştırma sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta kalsine edilir. Kalsine işleminde uygulanan sıcaklık 1198 K ile 1298 K aralığında değişmektedir ve bu işlem maddenin her tarafı aynı sıcaklığa ulaşana kadar sürmelidir [7]. Kalsinasyondan sonra karbon köpüğün kullanım alanına göre çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve iyi bir elektrik iletken olarak kullanılabilmesi için grafitizasyon işlemi uygulanmalıdır [18]. Grafitizasyon işlemi genellikle 2873 K ile 3473 K arası sıcaklıklarda uygulanır [50].

Kömürden elde edilen karbon köpüğü termal işlemlerde, elektrik iletkenliğinde, elektronik sanayinde ve özellikle yüksek mekanik dayanımıyla oldukça kullanışlı bir malzemedir [31]. En önemli özelliği maliyetinin ucuz olmasıdır. Yoğunluğu $160-800 \text{ kg/m}^3$, basınç direnci $13.5-20 \text{ MPa}$, gerilme kuvveti $2-7 \text{ MPa}$, çekme kuvveti 2 MPa civarındadır. Isı iletimi katsayısı (oda şartlarında) $0.2-20 \text{ W/mK}$ 'dir [52].

2.4.2.2 Mezofaz Zift Tabanlı Karbon Köpük

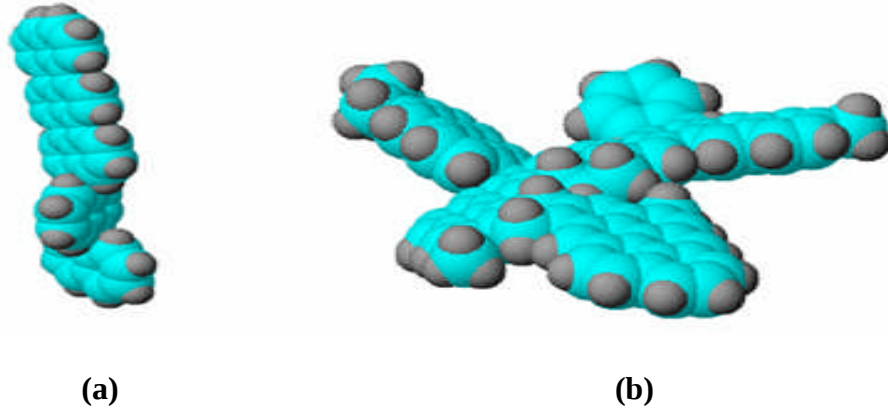
Mezofaz zift ilk olarak 1965'de Brooks ve Taylor tarafından keşfedildi. Mezofaz terimi genellikle maddenin katılaşmadan hemen önceki mozaik hali için kullanılır [79]. Ziftler 673 K 'den daha düşük sıcaklıklarda distilasyon prosesleriyle organik maddelerden üretilen bir karbon malzemedir. Mezofaz zift aromatik hidrokarbonların kompleks karışımlarından oluşmaktadır ve bu yüzden de kimyasal bileşimlerini incelemek oldukça zordur [53]. Ziftleri kimyasal bileşimleriyle tanımak zor olduğundan ziftler genelde yumuşama sıcaklığı, koklaşma değeri, kül içeriği, yoğunluğu ve çözündüğü çözücülerle tanınır.

Son yıllarda mezofaz ziftler yüksek performanslı yeni nesil teknolojik malzemelerin üretiminde kullanılmaya başlandı. Bu malzemelerin başında karbon fiberler, karbon-karbon kompozit malzemeler ve karbon köpük gelmektedir. 1990'lı yıllarda Wright Patterson Hava Kuvvetleri Laboratuvarları tarafından çok önemli bir endüstriyel madde olan mezofaz zift tabanlı karbon köpük üretilmiştir [46,47].

Mezofaz zift yüksek ölçüde düzenli bir anizotropik sıvı-kristal sistemidir ve küresel formdadır [26,54,55].

Mezofaz ziftin katran ve petrol ziftlerinden eldesi süper kritik sıvı ekstraksiyonu (SFE) ile sağlanmaktadır. Üretim sırasında sıcaklık ve basıncı ayarlayabilmek için sisteme toluen, pentan, heptan ve metanol beslenmektedir [56].

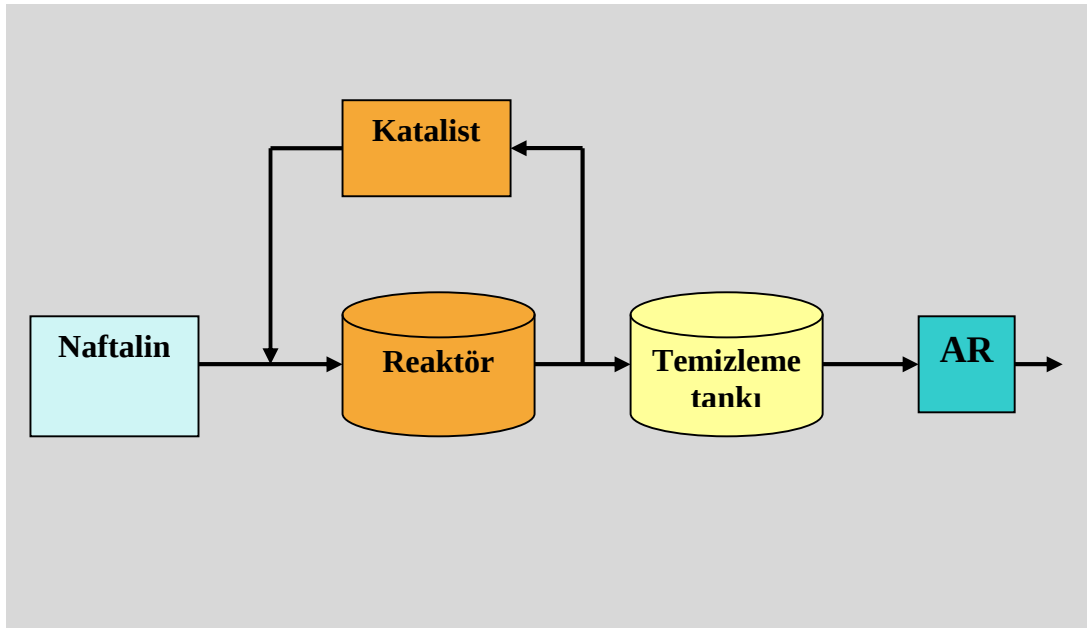
Ancak bu yöntem ile elde edilen mezofaz zift, içerisinde safsızlıklar barındırdığından karbon köpük üretimine pek uygun değildirler. Karbon köpük üretimine uygun olan mezofaz zift sentetik ziftlerden üretilmektedir. Mitsubishi AR nin üretmiş olduğu zift sentetik yollardan elde edilen ve köpükleşmeye uygun bir zifttir. Mitsubishi AR ziftin, içerdiği moleküller petrol ve katran ziftlerinden elde edilen mezofaz ziftlere göre daha homojen yapıdadır. Şekil 2.7'de Mitsubishi AR ile petrol ve katran ziftlerinden üretilmiş mezofaz ziftlerinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Mezofaz Ziftlerin Yapıları (a) AR Mezofaz Zift (b) Petrol Tabanlı Mezofaz Zift [58]

Mitsubishi AR mezofaz zifti, HF-BF_3 katalizörü kullanılarak naftalinin katalitik polimerizasyonu ile hazırlanılır [59].

Şekil 2.8’de Naftalinden üretilmiş AR mezofaz ziftin blok akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Naftalinden Üretilmiş AR Mezofaz Ziftin Blok Akış Diyagramı [57]

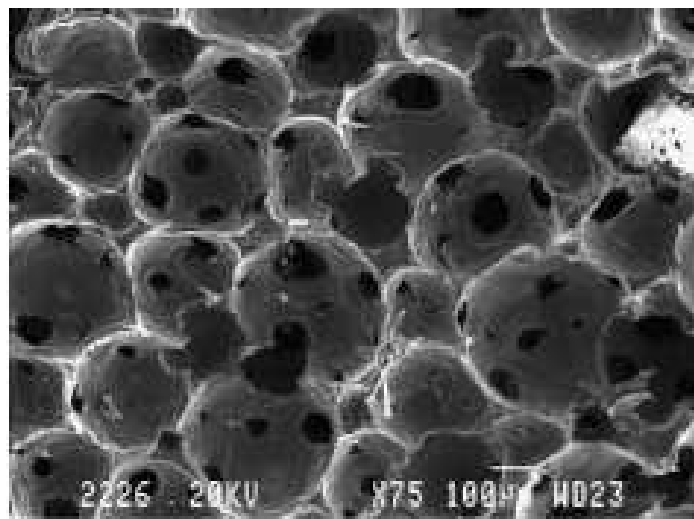
Sentetik mezofaz zift grafitize olabilmesi nedeniyle yüksek termal iletkenlikli karbon malzemelerin üretimi için tercih edilen bir hammaddedir. Mezofaz ziftten üretilen karbon malzemenin yapısı grafit yapısına benzemektedir [60]. Tetrahidrofuran (THF), toluen, piridin, benzen ve ksilen mezofaz zift için uygun çözücülerdir. Bunlar, aromatik veya ikili bileşiklerdir [61]. Şekil 2.9’da Mitsubishi AR mezofaz zifti gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Mitsubishi AR Mezofaz Zifti

Karbon köpük hammaddelerinin en önemlilerinden biri mezofaz zifttir ve bu konuda çalışan araştırmacıların en önemlileri Kearns, Klett ve Murdie'dir.

Mezofaz zift bazlı karbon köpüğünün üretim aşaması özetlenecek olursa; zift hazırlanan bir alüminyum bir kalıp içerisinde basınç reaktörüne konur ve erime sıcaklığının 283-313 K üzerine ısıtılır. Daha sonra inert bir gaz (azot) ile basınç belirlenen bir değere (6.8 MPa) çıkarılır ve daha sonra belirlenen sıcaklık ve basınçta 10-40 dakika arası beklemeye alınır. Sistemdeki basınç atmosfer basıncına hızlı bir şekilde düşürülerek gözenekli yapıdaki karbon köpük elde edilir. Daha sonra stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon işlemlerine tabi tutulur [27]. Şekil 2.10'da AR mezofaz zift türevli karbon köpüğün SEM fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 2.10: AR Mezofaz Zift Türevli Karbon Köpüğü [62]

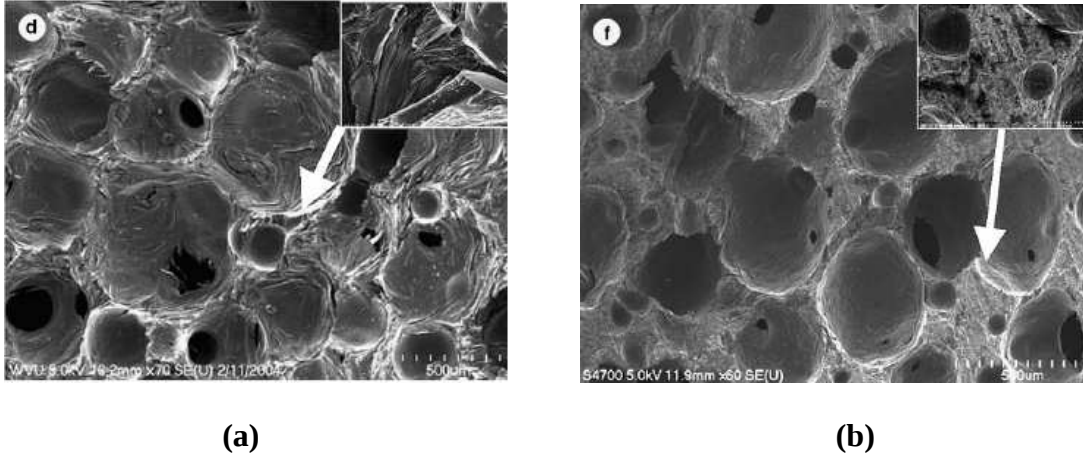
2.4.2.3 Kömür Katranı ve Petrol Zifti Tabanlı Karbon Köpük

İzotropik yapıdaki katran ve petrol ziftinden karbon köpük eldesinde, zift bir kaba konulur ve yumuşama sıcaklığında daha yüksek bir sıcaklığa kontrollü bir şekilde ısıtılır tercihen 573-673 K'e ısıtılır. Isıtma işlemi atmosferik basınç altında yapılır. Sistem belirlenen son sıcaklığa ulaştıktan sonra o sıcaklıkta 10 dakika ile 1 saat arasında bekletilir ve daha sonra kontrollü bir şekilde soğutulur.

Katran ve petrol ziftinden karbon köpük elde etmek için iki farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu metodlar, Singer metodu ile Riggs ve Diefendorf'un metodlarıdır. Singer metoduna göre izotropik petrol zifti bir kalıbın içerisine konulduktan sonra 673 K ile 773 K aralığında belirlenen bir değere kadar ısıtılır. Bu ısıtma işlemi atmosferik basınç altında 40 saat devam etmektedir. Singer metodunda izotropik fazın %50'si anizotropik faza dönüşür. Bu dönüşümün sebebi yoğunluğu yüksek olan maddelerin tankın altında toplanmasıdır. Riggs ve Diefendorf tekniğine göre ise zifte bir çözücü eklenip ziftin mezofaz malzemeye dönüşümü sağlanır ve daha sonra bu malzeme 503 K ile 673 K aralığında sadece 10 dakika ısıtılmasıyla gerçekleşmektedir. Her iki metot da ergime aralığı 513-553 K arasında olan petrol veya katran ziftleriyle başlar [63].

Bu yöntemlerde uygulan sıcaklık değeri seçilirken o sıcaklıkta kimyasal bozunmanın olup olmayacağına dikkat edilir [6]. Katran ve petrol ziftinden elde edilen karbon köpük gözenekli ve düşük yoğunlukludur (100 kg/m^3 - 800 kg/m^3). Elde edilen karbon köpük uygulanan proses parametrelerine göre geniş bir aralıкта fiziksel özellikler gösterebilir ve şekillenebilirlerdir. Burada elde edilen köpüğün maliyeti de ucuzdur çünkü hammaddesi ucuzdur [63].

Katran ve petrol zifti türevli karbon köpük gözenek yapısı, açık gözenekli ve kapalı gözenekli olmak üzere iki şekilde olabilir. Gözenek yapısı uygulanan basınç değeriyle ilgili bir olaydır. Katran ve petrol zifti türevli karbon köpük istenirse grafitizasyon işlemine tabi tutularak grafitik köpük elde edilebilir. Katran ve petrol zifti türevli karbon köpük ısı yalıtımında, katalitik konvertörlerde, korozyif maddeler için filtre olarak, zemin kaplanmasında, yalıtkanlarda ve güneş enerjisinin toplanmasında kullanılan panellerde kullanılabilirler [6]. şekil 2.11'de katran ve petrol zifti türevli karbon köpüğün SEM fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 2.11: Karbon Köpükler (a) Petrol Zifti Karbon Köpüğü (b) Katran Zifti Karbon Köpüğü [48]

2.4.2.4 Fenolik Reçine Tabanlı Karbon Köpük

Fenolik reçine tabanlı sentetik karbon köpüğünün hammaddesi, karbona dönüşebilir bir madde içeren reçine ve nişasta partiküllerinin karışımından hazırlanmaktadır. Hazırlanan bu hammadde yoğun bir karışımdır. Bu karışıma atmosfer basıncından daha yüksek değerde bir basınç verilir. Verilen basıncın etkisiyle karışımdaki nişasta jelatin bir hal alır ve daha sonra karışım belirlenen bir sıcaklık değerine kadar ısıtılır. Isıtılan karışım ulaştığı son sıcaklık değerinde belli bir süre bekletildikten sonra sistemin basıncı atmosfer basıncına düşürülerek köpük elde edilir [64].

Daha sonra ürüne karbonizasyon işlemi uygulanır. Karbonizasyon işlemiyle köpük yapısına zarar veren gerilim kuvveti minimum değere düşürülerek karbon köpüğün plastiklik özelliğide önemli bir şekilde artmış olur. Bu metodla üretilen karbon köpükler düşük yoğunluk ve düşük dayanıma sahiptirler ve plastiklik özellikleri yüksektirler ve sahip olduğu bu fiziksel özelliklere uygun alanlarda kullanılırlar [64].

2.4.2.5 Poliakrilonitril (PAN) Tabanlı Karbon Köpük

Bu yöntemde elde edilen karbon köpük için kullanılan hammadde, en az bir alkali metal içeren çözelti içinde poliakrilonitrilin faz dönüşümü ile sağlanır. PAN tabanlı karbon köpük üretimi poliakrilonitrilin ısıtılmış bir çözeltide çözünmesi adımıyla başlar. Faz dönüşüm yoluyla poliakrilonitrilin sıvı-jel formunu oluşturmak için PAN ısıtılmış bir çözeltide çözünür ve daha sonra çözelti soğutulur. PAN'ın sıvı jel formundan çözülmüş alkali metal ayrıldığı zaman ve sistem yüksek bir sıcaklığa

ıkartılıp son çözelti artıklarıda vakum altında uzaklaştırıldıktan sonra PAN'ın gözenekli köpüğü elde edilmiş olur.

Elde edilen gözenekli PAN köpük inert ortamda yapılan karbonizasyon işlemi sonunda mikrohücreli karbon köpük elde edilmiş olur. Bu metodla elde edilmiş karbon köpüğün hücre boyutu ve açık gözeneklilik yapısı homojen bir şekilde dağılmıştır. PAN tabanlı karbon köpük absorbanlarda, katalizör destekleyicilerde, filtre ve elektrotlarda kullanılmaktadır [8].

2.4.2.6 Vinilidin Klorit Polimeri Tabanlı Karbon Köpük

Bu yöntemle sigara ve benzeri maddelerin zararlı gazlarını tutmak için kullanılan filtrelerin yapımında kullanılan karbon köpük üretimi yapılır.

Vinilidin klorit polimeri yapısındaki klorürün %50'sini uzaklaştırmak için reaksiyon verdiği amonyakla karıştırılır. Reaksiyon sonucu oluşan amonyum klorürün uzaklaşması için ve köpük oluşumu için sistem belirlenen bir sıcaklık değerine ısıtılır. Isıtma sonucunda yeterli büyüklükte gözenekli karbon köpük elde edilir [9].

Tablo 2.2'de farklı hammaddelerden üretilen karbon köpüklerin genel fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2: Farklı Hammaddelerden Üretilen Karbon Köpüklerin Genel Özellikleri
[8,9,48,65]

Karbon köpüğün hammaddesi	Yoğunluk (kg/m ³)	Gözeneklilik (%)	Açık gözeneklilik (%)	Dayanım (MPa)
Kömür	160-800	79.3 -87	39.1-98.4	2.5-18.7
Katran Zifti	560-670	64.8-72	83.5-98.2	8-18.2
Petrol Zifti	340	82.9	97.2	3.9
AR Mezofaz Zift	200-600	73-82	90-98	1-4
Vinilidin Klorit Polimeri	Düşük yoğunluklu	Yüksek gözenek	Açık gözenekli	Dayanım oldukça düşük
PAN	300-1000	Yüksek gözenek	Açık gözenekli	Dayanım oldukça düşük
Fenolik Reçine	265	Yüksek gözenek	Açık gözenekli	1.385

2.5 Karbon Köpük Üretim Aşamaları

2.5.1 Stabilizasyon

Stabilizasyon aşaması karbon köpük üretiminde önemli bir aşamadır [66]. Bütün karbon köpük üretim işlemlerinde stabilizasyon aşaması şart değildir. Karbon köpük mezofaz zift gibi termoplastik maddelerden üretildiği durumlarda stabilizasyon

gereklidir. Stabilizasyon olayında ürünün zorlanmış ya da doğal oksidasyona tabi tutularak karbon zincirlerinin birbirleriyle kesişmesi sağlanır ve böylece ürün sıcaklığa karşı direnç kazanır. Bu durumda yüksek sıcaklıkta gerçekleşen karbonizasyon aşamasında ziftin erime riskide ortadan kalkmış olur [67].

Stabilizasyon işlemi ziftin erime sıcaklığının 283-313 K üzerinde gerçekleşmektedir. Bu sıcaklığın aşılması durumunda oksitlenmiş tabaka kalınlaşarak köpüğün bozulmasına yol açar. Sıcaklığın istenen seviyenin altında olması durumunda ise oksidasyon yetersiz kalarak, karbonizasyon sırasında köpüğün yapısındaki gözenekler kapanma eğilimi içerisine girerler. Stabilizasyon işlemi genel olarak 8–24 saat arası bir sürede saf oksijen ya da hava ile gerçekleştirilir ve köpük ağırlığının %5-10 artmasıyla son bulur. Stabilize edilmiş köpük oda sıcaklığına soğutularak karbonizasyon işlemine hazır hale getirilmiş olur [67]. Stabilizasyon işleminde termal gerilimi önlemek için yapılan ısıtma ve soğutma işlemi kontrollü bir şekilde yapılır [11].

2.5.2 Karbonizasyon

Madencilikte karbonizasyon işlemi kömürün oksijensiz bir ortamda ısıtılarak gaz, sıvı ve katı ürünlerine ayrılması işlemidir. Karbonizasyon işlemi ile kimyasal hammaddeler dahi üretilebilmektedir. Karbonizasyon işleminin şartları üretim amacına yönelik olarak belirlenir. Madencilikte bu işlem kok üretimi ve briketleme için yapılır. Karbonizasyon işleminde çıkılan son sıcaklık ürün yapısını etkiler. Sıvı ve katran çıkışı 573 K civarında başlar ve 823-873 K’de sona erer. Buna karşın gaz çıkışı 1173-1273 K’e kadar devam eder [25]. Köpükleşme de yapılan karbonizasyon, sistemden inert bir gazın sürekli geçişi sağlanılarak karbon köpüğün 1173-1573 K’e kadar ısıtılması işlemidir. Burada kullanılan inert gaz helyum, argon veya nitrojen olabilir ve bu inert gazın kullanım sebebi köpüğün ısıtma işlemi sırasında dağılmasını önlemek içindir [11].

Karbonizasyon işlemi karbon köpüğün içindeki safsızlıkları uzaklaştırarak daha sağlam bir yapı ve daha iyi fiziksel özellikler kazanmasını sağlamak için yapılır [68]. Karbonizasyon işlemi sırasında karbon köpüğünün termal gerilimlere maruz kalmasını önlemek için son sıcaklık değerinde en az bir saat sabit bekletilmeli ayrıca ısıtma ve soğutma işlemi yavaş bir şekilde yapılmalı ısıtma ve soğutma hızı 1-5 K/dakika arasında tercih edilebilir [69].

2.5.3 Grafitizasyon

Grafitizasyon işlemi, termodinamik olarak kararsız olan grafitik olmayan karbonun termal işlemlerle grafitik yapıya dönüştürüldüğü katı hal dönüşümüdür [26]. Grafit yapısında bulunan atomlarının dizilişleri daha düzgün olduğundan elektrik ve ısı iletkenlikleri daha yüksektir. Köpükleşmede grafitizasyon aşamasının yapılış sebebi de budur [23].

Grafitizasyon aşamasında ürün inert atmosfer(helyum, argon veya nitrojen) altında kontrollü bir ısıtma hızı ile 2473-3273 K'lere çıkarılarak grafitik köpük elde edilir [11].

2.6 Karbon Köpüğün Uygulama Alanları

Karbon köpüğü düşük yoğunluğu, yüksek sıcaklık direnci, yüksek mekanik dayanımı, sıcaklıkla artan mekanik dayanım, grafitik yapıya uygunluk, gözenekli yapı, yüksek ısı iletkenlik, düşük ısı genleşme gibi özellikleriyle yeni nesil teknolojik bir malzeme olmuştur ve bu özellikleriyle birçok kullanım alanına sahiptir.

Tablo 2.3'de karbon köpüğün kullanıldığı uygulama alanları gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Karbon Köpüğün Uygulama Alanları [15]

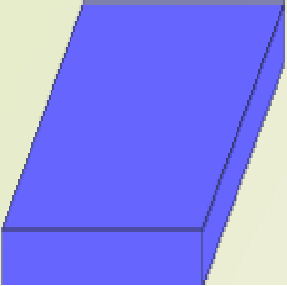
Uzay teknolojisi	• Anten sistemlerinde • Kompozit malzemelerde • Hafif aynalarda • Optik araçlarda • Roket başlıklarında • Termal korunma sistemlerinde • Roket motorlarında
Otomotiv	• Tamponlarda (darbe koruyucu malzeme) • Fren disklerinde • Katalitik konvertörlerde • Radyatörlerde • Pistonlarda • Motor parçalarında
Enerji	• Pil elektrotları • Yakıt hücrelerinde
Ticari	• Aşındırıcı malzemelerde (zımpara) • Ses yalıtım sistemlerinde • Sıcaklık yalıtım malzemesinde • Yanmaya dirençli malzemelerde • Filtrelerde • Güvenlik duvarlarında
Tıp	• Kemik yapımında • Diş dolgu malzemelerinde
Askeri	• Hafif zırh yapımında • Isı değiştiricilerde • Isı alıcılarda • Radar önleyici malzemelerde • Yüksek sıcaklık mermilerinde • Hassas mühimmatlarda
Gemi yapımında	• Yapısal yalıtım panelleri • Gemi duvarlarında

2.6.1 Isı Alıcılar

Isı alıcılar sıcaklığa karşı sistemlerin zarar görmesini engellemek için kullanılan cihazlardır. Bu cihazlar bilgisayar sistemlerinde çok sık kullanılmaktadırlar. Bilgisayarlarda sıcaklıkla çok çabuk bozulabilecek parçalar vardır. Bilgisayardaki bu parçaların, bilgisayarların çalışmasıyla artan sıcaklıktan zarar görmemesi için bilgisayarlar soğutucu fanlar yerleştirilmektedir fakat bu fanlar yetersiz kalmaktadırlar ve bu yüzden bilgisayarlar ayrıca ısı alıcılarda yerleştirilmektedirler.

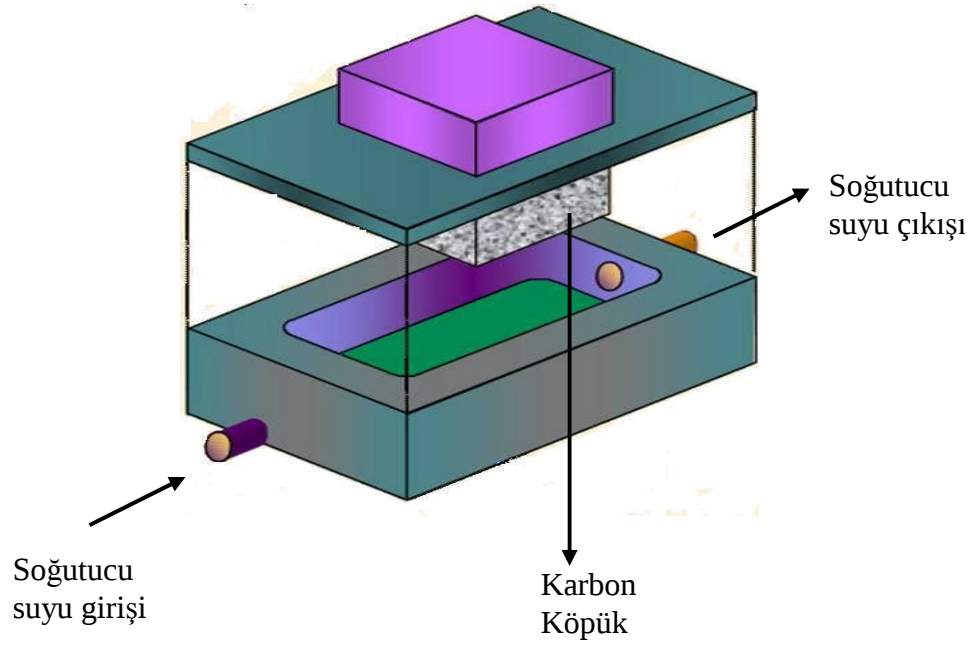
Bilgisayarlarda genelde alüminyumdan yapılmış ısı alıcılar kullanılırdı fakat karbon köpüğün hem daha iyi soğutma yapması hem de alüminyumun dörtte biri kadar daha az yer kaplaması bilgisayar teknolojisi için çok daha avantajlı bir durum yaratmıştır.

Şekil 2.12’de alüminyumdan ve karbon köpükten yapılmış ısı alıcılarının ağırlıkları ve ısınan yüzeyi soğuttukları sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

	Alüminyum Isı Alıcı	Karbon Köpük Isı Alıcı
		
Isınan yüzey 350 K	Isı alıcının ağırlığı = 44 gr Isınan yüzeyin sıcaklığı = 310 K	Isı alıcının ağırlığı = 8gr Isınan yüzeyin sıcaklığı = 307 K

Şekil 2.12: Alüminyum ve Karbon Köpüğünden Yapılmış Isı Alıcılar [70]

Şekil 2.13’de karbon köpükten yapılmış bir ısı alıcı modelinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Karbon Köpükten Yapılmış Isı Alıcı [71]

2.6.2 Zımpara

Karbon köpüğün bir başka kullanım şekli zımparalardır. Bu zımparaların üretildiği karbon köpükler, çok yüksek sertliğe sahip olan karbonun inorganik bir formundan yapılır. Üretilen karbon köpük çok yüksek sertliğe sahip olduğundan dolayı bu karbon köpükten yapılan zımparalarda yüksek aşındırma gücüne sahiptir. Yüksek aşındırma gücüne sahip olduğu için cam ve metal parlatılmasında ve ayrıca boyaların kazınmasında kullanılmaktadır [15].

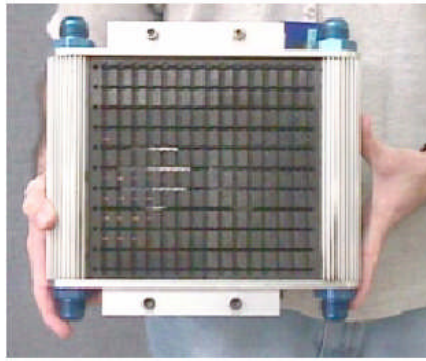
Şekil 2.14’de karbon köpükten yapılmış zımpara gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Karbon Köpükten Yapılmış Zımpara [15]

2.6.3 Isı Değiştiriciler

Mühendislik uygulamalarının en önemli ve en çok karşılaşılan sorunlarından birisi, farklı sıcaklıklardaki iki veya daha fazla akışkan arasındaki ısı değişimidir. Bir ısı değıştiricide aranılan iki özellik; geniş yüzey alanı ve yüksek ısıl iletkenliktir. Karbon köpüğün diğeri birçok malzemeye göre yüksek gözenekli yapısı sonucu sahip olduğı geniş yüzey alanı ve yüksek ısıl iletkenlik katsayısı onu ısı değıştiricileri yapımında aranılan bir malzeme haline getirmektedir. Şekil 2.15’de karbon köpükten yapılmış bir ısı değıştirici gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Karbon Köpükten Yapılmış Isı Değıştirici [71]

2.6.4 Uzay Sanayinde Hafif Ayna ve Roket Motorunda

Karbon köpüğün mekanik ve termal özelliklerinin birleşiminden dolayı uzay teleskoplarının ve yüksek güçteki lazerlerin yapımında kullanılan hafif aynaların yapımında kullanılmaktadırlar.

Roket motorları bir noktada daralan ve genişleyen bir yapıya sahiptir ve yakıtın yakılmasıyla açığa çıkan gazın itilmesi prensibiyle çalışırlar. İtilen gaz yüksek sıcaklık ve basınçta olduğı için kullanılan malzemenin buna dayanımlı bir malzeme olması gerekir. Günümüzde bu motorlar metal alaşımlarından, karbon-karbon veya karbon-fenolik bileşimlerinden yapılmaktadır bunlar ağır ve pahalı malzemelerdir. Karbon köpüğün ısıl genleşme katsayısının düşük olması ve sıcaklıkla artan mekanik dayanımı ve daha ucuz maliyetiyle uzay endüstrisinin bu alanında da aranılan bir malzemesidir [15].

Şekil 2.16’da karbon köpükten yapılan hafif ayna ve roket motoru gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.16: (a) Hafif Ayna (b) Roket Motoru [15]

2.6.5 Katalitik Konvertörler

Katalitik konvertör ya da katalitik dönüştürücüler motorların egzozlarındaki çevreye zararlı maddeleri daha az zararlı maddelere dönüştüren cihazlardır. En yaygın uygulaması otomobillerdedir [18].

Karbon köpük sahip olduğu açık gözenekli yapısıyla egzoz gazları için ideal geniş bir yüzey yaratır ve bu yüzden katalitik konvertörlerin yapımında birçok malzemeden daha avantajlıdır [15].

Şekil 2.17’de karbon köpükten yapılan katalitik konvertörler gösterilmiştir.



Şekil 2.17: Karbon Köpükten Yapılan Katalitik Konvertörler [15]

2.6.6 Batarya ve Yakıt Pilleri

Karbon köpüğü açık gözenekli yapısı, geniş yüzey alanı, yüksek elektrik iletkenliği ve malzemelerle kimyasal reaksiyon vermeyen yapısıyla yeni nesil bataryaların yapımında aranan ideal bir malzeme haline gelmiştir. Karbon köpük bataryalarda

anot veya katotu oluşturabilmek için birkaç aktif maddeyle kaplanılabilir. Şekil 2.18’de karbon köpükten yapılan bataryalar gösterilmiştir.

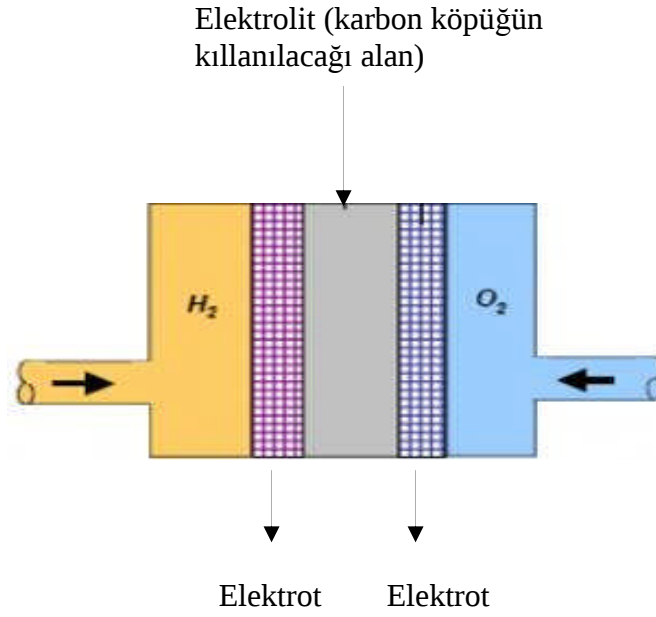


Şekil 2.18: Karbon Köpükten Yapılan Bataryalar [15]

Yakıt pilleri, yakıttaki kimyasal enerjiyi herhangi bir enerji dönüşüm prosesi gerektirmeden hidrojenin oksijenle reaksiyonu sonucu elektrik enerjisine yüksek verimle dönüştüren cihazlardır. Yakıt pilleri başlıca iki elektrot(anot-katot) ve elektrotların arasına konulan bir elektrolitten oluşur [72]. Bir yakıt hücresinde giriş akımının yeterince nemli olmaması yakıt hücresindeki membranda kuru bölgelerin kalmasına neden olur buda voltajda ve enerji veriminde düşüğe neden olur. Yakıt pilinden iyi verim alınabilmesi için giriş akımının nemli olması gerekir bunun içinde giriş akımının uygun bir sıcaklıkta tutulması gerekir [73].

Karbon köpük yakıt pillerinde elektrolit olarak kullanılabilir ve kullanılan diğer malzemelere göre çok daha avantajlıdır. Karbon köpüğün yüksek termal iletkenliği ve geniş yüzey alanı sayesinde ortam şartları ne olursa olsun yakıt piline giren akımın nemli olması sağlanmış olur. Karbon köpüğün birçok kimyasal reaktife karşı çok iyi korozyon direnç göstermeside yakıt pillerinde kullanılmasında başka bir avantaj sağlar [74].

Şekil 2.19’da yakıt pillerinin yapısı gösterilmiştir.

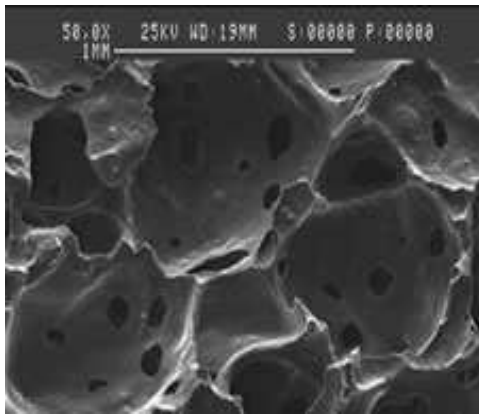


Şekil 2.19: Yakıt Pillerinin Yapısı [72]

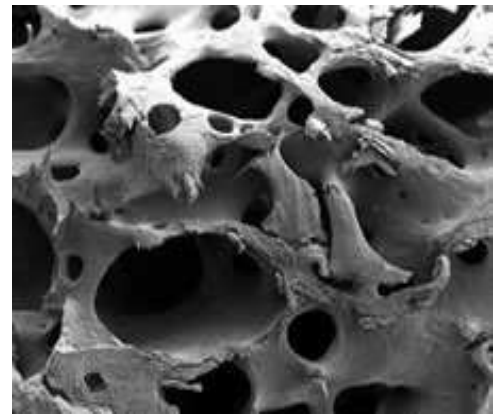
2.6.7 Tıp Alanında

Tıp ve dişle ilgili ekipman ve malzeme endüstrisi dünyada en çok ses getiren endüstrilerden biridir. Karbon köpüğün mekanik dayanımı, biyolojik uyumu ve gözenekliliğiyle tıpta kullanımı THR (komple kemik değişimi) gibi cerrahi yöntemlerle yapılan kemik değişimi operasyonlarında büyük ses getirmiştir [15,80].

Şekil 2.20’de karbon köpüğün SEM görüntüsü ve kemiğin yapısı verilmiştir iki görüntü oldukça benzerdir.



(a)



(b)

Şekil 2.20: (a) Karbon Köpük Yapısı (b) Kemik Yapısı [15]

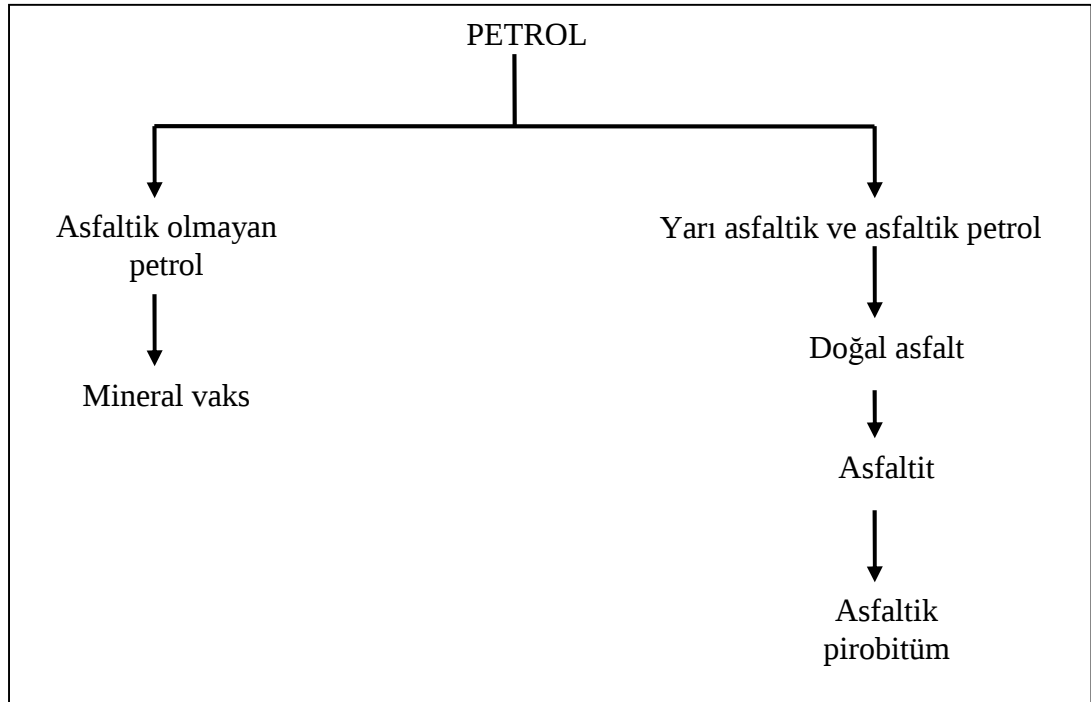
2.7 Asfaltit

Yeraltında petrolden oluşan veya kökeni petrole benzeyen çeşitli hidrokarbonlar bulunur. Bunların en başında petrol çanağının üstünün açılması sonucu veya jeolojik olaylarla petrolün çanağını terk etmesi ve hafif maddelerin uçmasıyla meydana gelen asfalt gölleri ve bitümlü kumlar gelir. Kayaç çatlaklarını dolduran veya damar şeklinde bulunan hidrokarbonlar “asfaltit” olarak adlandırılır. Geçmişte, filon şeklinde yataklanmış olan asfaltit zuhurları genellikle kömür, turba gibi bitkisel artıkların bir ürünü olarak kabul edilmiştir. Bu düşüncenin geçersiz olduğu bugün kesinlikle anlaşılmıştır. Asfaltik maddelerin petrol olduğuna en kesin kanıt, linyitin içerdiği oksijen miktarının, asfaltik maddelerdeki oksijen miktarından çok daha fazla olmasıdır. Asfaltik maddelerde oksijen miktarı %3 civarındayken, çeşitli kömür türlerinde bu oran %3-44 arasında değişmektedir.

Petrolün zamanla değişime uğramasıyla değişik kimyasal ve fiziksel özellikler gösteren asfaltik maddeler oluşur. Petrol, zamanla olan değişimin etkisinden önce koyu renkli, ısıtılınca eriyebilen, bir dereceye kadar uçucu olmayan ve karbon sülfürde fazla miktarda çözünen doğal asfaltlara çevrilir. Daha sonra koyu renkli, ısıtılınca oldukça zor eriyen, uçucu olmayan ve karbon sülfürlerde çözünen sert asfaltlara ve en sonunda siyah, sert, ısıtılınca erimeyen, karbon sülfürde çözünmeyen ve uçucu olmayan asfaltik pirobitümlere dönüşür.

Asfaltitler 393-588 K arasında erir ve karbon sülfürde %60-90 arasında çözünürler. Asfaltik pirobitümler yüksek sıcaklıkta sıvılaşmadan şişerek kimyasal parçalanmaya uğrarlar, karbon sülfürde ise çok az çözünürler. Doğal asfaltların değişimin birinci evresinde oluşmaları nedeni ile aşağı yukarı bir buharlaşma olayı sonucu ortaya çıktığı düşünülebilir. Bizi günümüzde doğrudan ilgilendiren asfaltik pirobitümlerin, değişimin en etkili evresinde meydana geldiği görülmektedir. Bu nedenle asfaltik pirobitümler, buharlaşmadan çok, bir reaksiyon ve dönüşüm ürünleridir. Değişimin ileri evrelerinde, oksidasyon, polimerizasyon, biyodegradasyon ve kondenzasyon olayları olur ve hidrokarbon molekülleri, molekül ağırlığı yüksek olan daha karışık moleküllere dönüşürler [75].

Şekil 2.21’de petrolün uğradığı değişikliğin derecesine bağlı olarak oluşan değişik karakterdeki asfaltik maddeler gösterilmiştir.



Şekil 2.21: Petrolden Asfaltik Maddelerin Oluşum Evresi [76]

2.7.1 Türkiye’de Asfaltit Rezervleri ve Üretimi

Şimdiye kadar yapılan araştırmalar sonucunda ülkemizde daha çok Güneydoğu Anadolu bölgesinde Şırnak, Mardin ve Hakkari illeri sınırları içinde sayıları yirmiye yaklaşan, çeşitli asfaltik madde filonları saptanmıştır. Ama bunların ancak dördü rezerv bakımından önemli sayılabilir.

Tablo 2.4’de Türkiye’deki asfaltit rezervleri gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Türkiye’de Asfaltit Rezervleri (Bin ton) [75]

Saha Adı	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Mardin (Silopi,Harbol, U. Kardeşler)	27386	18732	----	46118
Şırnak	10931	9523	8300	28754
Hakkari-Uludere	----	400	----	400
Toplam Rezerv	38317	28655	8300	75272

Dünyadaki ortalama %1 kül içeren asfaltik maddelerden, Türkiye’deki oluşumlar, %40 civarındaki yüksek kül oranları ile farklılaşmaktadır. Önceleri ısınma amacı ile kullanılan asfaltitlerin, 1965 yılında, Yeni Çeltek Kömür ve Madencilik A.Ş. tarafından düzenli üretimine geçilmiştir. Üretim Şırnak’taki Avgamasya ve kısmende Segürük filonlarının açık işletmeye elverişli kesimlerinde sürdürülmüştür.

Türkiye’de en büyük asfaltit rezervleri Şırnak’ta bulunmaktadır. Tablo 2.5’de Şırnak asfaltiti numunesinin analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.5: Şırnak Asfaltiti Analiz Sonuçları [75]

Madde	Oran (%)
Nem	%0,32
Kül	%39,35
Uçucu Madde	%34,08
Sabit Karbon	%26,25
Alt Isıl Değeri	3444 kcal/kg
Üst Isıl Değeri	4551 kcal/kg

2.7.2 Asfaltitin Kullanım Alanları

Asfaltit rezervlerinin dünya üzerinde sınırlı oluşu ve bulunduğu yerlerde de yakıt olarak kullanılışı yüzünden yakın zamana kadar dünya ekonomisinde özel bir yeri olmamıştır. Dünyadaki kömür ya da petrol kökenli, bitüm ve pirobitüm içeren oluşumların, alternatif sıvı/gaz yakıt ve kimyasal hammadde üretimine yönelik kullanım imkanlarının araştırılmasıyla birlikte, konu Türkiye’de de gündeme gelmiş ve asfaltitlerin tanınması ve değerlendirilmesine yönelik çalışmalar hızlanmıştır. Avgamasya asfaltiti, piroliz ve ekstraksiyon olmak üzere iki ana grupta toplanabilecek çalışmalarla incelenmiştir.

Orhun (1969), 803 K’de ‘‘Fischer’’ retordunda, farklı derinliklerden alınmış örneklerden %8-12 arasında yağ, %6-8 arasında gaz ve %79-84 arasında kalıntı verimleri elde etmiştir, derinlik artıka yağ veriminin azalıp, kalıntının arttığını gözlemiştir.

Ekinci ve Ç.A. (1982), 798 K ve 1103 K’de piroliz sonucu elde edilen katranların verim ve yapılarını Soxhlet ekstraktlarıyla kıyaslamışlardır. MTA Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen ayrıntılı piroliz çalışmalarında üç değışik ısıtma hızı ile 1073-1173 K’e çıkıldığında, oluşan ürünlerin dağılımı ve özellikleri incelenmiş, asfaltitlerin çok yönlü değerlendirilme olanakları tartışılmıştır. Bartle ve Ç.A. (1981), karbonat ve sülfatları hidroklorik asitle, piriti ise hidroklorik asit ve çinko tozu ile giderilmiş örnekte, Soxhlet ekstraksiyon verimlerinin yükseldiğini belirtmiştir. Tolay. (1982), karbonat, sülfat ve piritte ek olarak hidroklorik asitle silikatları da gidermiş ve asfaltitin kül içeriğini %52’nin altına düşürmüştür. Yardım (1984), asfaltite doğrudan piroliz uygulaması yerine, ekstrakt ayrıldıktan sonra kalan katının pirolizi ve kokun akışkan yatakta yakılarak değerlendirilmesi yoluyla, toplam ekstrakt verimi kuru, külsüz bazda %35’e ulaşmıştır.

Şenatalar (1984), orijinal ve mineral maddesi giderilmiş asfaltitin, 623-723 K sıcaklık aralığında ve çeşitli gaz yoğunluklarında süperkritik gaz ekstraksiyonu ve yine aynı sıcaklık aralığında hidrojen-verici çözücü (tetralin) ekstraksiyonu yöntemleriyle sıvılaştırılma potansiyelini araştırmış ve elde edilen ekstraktların verim ve yapılarını incelemiştir.

Kömürlere kıyasla hidrojenca daha zengin olan yüksek kükürt içerikli asfaltitlerin, doğrudan yakılması yerine piroliz ya da ağır petrol kesimlerine uygulanan

hidrokraking ve hidro işlem yöntemleriyle yakıt ve kimyasal hammaddelerde gereksinimini karşılamak üzere dönüştürülerek kullanılması çok daha faydalı bir iştir [75].

Asfaltit rezervleri Şırnak ve Silopi yöresinde yer almaktadır. Türkiye Kömür İşletme (TKİ) Kurumuna ait sahalarda 80 milyon tona yakın rezerv bulunmaktadır. Günümüzde asfaltitler teshinde, boya, vernik, otomobil lastiği, matbaa mürekkebi, genişletilmiş kauçuk, zemin karoları, su geçirmez kablolar, paslanmayı önleyici örtü boyaları yapımında kullanılmaktadır. Kalorisi yüksek, işlenildiğinde gaz elde edilebilen, külünde nadir mineraller bulunan asfaltitin ısınmada kullanımının azaltılması, endüstriyel hammaddeler üretiminde hammadde olarak ve asfaltitin yeraltı üretim metodu ile üretilebilmesi imkânları araştırılmalıdır [77].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde karbon köpük üretiminde kullanılan hammaddenin karakterizasyonu, deney düzeneği, deneyin yapılışı, uygulanan parametreler, üretilen karbon köpüğün karakterizasyonunda kullanılan ekipmanlar ve kullanılan parametrelerin üretilen karbon köpüğe etkileri verilecektir.

3.1 Karbon Köpük Üretimi İçin Kullanılan Asfaltitin Karakterizasyonu

Daha önce araştırmacılar tarafından karbon köpük üretimi için birçok hammadde kullanılmıştır. Bu çalışmada karbon köpüğü üretmek için ilk kez Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunan asfaltit kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan asfaltit Şırnak ilinin Avgamasya bölgesinden temin edilmiştir. Asfaltit dış görünüşü olarak kömüre benzeyen fakat petrol tabanlı bir maddedir ve daha öncede genelde yakıt amaçlı kullanılmıştır. Asfaltitin ergime sıcaklığı 583–598 K aralığında değiştiği saptanmıştır. Bu sonuç literatür verileriyle uygunluk göstermektedir. Şekil 3.1'de asfaltit görülmektedir.



Şekil 3.1: Asfaltit

Karbon köpük üretmeden önce asfaltitin özellikleri tayin edilmiştir. ASTM D 3174 standartına göre kül, ASTM D 3173 standartına göre nem ve ASTM D 3175 standartına göre uçucu madde analizi yapılmıştır. Asfaltitin sabit karbon içeriği ise

uçucu madde, nem ve kül yüzdelerinin toplamının 100'den çıkarılmasıyla belirlenmiştir [75]. Analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Asfaltitin Kısa Analiz Sonuçları

Madde	Oran (%)
Kül	%41,76
Uçucu Madde	%33,28
Nem	%0,70
Sabit Karbon	%24,26

Tablo 3.2'de asfaltit için yapılan elementel analiz sonuçları verilmiştir.

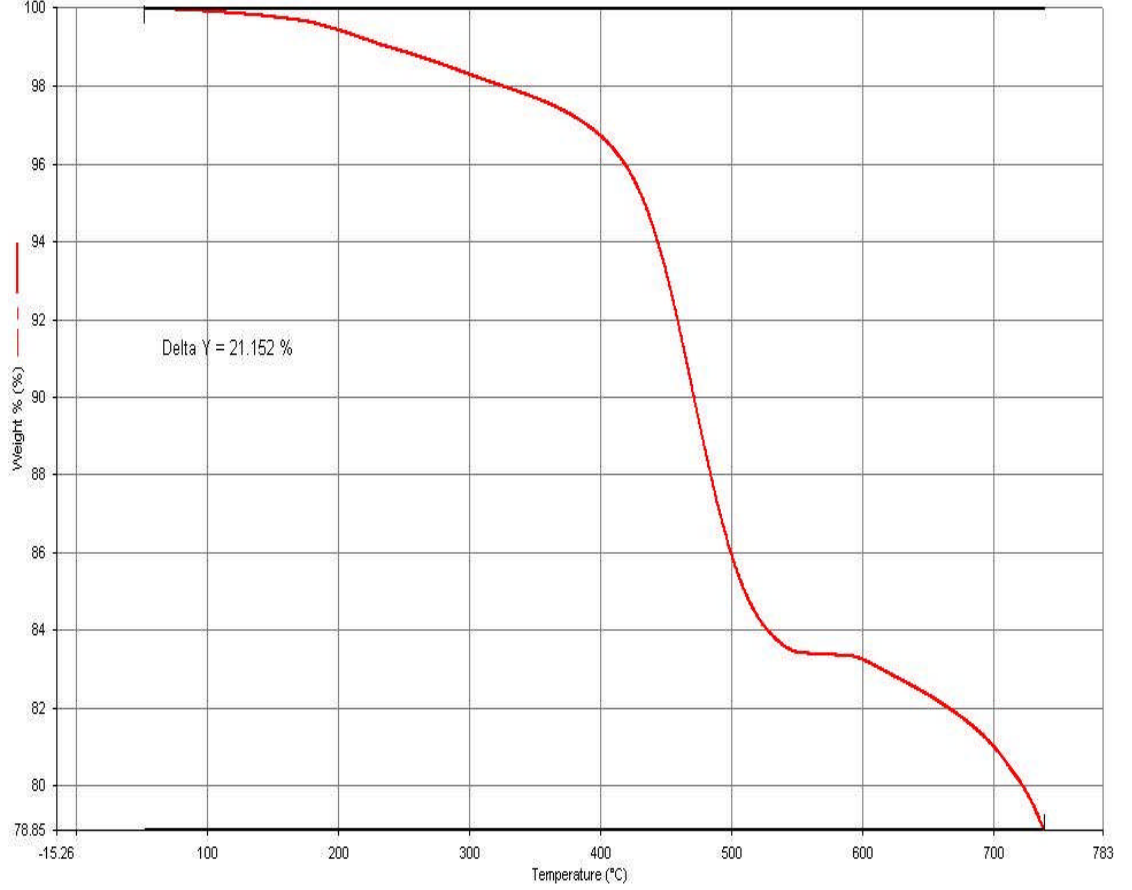
Tablo 3.2: Asfaltitin Elementel Analiz Sonuçları

Madde	Oran (%)
Karbon (C)	% 42.5
Kükürt (S)	% 6.0
Oksijen (O)	% 21.0
Azot (N)	% 2.8
Hidrojen (H)	% 4.06

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilen sonuçlar genel olarak literatür sonuçlarıyla uyum içindedir [75,76].

Karbon köpüğün üretilmesinde en önemli parametrelerden biri olan çalışma sıcaklığı aralığı TGA cihazı sayesinde belirlenmiştir. TGA'ya verilen 0,2 gr öğütülmüş asfaltit sonucu alınan sıcaklık-kütle kaybı grafiğinden faydalanılarak kütle kaybının en fazla olduğu sıcaklık aralığı çalışma sıcaklık aralığı olarak belirlenmiştir. Köpükleşme mekanizmasında üretilen köpüğün özelliklerini etkileyen iki önemli faktör vardır. Bunlar karbon köpük hammaddesinin sıcaklığa bağlı olan akışkanlık ve şişme değerleridir. Kullanışlı bir karbon köpük eldesi için bu iki değerinde maksimum

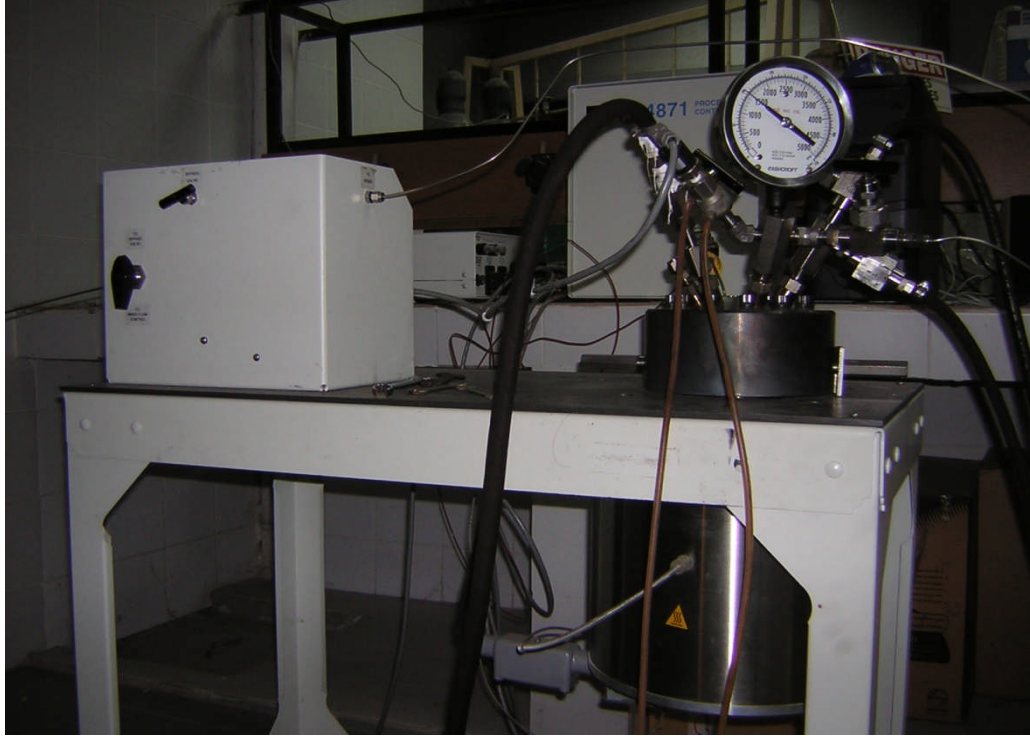
değerde olması istenir ve bu iki değer maksimum olduğu değer genelde kütle kaybının maksimum olduğu sıcaklık civarında meydana gelmektedir [48]. Şekil 3.2’de TGA’dan alınan sıcaklığa bağlı kütle kaybı grafiği verilmiştir.



Şekil 3.2: Avgamasya Asfaltinin TGA Sıcaklık-Kütle Kaybı Grafiği

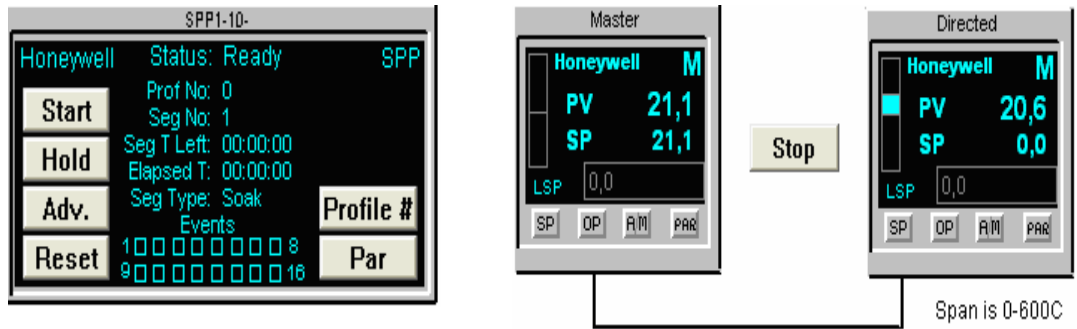
3.2 Deney Düzenegi

Deneylerin gerçekleştirildiği reaktör, paslanmaz çelikten yapılmış bilgisayar kontrollü, yüksek sıcaklık (873 K) ve yüksek basınçlarda (35 MPa) çalışabilen bir reaktördür. Reaktörde sıcaklık ve basınç kontrolü kaskat kontrol sistemi adı verilen bir bilgisayar programı ile yönetilmektedir. Şekil 3.3’te deneylerin yapıldığı reaktör görülmektedir.



Şekil 3.3: Reaktör

Kaskat kontrol sistemi çok fonksiyonlu bir sistemdir. Bu sistemde reaktör sıcaklığı, ısıtma süresi, ısıtma hızı, son sıcaklıkta bekleme süresi, sabit sıcaklık fonksiyonu, ısıtıcının minimum ve maksimum sıcaklığı, sisteme verilmesi gereken basınç ve ısıtıcı gücü gibi birçok değişken ayarlanabilmektedir. Şekil 3.4’de kaskat kontrol sisteminin menüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Kaskat Kontrol Sistemi

3.3 Deneyin Yapılışı

Deneyisel çalışmada karbon köpük üretimi için yapılan ilk işlem, asfaltit numunesinin 50-100 mesh boyutuna öğütülmesidir. Asfaltitin toz haline getirilmesinin sebebi

homojen bir yapı oluşturmaktır. Şekil 3.5'te toz haline getirilen asfaltit görülmektedir.



Şekil 3.5: Şırnak Asfaltitinin Tozlaştırılmış Hali

Asfaltitten 20 gr alınarak alüminyum bir kaba konulmuştur. Alüminyum kap laboratuarda hazırlanmıştır. Şekil 3.6'da görülen kap silindir şeklinde olup 0.1 m yüksekliğinde ve 0.037 m çapındadır.



Şekil 3.6: Karbon Köpüğün Üretildiği Alüminyum Kap

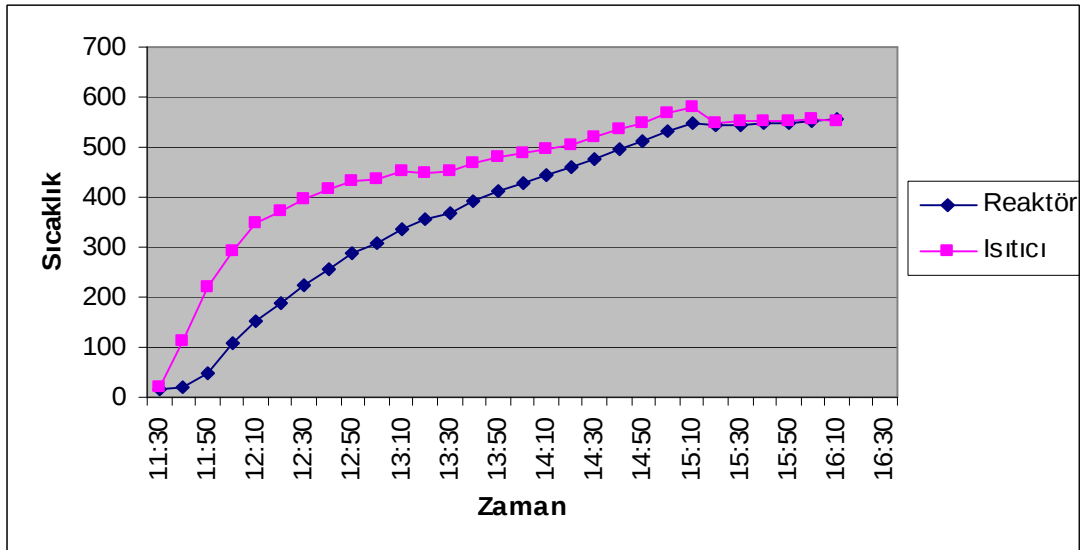
Asfaltit alüminyum kaba konulduktan sonra bu alüminyum kap sisteminin paslanmaz çelik reaktör haznesine konulur. Reaktör haznesi oldukça geniş ve yüksektir. Üç tane alüminyum kap alacak kapasitededir. Reaktörün ağzı gaz kaçağını önlemek amacı ile sıkıca kapatılır.

Deneye başlamadan önce sistemde gaz kaçağı olup olmadığı kontrolü yapılmıştır. Bunun için sisteme 1.5-2 MPa basınçta azot gazı beslenmiş ve 5 dakika boyunca sistemdeki gaz basıncı değeri kaskat kontrol sistemindeki dijital ekrandan ya da reaktörün üzerinde bulunan analog basınç göstergesinden takip edilmiştir. Sistemde gaz kaçağı yoksa sistemdeki havayı uzaklaştırmak için en az 2 defa 1 MPa değerindeki azot gazı ile süpürülmüş ve daha sonra sistem 5 dakika vakum altında tutulmuştur.

Süpürme işlemi tamamlandıktan sonra köpük elde etmek için sisteme önceden belirlenmiş miktarda azot gazı beslenilir. Sisteme iki yolla basınç beslenebilir, direk azot tüpünün vanası açılarak analog olarak ya da kaskat kontrol sisteminden verilen komutla sisteme gaz beslenebilir. Kaskat kontrol sistemiyle yapılan işlem daha hassastır. Sisteme belirlenen değerde gaz verildikten sonra sistem önceden belirlenen bir sıcaklık değerine kontrollü bir şekilde ısıtılır. Sıcaklık artışı dakikada 2–2.5 K'dir. Isıtma başladıktan sonra 10 dakikada bir sistemin sıcaklık değeri kaydedilir ve sistem kontrollü bir şekilde ısıtılır.

Sistem istenilen sıcaklık değerine ulaştıktan sonra reaktörde homojen bir sıcaklık elde etmek için son sıcaklık değerinde 1 saat bekletilir.

Şekil 3.7’de sistemin ısıtılması sürecinde sıcaklığın zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 3.7: Isıtıcı ve Reaktör Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi

İstenilen sıcaklığa ulaşıldıktan sonra sistemin basıncı çok hızlı bir şekilde (5–6 saniyede) atmosfer basıncına düşürülür. Gazın hızlı boşaltılması sonucu asfaltitteki

uçucu maddeler sistemden uzaklaşarak gözenekli karbon köpük elde edilmiştir. Gaz boşaltma işleminden sonra reaktör soğumaya bırakılıp ve bir gün sonra köpük reaktörden çıkartılmıştır. Şekil 3.8’de üretilen karbon köpük görülmektedir.



Şekil 3.8: Üretilen Karbon Köpük

Köpük karakterize edilmek üzere ya da karbonizasyon işlemine tabi tutulana kadar yaklaşık 368-378 K arasında sabitlenen vakum fırınında saklanılır. Köpüğün vakum fırınında saklanması nede ni nem kapmasını engellemektir.

Bu çalışmanın iki amacı bulunmaktadır; 1) Asfaltin karbon köpük üretimine uygun bir hammadde olup olmadığını belirlemek 2) Uygun olması durumunda optimum üretim koşullarını belirlemektir.

Bu çalışmada karbon köpükler elde edildikten sonra direk karbonizasyon işlemine tabi tutulmamıştır. Optimum koşullar belirlendikten sonra bu koşullarda üretilmiş karbon köpük numuneleri karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Karbonizasyon bir karbonizasyon fırınında gerçekleştirilmiştir. Bu fırın 0.05 m çapında ve 0.9 m uzunluğunda yatay bir hazneye sahiptir. Karbon köpük homojen bir sıcaklık bölgesinde bulunması açısından bu haznenin tam merkezine konulmuştur.

Karbonizasyon işleminde köpüğün yüksek sıcaklıklarda dağılmasını önlemek ve açığa çıkan uçucu maddeleri süpürmek için dakikada 0,0005 m³ akış hızına sahip

azot gazı kullanılmıştır. Şekil 3.9’da karbonizasyon işleminin gerçekleştirildiği karbonizasyon fırını görülmektedir.



Şekil 3.9: Karbonizasyon Fırını

Karbonizasyon işleminde ulaşılan son sıcaklık 1323 K’dir. Bu sıcaklığa kademeli bir şekilde çıkılır. Köpüğün elde edildiği sıcaklık olan 823 K’e oda sıcaklığından başlanılarak dakikada 2.5 K’lik ısıtma hızıyla çıkılmış ve 823 K’e ulaşıldıktan sonra 823 K’de 1 saat bekletilmiştir. Bekleme süresinden sonra 823 K’den 1123 K’e dakikada 1.5 K’lik ısıtma hızıyla çıkılır ve 1123 K’e ulaşıldıktan sonra orda 1 saat bekletilir.

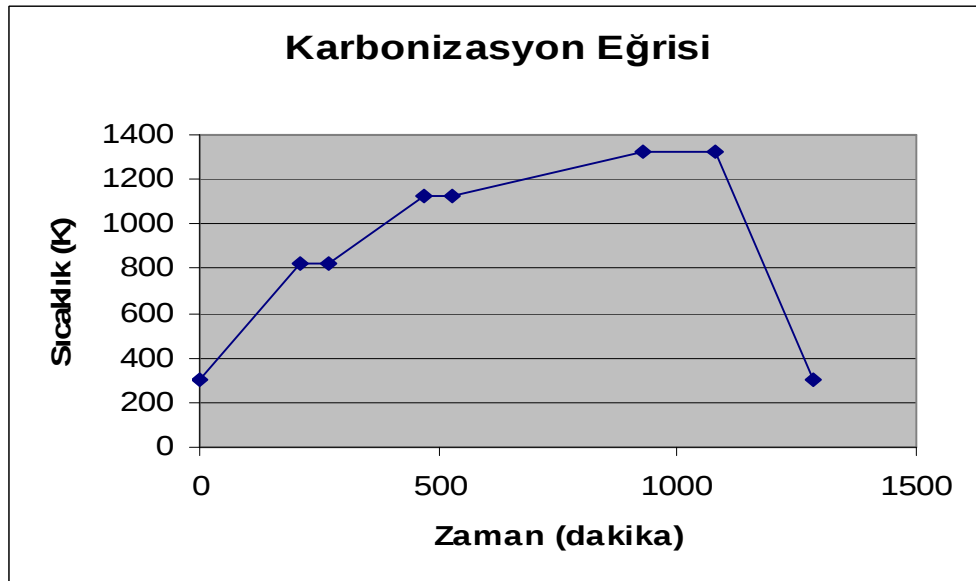
Isıtmanın son kademesi 1123 K’den 1323 K’e dakikada 0.5 K’lik ısıtma hızıyla çıkılır ve 1323 K’e ulaşıldıktan sonra 2.5 saat bekletilir. 2.5 saatten sonra 5 K’lik soğumayla 1323 K’den ortam sıcaklığına düşülür.

Tablo 3.3’de karbonizasyon işleminin kademeleri gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Karbonizasyon İşlemi Kademeleri

Sıcaklık (K)	Isıtma veya Soğutma Hızı (K /dk)	Bekleme Süresi (dk)
823	2.5	60
1123	1.5	60
1323	0.5	150
298	5	-

Şekil 3.10’da karbonizasyon işleminde sıcaklığın zamanla değişim eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.10: Karbonizasyon İşlemi Sıcaklık Eğrisi

3.4 Deneysel Parametrelerin İncelenmesi

Bu çalışmada karbon köpük üretiminde üretilen köpüğün özelliklerini etkileyen dört parametre incelenmiştir. Bu parametreler; basınç, sıcaklık, basınç boşaltma süresi ve son sıcaklıkta bekleme süresidir.

3.4.1 Basıncın Etkisi

Bu çalışmada ilk parametre olarak basınç incelenmiştir. Sırasıyla 1, 1.8, 2.5, 2.85, 4.5, 6.8, 7.8, 9.8 MPa giriş basınçlarında karbon köpükler üretilerek basıncın etkisi incelenmiştir. Bu deneyler sırasında çalışma sıcaklığı TGA eğrisinden yararlanılarak ve kömürden üretilen karbon köpük çalışmalarından yola çıkılarak 773 K olarak seçilmiştir [31]. Son sıcaklıkta bekleme süreside 1 saat seçilmiştir [31].

Boşaltma süreside en hızlı boşaltma yapılacak şekilde seçilmiştir. Literatür verileri doğrultusunda bu süre 5–6 saniye olarak belirlenmiştir [78].

3.4.2 Sıcaklığın Etkisi

Basınç parametresi deneylerinde en uygun çalışma basıncı belirlendikten sonra, sıcaklığın köpük oluşumuna etkisi çalışmaları yapılmıştır. Sırasıyla 673, 723, 773, 823 ve 873 K'lik sistemin ulaştığı son sıcaklıkların, üretilen köpüklerin üzerindeki etkisi incelenmiştir.

3.4.3 Basınç Boşaltma Süresinin Etkisi

Basınç ve sıcaklık etkilerinin belirlenmesinden sonra, sistemin son basınç değerinin ortam basıncına düşürülme hızının köpük oluşumuna etkisi incelenmiştir. Sırasıyla 5 s, 150 s, 190 s, 310 s ve 650 s'lik boşaltma sürelerinin üretilen köpüğe etkileri incelenmiştir.

3.4.4 Son Sıcaklıkta Bekleme Süresinin Etkisi

Bu çalışmada karbon köpüğüne etkisi incelenen dördüncü ve son parametre sistemin ulaştığı en yüksek yani karbon köpüğün elde edildiği sıcaklıkta bekleme süresidir. Sırasıyla 60, 30 ve 15 dakikalık bekleme sürelerinde üretilen köpüklerin özellikleri incelenmiştir.

3.5 Karbon Köpüğün Karakterizasyonunda Kullanılan Ekipmanlar

3.5.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Üretilen karbon köpük numunelerinin yapısını incelemek için kullanılan cihazlardan biri taramalı elektron mikroskobudur (SEM). Karbonun yapısının taramalı elektron mikroskobu tarafından incelenmesi yapısal çalışmalarda çok büyük avantajlar sağlamıştır.

Üretilen karbon köpüğünün görüntüsünü istenilen oranlarda büyüterek yapısal bozuklukların keşfedilmesinde ve kısaca yapısının yorumlanmasında çok büyük fayda sağlamıştır. Taramalı elektron mikroskobu özellikle köpüğün gözenek ve hücre duvarlarının yapısıyla hücrelerin birbiriyle bağlantılarının incelenmesinde çok büyük avantaj sağlamıştır. Bu çalışmada Jeol firmasının JSM-6390LV modeli taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Kullanılan SEM cihazı numunenin boyutunu 18 ile 300.000 kat arasında büyütebilmektedir.

3.5.2 Dayanım Testi

Dayanım testi, malzemenin iki tabaka arasında sıkıştırılmasına gösterdiği davranışı saptamak için yapılır. Dayanım testinde malzemenin ne kadar basınca dayandığı saptanır. Malzemenin sıkışma dayanımı, malzemeye uygulanan kuvvet miktarı malzemenin yüzey alanına bölünerek bulunur. Bu çalışmada dayanım testleri Autograph firmasının AGS-J modeli ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modelde 10 kN'a kadar kuvvet uygulanabilmektedir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

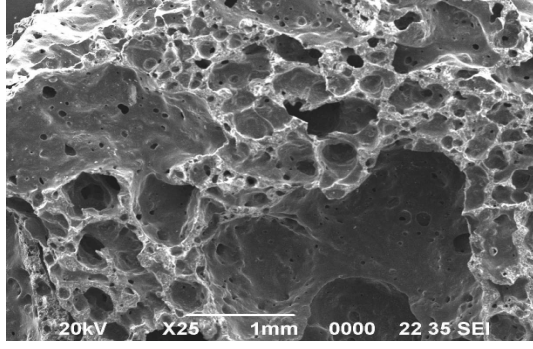
Çalışmanın bu kısmında deneysel sonuçlar ve bu sonuçların yorumları verilmiştir. Proses parametrelerinin yani basınç, sıcaklık, basınç boşaltma süresinin ve son sıcaklıkta bekleme süresinin üretilen karbon köpük numunelerinin özelliklerine nasıl etki ettiği değerlendirilmiştir. Farklı parametreler sonucu üretilen karbon köpüklerin özellikleri yapılan karakterizasyon çalışmaları ile belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen bütün karbon köpüklerin taramalı elektron mikroskopunda 25, 75, 200 ve 400 defa büyütülmüş görüntüleri çekilmiştir. Ayrıca bütün karbon köpüklerin dayanım testi sonucu sıkışma dayanımları belirlenmiş ve karbon köpükler belli bir geometrik şekle getirildikten sonra hacimleri ve ağırlıkları ölçülerek yoğunlukları belirlenmiştir.

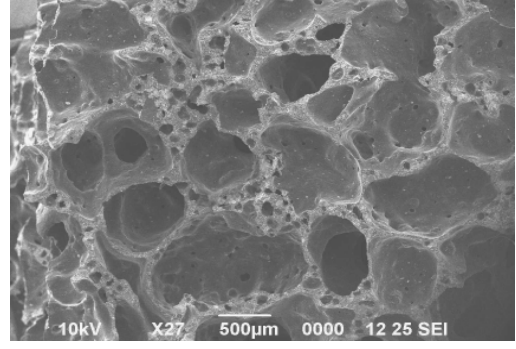
4.1 Karbon Köpük Üretiminde Basıncın Etkisi

Bu çalışmanın, deneysel çalışmalarına basınç parametresindeki değişikliklerin köpük oluşumuna etkisini belirleyerek başlanmıştır. Bu amaca ulaşmak için sıcaklık (773 K), en hızlı basınç boşaltma süresi (5-6 s) ve ulaşılan son sıcaklıkta bekleme süresi (60 dk) parametreleri sabit tutularak sırasıyla 1, 1.8, 2.5, 2.85, 4.5, 6.8, 7.8, 9.8 MPa giriş basınçlarında silindirik karbon köpükler üretilmiştir.

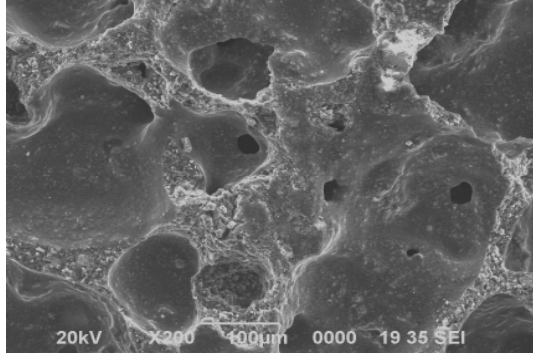
Üretilen karbon köpüklerin gözenekli yapıları taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Karbon köpüklerin taramalı elektron mikroskopunda iki farklı büyütmeyle (X25, X200) çekilmiş görüntüleri şekil 4.1’de verilmiştir.



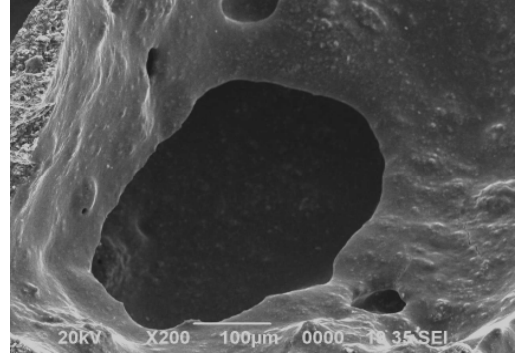
(a1) 1 MPa (X25)



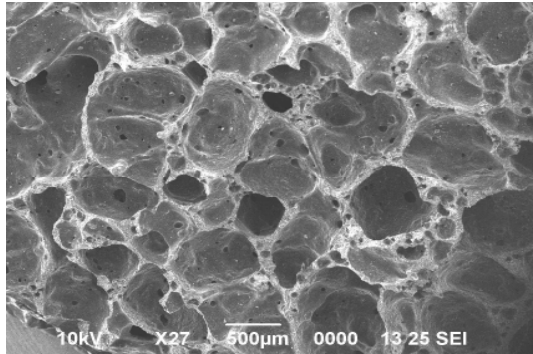
(b1) 1.8 MPa (X25)



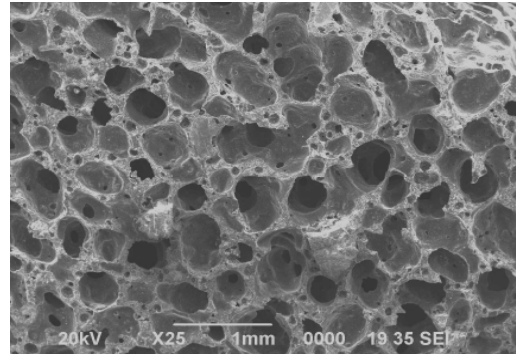
(a2) 1 MPa (X200)



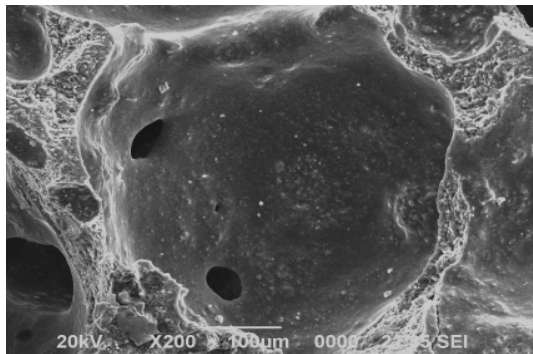
(b2) 1.8 MPa (X200)



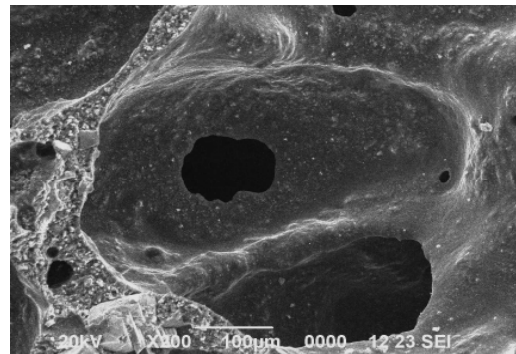
(a3) 2.5 MPa (X25)



(b3) 2.8 MPa (X25)

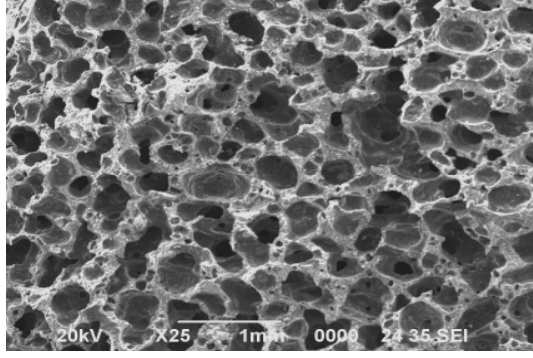


(a4) 2.5 MPa (X200)

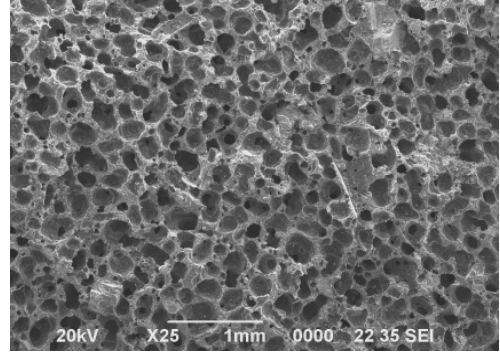


(b4) 2.8 MPa (X200)

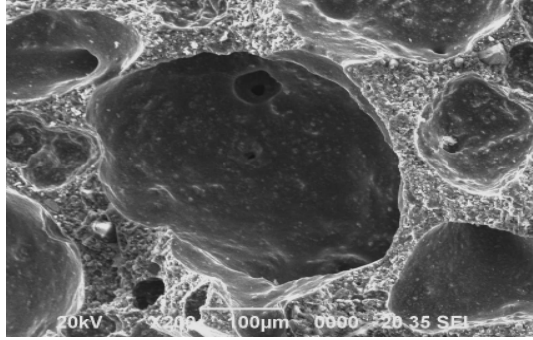
Şekil 4.1: Farklı Basınçlar Sonucunda Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri



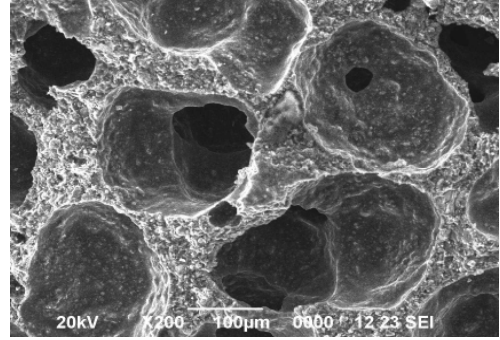
(c1) 4.5 MPa (X25)



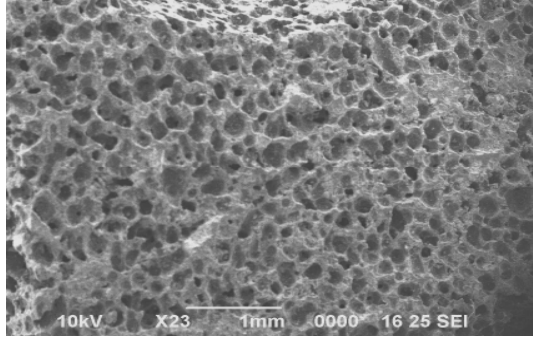
(d1) 6.8 MPa (X25)



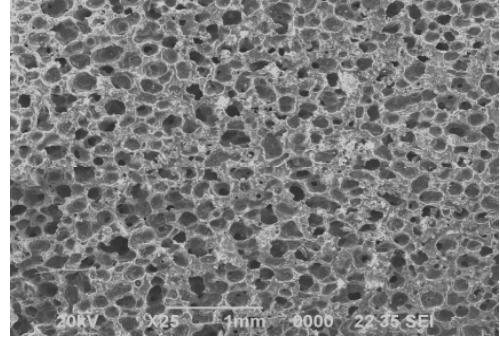
(c2) 4.5 MPa (X200)



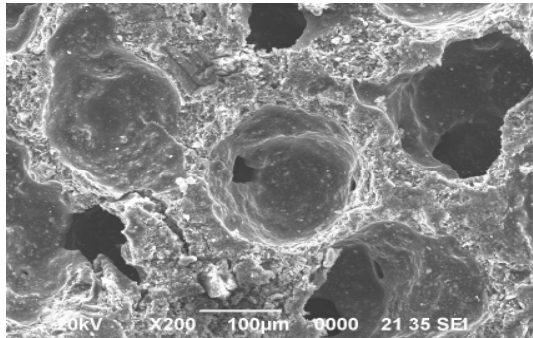
(d2) 6.8 MPa (X200)



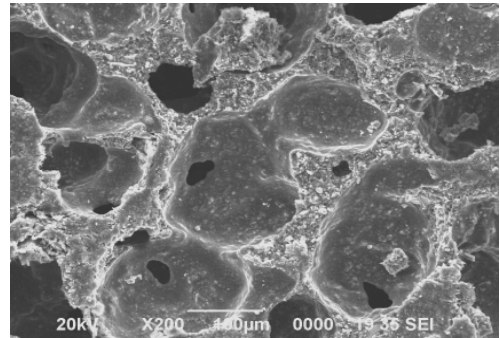
(c3) 7.8 MPa (X25)



(d3) 9.8 MPa (X25)



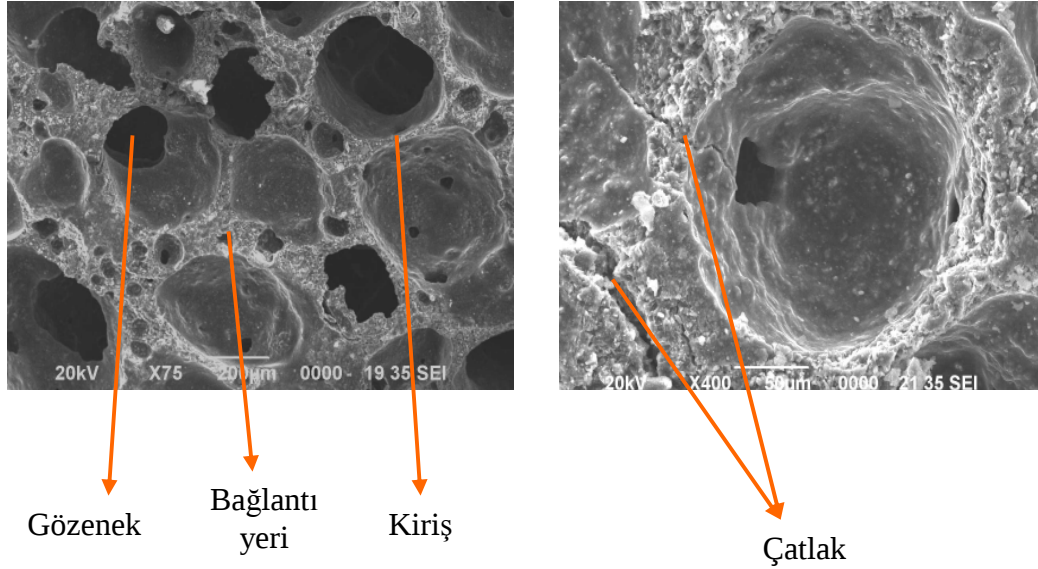
(c4) 7.8 MPa (X200)



(d4) 9.8 MPa (X200)

Şekil 4.1: Farklı Basınçlar Sonucunda Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (Devam)

1 MPa'da elde edilen karbon köpük gözenekli bir yapıya sahiptir fakat hücre boyutları düzensiz ve büyüktür. Hücre duvarlarında çok sayıda çatlaklar görülmektedir. Karbon köpüklerin hücre yapısını ve gözenekliliğini daha iyi açıklayabilmek için Şekil 4.2'de gösterilen kiriş (iki hücre duvarının birleştiği çizgi), birleşme noktası ya da kavşak (en az üç hücrenin birleştiği nokta) ve çatlak terimleri kullanılmaktadır.



Şekil 4.2: Karbon Köpüğün Yapısının Analizinde Kullanılan Terimler

1 MPa'la yapılan deney sonucu elde edilen köpükte bağlantı noktaları ve kirişler oluşmamaktadır. 1.8 MPa'da üretilen köpükler 1 MPa'da üretilenlerle benzer görüntü vermektedir. Gözenekler biraz daha küçülmüş, hücreler biraz daha şekillenmiştir. Fakat yapıları homojen değildir ve bağlantı noktaları ile kirişler yeteri kadar oluşmamıştır.

Basınç 2.5 MPa'a çıkarıldığında elde edilen köpüğün yapısı 1.8 MPa'a göre daha homojen bir hücre yapısına sahiptir ve hücreler yuvarlak bir geometriye yönelmeye başlamıştır. Hücreler arasındaki bağlantı noktaları ve kirişler oluşmaktadır, hücre duvarlarındaki çatlaklarda azalmıştır. Aynı zamanda gözenek boyutu ve gözeneklilikte azalmaktadır. Basınç 2.85 MPa'a çıkarıldığında elde edilen köpük genel özellikleriyle 2.5 MPa'da elde edilenle oldukça benzerdir.

Basınç 4.5 MPa'a çıkarıldığında elde edilen köpüğün hücre yapısı 2.85 MPa'dakine göre daha homojen, hücre geometrisi daha küresel, hücreler arasındaki bağlantı noktaları ve kirişler daha belirginleşmiş ve hücre duvarlarındaki çatlaklar daha da

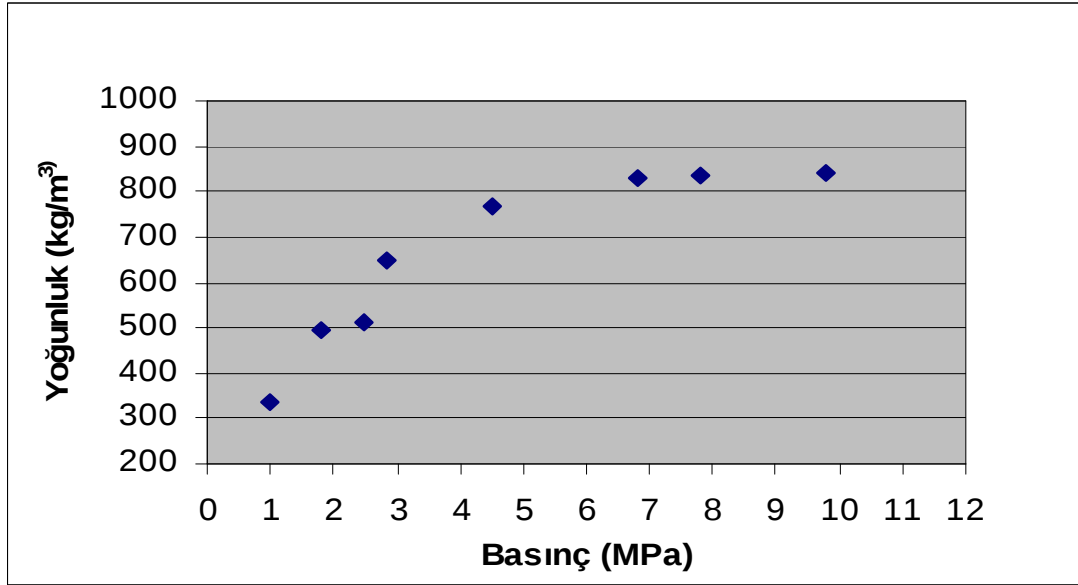
azalmıştır. Basınç 6.8 MPa'a çıkarıldığında elde edilen köpüğün hücre yapısı daha homojen, hücrelerin geometrisi daha küreselleşmiş, gözeneklilik biraz daha azalmış, hücreler arasındaki bağlantı noktaları ve kırışlar daha belirginleşmiştir.

Basıncın 7.8 ve 9.8 MPa'a çıkarılmasıyla elde edilen köpüklerin genel özellikleri 6.8 MPa'dakine oldukça benzerlik göstermektedir fakat gözeneklilik daha da azalmaktadır.

Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri gösteriyor ki giriş basıncının artışı, gözenek ve hücre boyutunu küçültmüş ve köpüğün gözenekliliğini azaltmıştır. Basınç artışı ile hücre yapısı ve gözenek dağılımı daha düzenli ve homojen hale gelmiştir. Basınç artışı ile hücreler arasında daha sağlam bağlantı noktaları ve kırışların oluşumu meydana gelirken hücre duvarlarındaki çatlaklarda azalmıştır.

Basıncın artması ile hücre içerisinde toplanan uçucu madde daha da artarak hücre duvarlarına daha yüksek bir gerilim uyguladığı için daha fazla gözeneğin açılmasına ve gözenek başına uçucu çıkışının daha da azalması ile sonuçlandığı düşünülmüştür. Bu nedenle gözenek boyutları artmamıştır. Basıncın artışıyla gözeneklerin açıldığı düşünülmesine rağmen artan basınç sonucu yoğunluğun artması ile köpüğün gözenekli yapısında azaldığı düşünülmüştür.

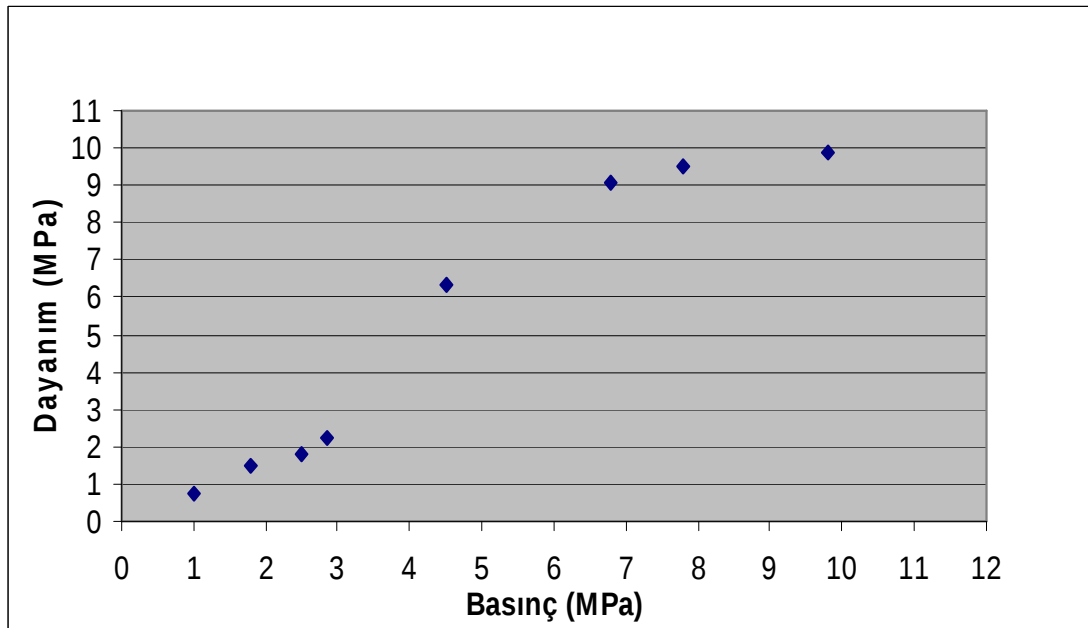
Şekil 4.3'de farklı giriş basıncı değerlerinde elde edilen karbon köpüklerin yoğunluk değerleri verilmiştir.



Şekil 4.3: Farklı Basınçlarda Üretilmiş Karbon Köpüklerin Yoğunlukları

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi basınç artışıyla birlikte üretilen karbon köpüklerin yoğunluğu artmaktadır. Basınç artışı yoğunluğu direk değiştirebilen bir parametredir. Basıncın artırılması ile artan gerilim kompakt bir yapı oluşturmaktadır.

Şekil 4.4’de farklı giriş basıncı değerlerinde elde edilen karbon köpüklerin sıkışma dayanımı sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.4: Farklı Basınçlarda Üretilmiş Karbon Köpüklerin Dayanımları

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi basınç artışıyla birlikte üretilen karbon köpüklerin dayanımları artış göstermektedir. Basıncın artışıyla dayanım artışı 6.8 MPa’a kadar daha fazla olurken 6.8 MPa’dan sonra basıncın dayanım üzerindeki etkisi biraz daha azalmaktadır. Basıncın artmasıyla karbon köpüklerin dayanımlarının artmasının en büyük sebebi köpüğün yapısındaki hücrelerin arasındaki bağlantı noktalarının ve kırıların artan basınçla hem artması hem de daha da sağlamlaşmasıdır.

Karbon köpüklerin karakterizasyon sonuçları yapısını belirleyen yapısal parametrelerdeki gelişme birbirlerini destekleyen hususlardır.

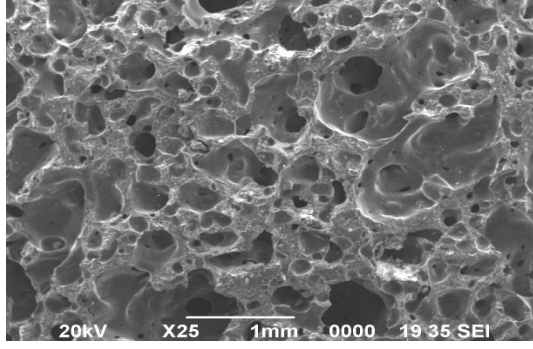
Yapılan basınç deneyleri sonrası elde edilen karbon köpüklerin yapılan karakterizasyon çalışmaları sonucunda 6.8 MPa’da elde edilen karbon köpüğün sahip olduğu özellikler gerek taramalı elektron mikroskobu, yoğunluğu ve dayanımı ortalama değerlerde olup özellikle dayanımı göz önünde bulundurularak yapılan basınç deneyleri arasında 6.8 MPa uygun değer seçilmiştir.

Bu aşamadan sonra sabit basınç (6.8 MPa), sabit basınç boşaltma süresi (5-6 s) ve son sıcaklıkta sabit bekleme süresi (60 dk) seçilip ikinci parametre olan sıcaklık parametresinin irdelenmesine geçilmiştir.

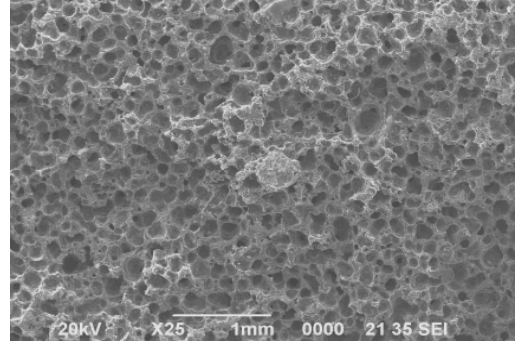
4.2 Karbon Köpük Üretiminde Sıcaklığın Etkisi

Basınç parametresi incelenmesi deneylerinden 6.8 MPa değeri çalışma basıncı seçildikten sonra sıcaklığın karbon köpüğün oluşumuna etkisinin incelenmesine geçilmiştir. Sıcaklık parametresinin belirlenmesi deneyleri sırasında basınç (6.8 MPa), basınç boşaltma süresi (5-6 s) ve son sıcaklıkta bekleme süresinin (60 dk) sabit tutulup reaktörün son sıcaklığı 673 K, 723 K, 773 K, 823 K ve 873 K olarak değiştirilerek asfaltitten karbon köpükler üretilmiştir.

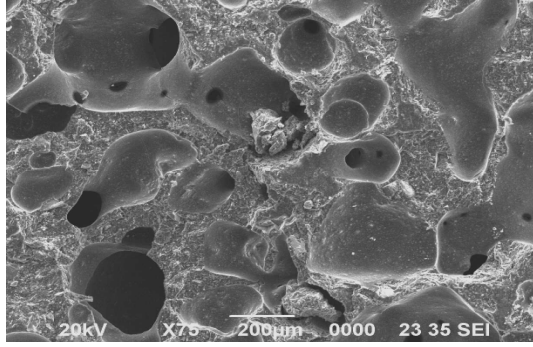
Üretilen karbon köpüklerin taramalı elektron mikroskobunda dört farklı büyütmeyle (X25, X75, X200, X400) çekilmiş görüntüleri şekil 4.5’de verilmiştir.



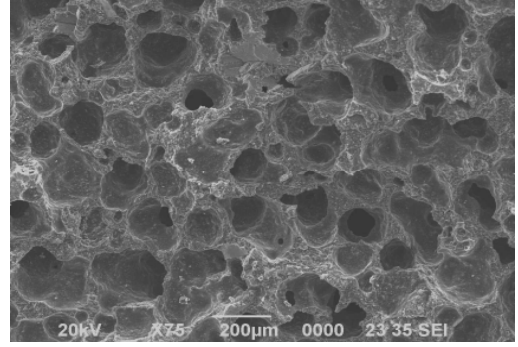
(a1) 673 K (X25)



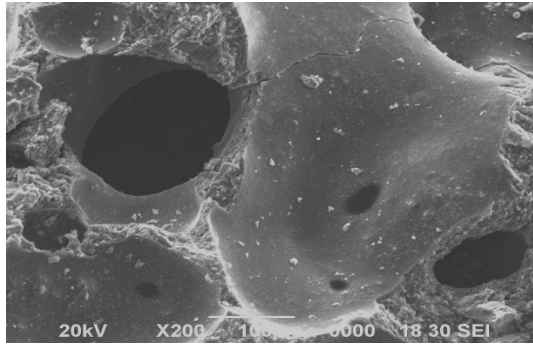
(b1) 723 K (X25)



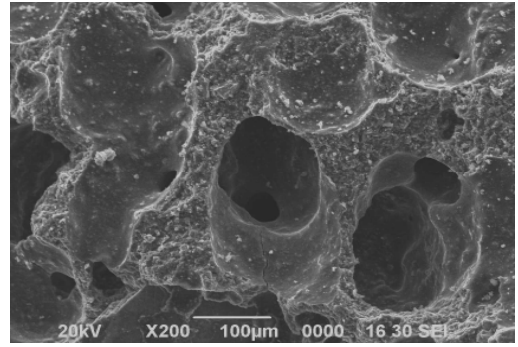
(a2) 673 K (X75)



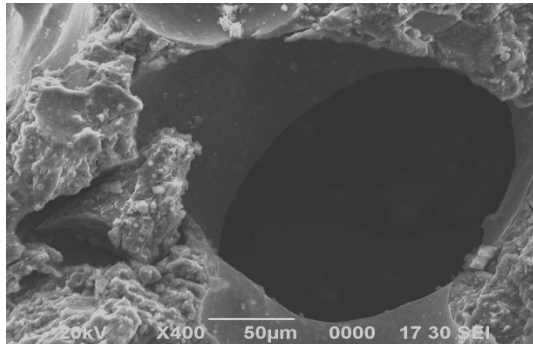
(b2) 723 K (X75)



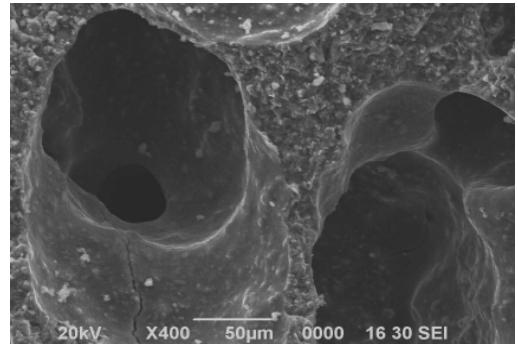
(a3) 673 K (X200)



(b3) 723 K (X200)

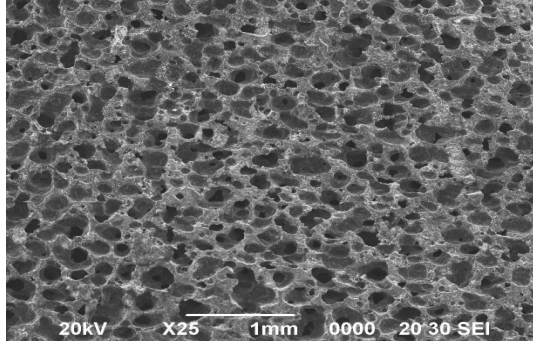


(a4) 673 K (X400)

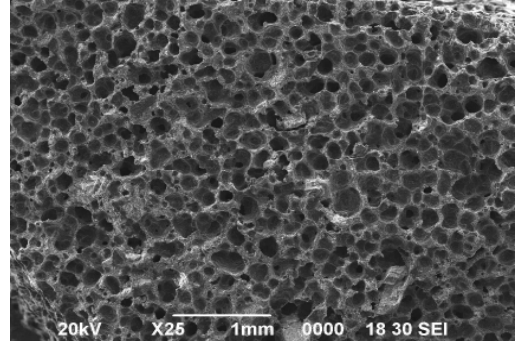


(b4) 723 K (X400)

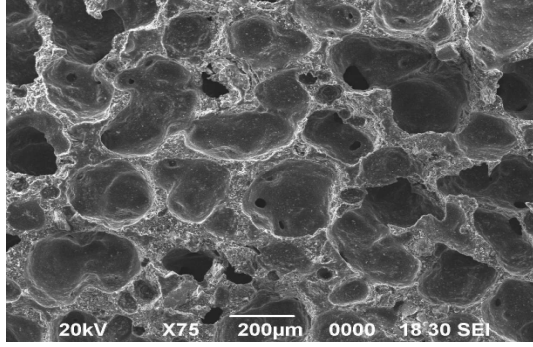
Şekil 4.5: Farklı Sıcaklıklar Sonucunda Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri



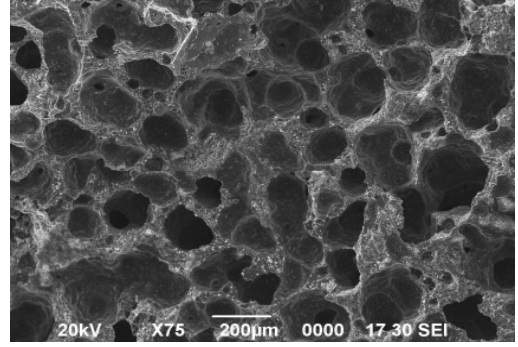
(c1) 823 K (X25)



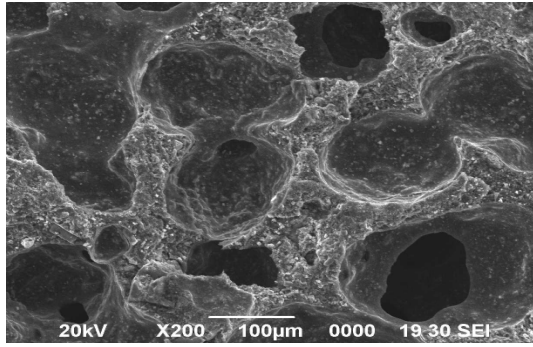
(d1) 873 K (X25)



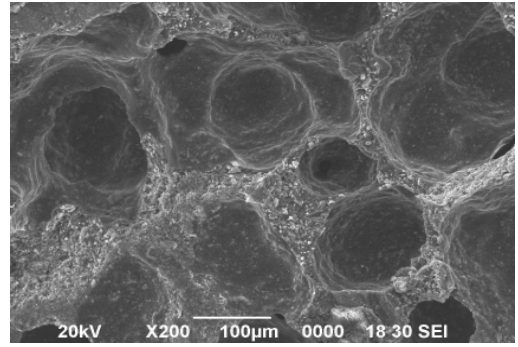
(c2) 823 K (X75)



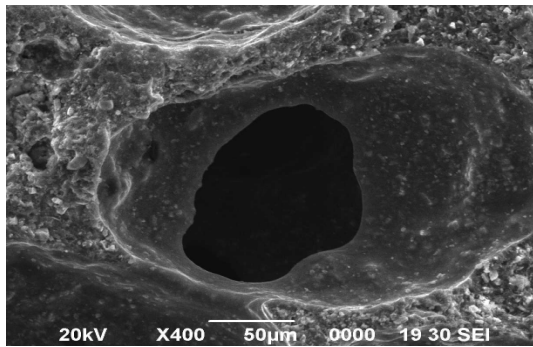
(d2) 873 K (X75)



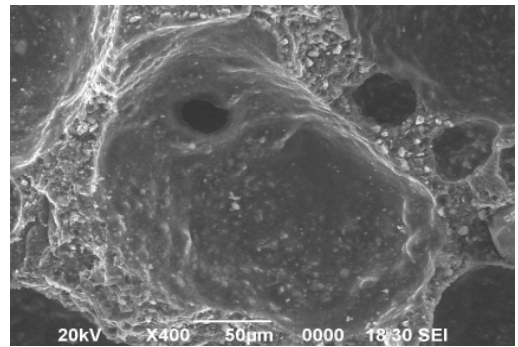
(c3) 823 K (X200)



(d3) 873 K (X200)



(c4) 823 K (X400)



(d4) 873 K (X400)

Şekil 4.5: Farklı Sıcaklıklar Sonucunda Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (Devam)

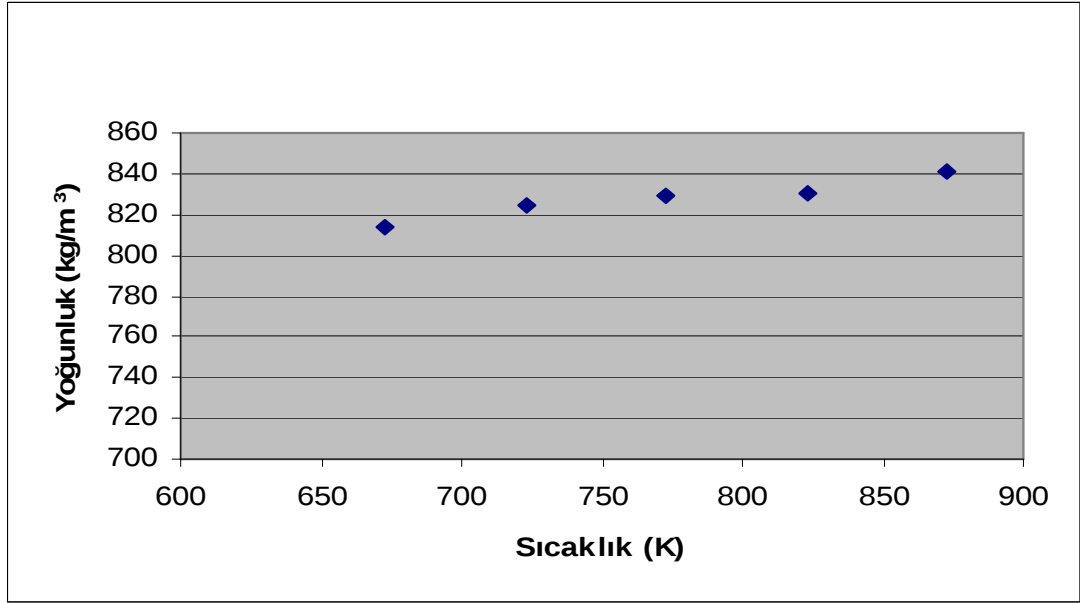
673 K’de elde edilen karbon köpüğün gözenek ve hücre yapısı kendi içinde oldukça farklılık göstermektedir. Hücre geometrisi şekilsizdir yani küresellikten uzak bir hücre yapısı oluşmaktadır. Elde edilen köpüğün hücre boyutları ve gözenek boyutları düzensiz ve büyüktür. Hücreler arasındaki hücre bağlantı noktaları ve kırışların oluşumu görünmemektedir. Taramalı elektron mikroskobundan alınan şekil 4.5’de a3’deki görüntüye bakıldığında hücre duvarlarında çatlakların olduğu görünmektedir.

Sıcaklık parametrelerinde 723 K’de elde edilen karbon köpüğün taramalı elektron mikroskobundan alınan görüntüleri incelendiğinde ve 673 K’de elde edilen karbon köpükle kıyaslandığında önemli farklılıkların olduğu görünmektedir. 723 K’de elde edilen köpüğün gözenek ve hücre boyutu daha düzgün ve oldukça küçülmüştür. Hücre geometrisi küresel hale gelmiştir ve hücreler arasındaki hücre bağlantı noktaları ve kırışların oluşumu meydana gelmektedir. Hücre duvarlarındaki çatlaklarda azalma görünmektedir.

Sıcaklığın 823 K olduğu deneyde elde edilen köpüğün yapısı ise 723 K’de elde edilen üründen daha homojen bir yapıya sahiptir. Hücre boyutunda küçülme olmuştur ve hücre geometrisindeki küreselleşme daha da fazlalaşmış bunun sonucunda da hücreler arasındaki hücre bağlantı noktaları ve kırışların oluşumunda artma görünmektedir. Hücre duvarlarındaki çatlakların miktarında da büyük bir azalma görünmektedir.

873 K’de elde edilen köpüğün yapısal analizi 823 K’de elde edilen köpükle oldukça benzerlik göstermektedir. Aralarındaki benzerliğe rağmen 873 K’de elde edilen köpüğün hücre boyutu daha da küçülmüştür ve hücreler daha da küresel hale gelmiştir ve bunun sonucunda da hücreler arasındaki hücre bağlantı noktaları ve kırışların oluşumunda artış görünmektedir. Ayrıca hücre duvarlarındaki çatlakların sayısında önemli miktarda düşüş görünmektedir.

Şekil 4.6’da sistemin ulaştığı son sıcaklık değerlerinde elde edilen karbon köpüklerin yoğunluk değerleri verilmiştir.

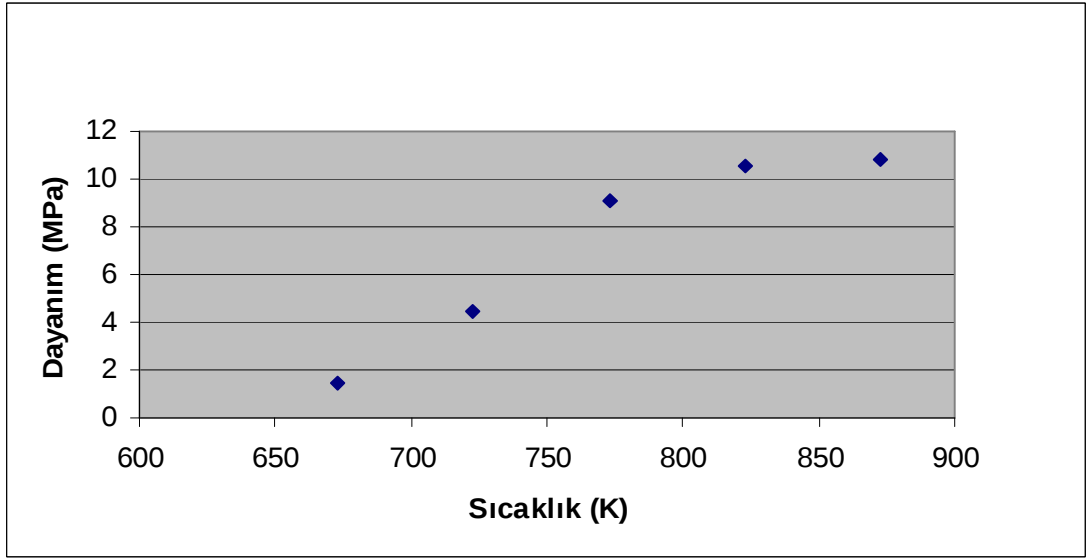


Şekil 4.6: Farklı Sıcaklıklarda Üretilmiş Karbon Köpüklerin Yoğunlukları

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi sıcaklık artışı üretilen karbon köpüklerin yoğunluk değerlerinde pek fazla değişiklik meydana getirmese de sıcaklık artışıyla yoğunluk miktarı çok az miktarda da olsa artmaktadır. Bu değerlerden anlaşılıyor ki sıcaklık etkisi yoğunluk üzerinde basınç kadar etkili bir parametre değildir.

Bu davranımın nedeni yukarda basınç değişimi deneylerinde 6.8 MPa basınç seviyesine çıkıldığında sistemin yoğunluk anlamında bir dengeye ulaştığı görülmüştü. Bu nedenle sıcaklık değişimi de marjinal bir etki yapmıştır.

Şekil 4.7’de sistemin ulaştığı son sıcaklık değerlerinde elde edilen karbon köpüklerin sıkışma dayanımı sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.7: Farklı Sıcaklıklarda Üretilmiş Karbon Köpüklerin Dayanımları

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi sıcaklık artışıyla birlikte üretilen karbon köpüklerin dayanımları artış göstermektedir. Sıcaklık artışıyla dayanım artışı 773 K’e kadar fazla olurken 773 K’den sonra sıcaklığın dayanım üzerindeki etkisi azalmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla özellikle 673 K’den 723 K’e geçişte karbon köpüklerin dayanımlarının artmasının en büyük sebebi köpüğün yapısındaki hücrelerin arasındaki bağlantı noktalarının ve kirişlerin artan sıcaklıkla daha da artması ve sağlamlaşmasıdır.

Yoğunluk değişmezken yapısal değişimin arkasındaki neden vizkositeden kaynaklanan yapısal değişimlerdir.

Şekil 4.7’deki veriler gösteriyor ki sıcaklığın köpüğün dayanımı üzerindeki etkisi basınç gibi çok önemlidir. Bu nedenle ürün tasarımında öncelikli olarak düşünülmelidir.

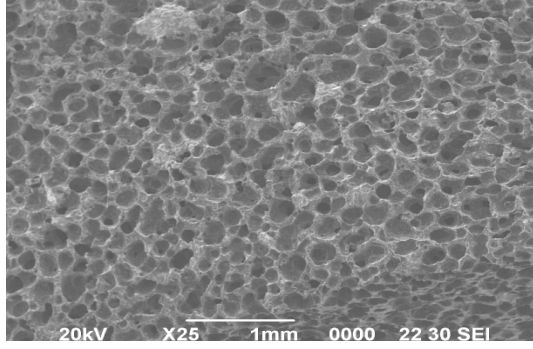
Yapılan sıcaklık deneyleri sonrasında elde edilen karbon köpükler üzerinde gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmaları sonucunda dayanım ve taramalı elektron mikroskobu görüntülerinden çıkarılan sonuçlar neticesinde ve özellikle dayanımı göz önünde bulundurularak 823 K çalışma sıcaklığı olarak seçilmiştir.

4.3 Karbon Köpük Üretiminde Basınç Boşaltma Süresinin Etkisi

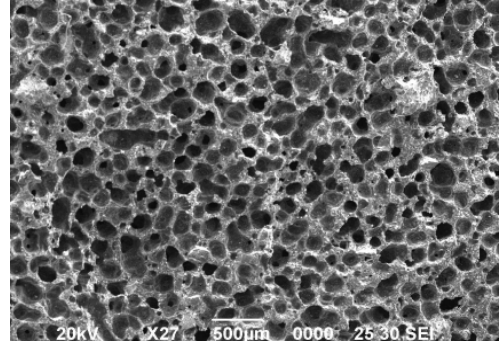
Optimum basınç 6.8 MPa ve optimum sıcaklık 823 K olarak belirlendikten sonra, basınç boşaltma süresinin asfaltitten üretilen karbon köpük üzerine etkisi

incelenmiştir. Basınç boşaltma süresi parametresinin belirlenmesi deneyleri sırasında basınç (6.8 MPa), sıcaklık (823 K) ve son sıcaklıkta bekleme süresinin (60 dk) değerleri sabit tutulup sırasıyla 5, 150, 190, 310 ve 650 saniyelik basınç boşaltma sürelerinde silindirik karbon köpükler üretilmiştir.

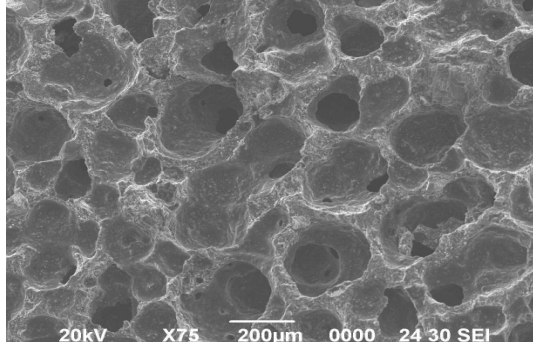
Üretilen karbon köpüklerin taramalı elektron mikroskopunda dört farklı büyütmeyle (X25, X75, X200, X400) çekilmiş görüntüleri şekil 4.8’de verilmiştir.



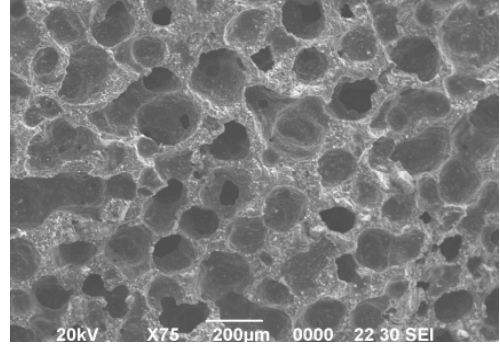
(a1) 150 s (X25)



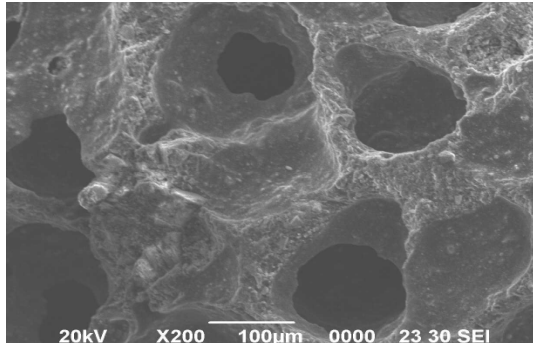
(b1) 190 s (X25)



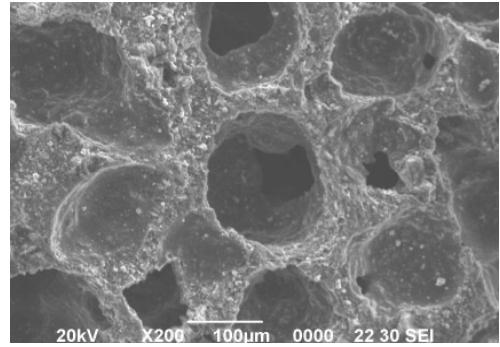
(a2) 150 s (X75)



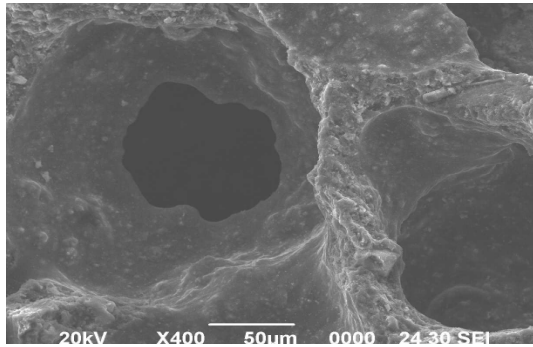
(b2) 190 s (X75)



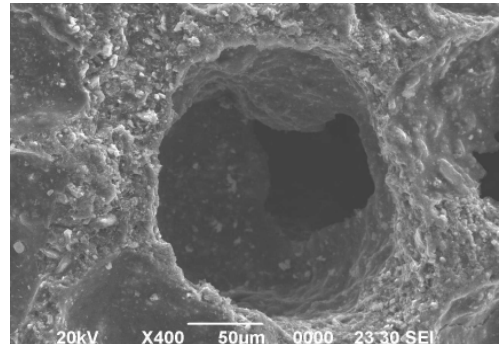
(a3) 150 s (X200)



(b3) 190 s (X200)

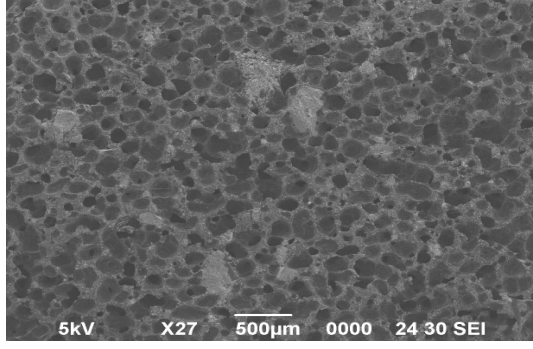


(a4) 150 s (X400)

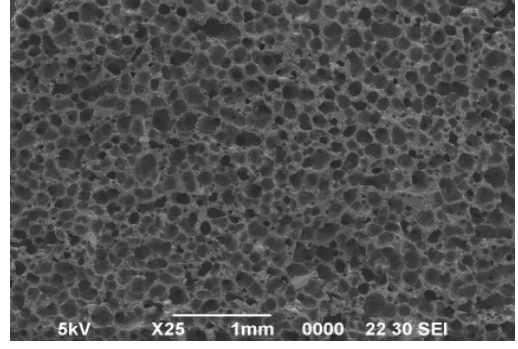


(b4) 190 s (X400)

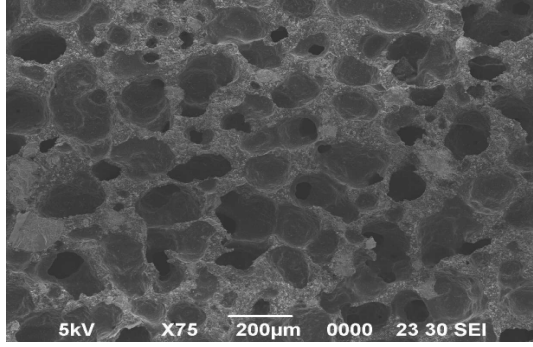
Şekil 4.8: Farklı Basınç Boşaltma Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri



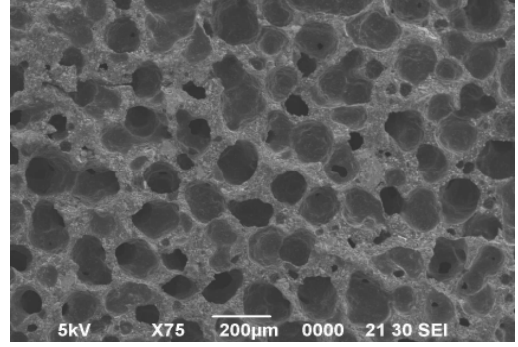
(c1) 310 s (X25)



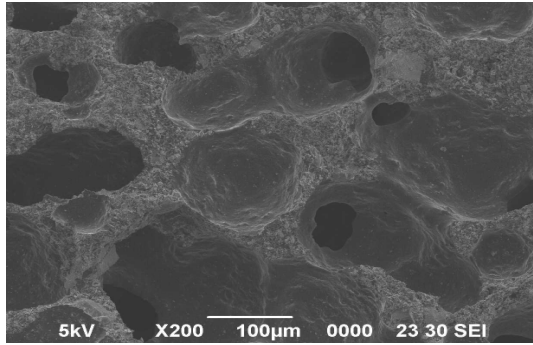
(d1) 650 s (X25)



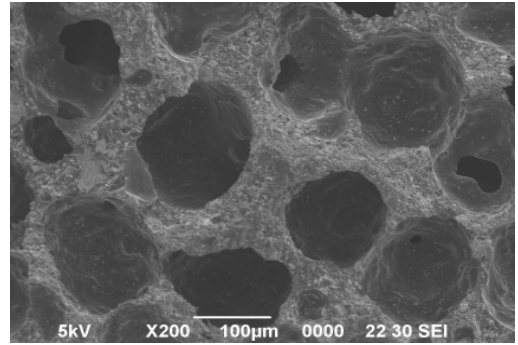
(c2) 310 s (X75)



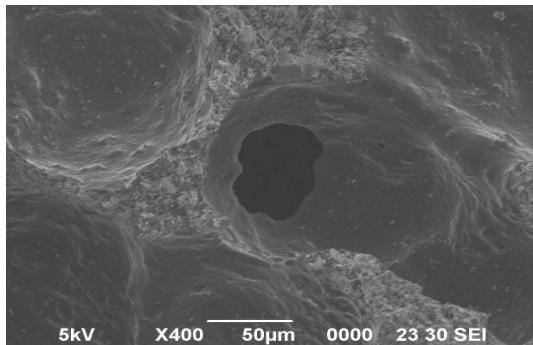
(d2) 650 s (X75)



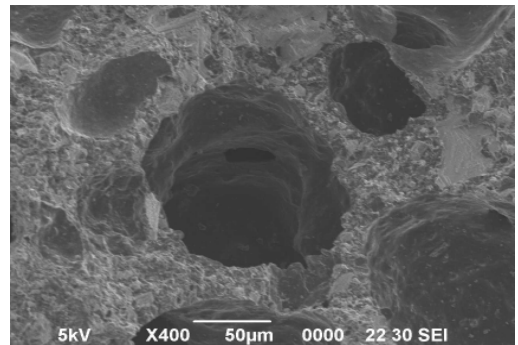
(c3) 310 s (X200)



(d3) 650 s (X200)



(c4) 310 s (X400)



(d4) 650 s (X400)

Şekil 4.8: Farklı Basınç Boşaltma Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (Devam)

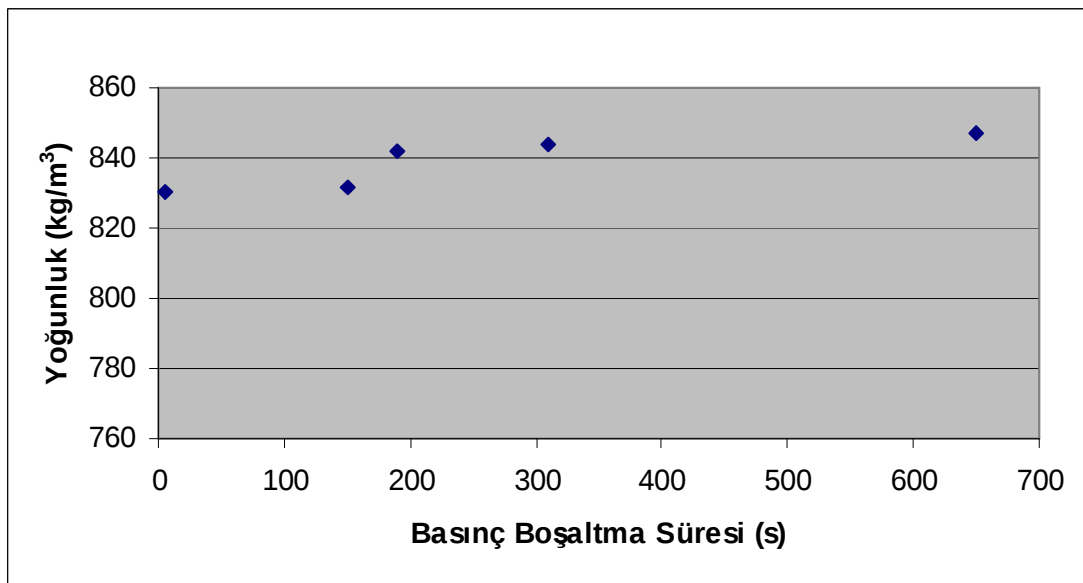
Basınç ve sıcaklık parametresi belirleme deneylerinde basınç boşaltma süresi 5 s olarak kullanılmıştır. 150 s’de elde edilen karbon köpüğün taramalı elektron mikroskobundan alınan görüntüsü 5 s’de elde edilen köpükle kıyaslandığında aralarında önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Buna rağmen 150 s’de elde edilen köpüğün hücre boyutu daha küçük ve daha homojen olduğu görünmektedir. Hücre geometrisi daha küreseldir buda hücreler arasında kırış ve bağlantı yerlerinin oluşumunu artırmaktadır.

Basınç boşaltma süresi 190 s yapıldığında elde edilen köpüğün yapısı daha da homojen bir hal almaktadır ve hücrelerin geometrisi daha da küreselleşmektedir.

Basınç boşaltma süresi 310 s olduğundaki taramalı elektron mikroskobu görüntüsü 190 s’dekine oldukça benzerdir. Hücre ve gözenekler daha homojen bir yapıya sahiptir. Hücreler arasındaki bağlantı noktaları ve kırışların oluşumunda artma vardır.

Basınç boşaltma süresinin 650 saniye olduğu köpüğün şekil 4.8’de d2’deki görüntüsü incelendiğinde köpüğün hücre ve gözenek yapısının 310 s’dekine kıyasla daha homojen olduğu görünmektedir. Hücrelerin geometrisinin 5, 150, 190 ve 310 saniyedekilere kıyasla çok daha fazla küresel bir şekil aldığı görünmektedir. Hücre geometrisin küreselleşmesi sonucu hücreler arasındaki bağlantı noktaları ve kırışların oluşumunda artma görünmektedir.

Şekil 4.9’da farklı basınç boşaltma sürelerinde elde edilen karbon köpüklerin yoğunluk değerleri verilmiştir.

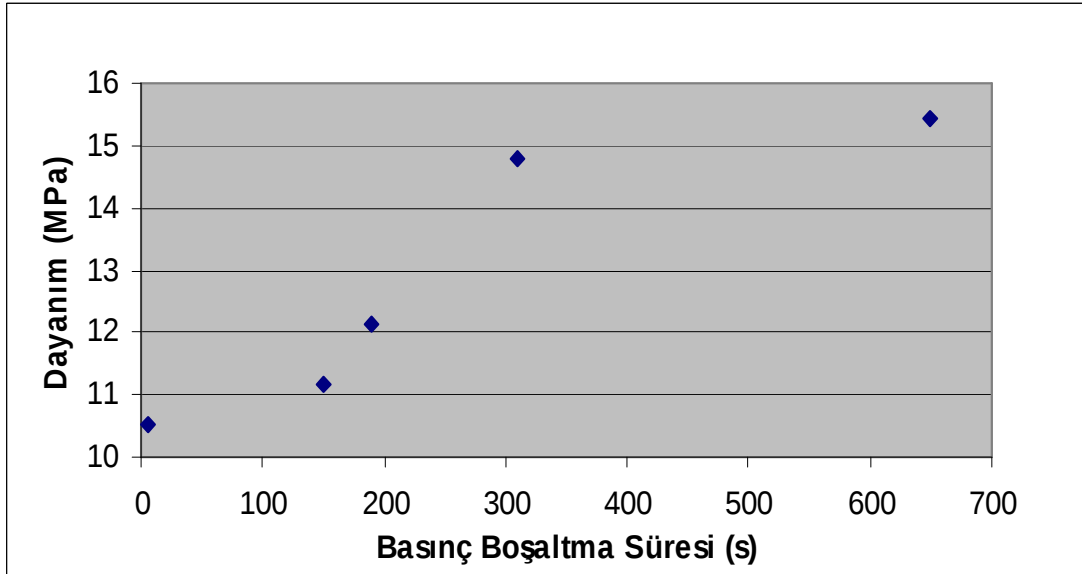


Şekil 4.9: Farklı Basınç Boşaltma Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Yoğunlukları

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi basınç boşaltma süresinin artışı üretilen karbon köpüklerin yoğunluk değerlerinde pek fazla değişiklik meydana getirmese de bu sürenin artışıyla yoğunluk miktarı çok az miktarda olsada artmaktadır. Bu değerlerden anlaşıyor ki basınç boşaltma süresi yoğunluk üzerinde basınç kadar etkili bir parametre değildir.

Bu sonuçları daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırmak gerekirse mezofaz zift tabanlı üretilen karbon köpüklerin değerleriyle kıyaslandığında mezofaz zift tabanlı karbon köpüklerin üretiminde basınç boşaltma süresinin 5 s’den 600 s’ye artışı yoğunluk değerini 560 kg/m^3 ’den 240 kg/m^3 ’e düşürmüştür yani basınç boşaltma süresi ve yoğunluk arasında ters bir ilişki vardır [62]. Basınç boşaltma süresinin değişiminin asfaltit ve mezofaz ziftin köpük oluşum mekanizmalarına oldukça farklı etkisi vardır.

Şekil 4.10’da farklı basınç boşaltma sürelerinde elde edilen karbon köpüklerin sıkışma dayanımı değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10: Farklı Basınç Boşaltma Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Dayanımları

Şekil 4.10 incelendiğinde basınç boşaltma süresinin 5 saniyeden 650 saniyeye artışı %50’ye varan bir dayanım artışı meydana getirmektedir. Meydana gelen bu artışın en büyük sebebi artan süreyle birlikte elde edilen köpüklerin yapısında bulunan hücrelerin arasındaki bağlantı noktalarının ve kirişlerin oluşumundaki artıştır.

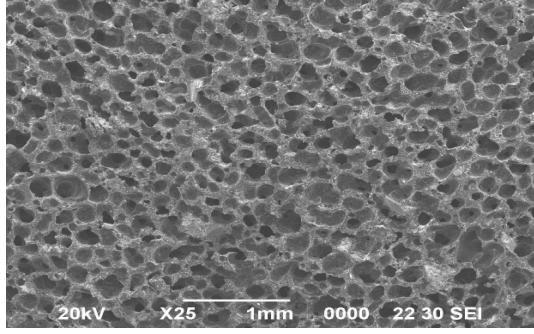
Bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, mezofaz zift tabanlı üretilen karbon köpüklerin değerleriyle kıyaslandığında mezofaz zift tabanlı karbon köpüklerin üretiminde basınç boşaltma süresinin 5 s'den 600 s'ye artışı dayanım değerini 3.31 MPa'dan 2.16 MPa'a düşürmüştür. Mezofaz zift tabanlı karbon köpük üretiminde basınç boşaltma süresi ve dayanım arasında ters bir ilişki vardır [62]. Literatürdeki mezofaz ziftten elde edilen köpük çalışmaları incelendiğinde basınç boşaltma süresinin değişiminin asfaltit ve mezofaz ziftten elde edilen köpüğün dayanımı üzerinde farklı etkiler gösterdiği anlaşılmıştır.

4.4 Karbon Köpük Üretiminde Son Sıcaklıkta Bekleme Süresinin Etkisi

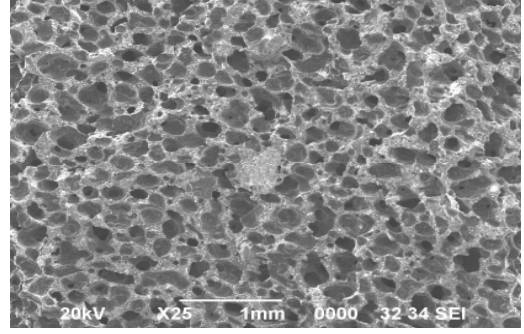
Basınç değerlerinden 6.8 MPa, sıcaklık değerlerinden 823 K seçildikten sonra ve 5 s'lik basınç boşaltma süresi sabit tutulup sırasıyla 15, 30 ve 60 dakikalık bekleme sürelerinde silindirik karbon köpükler üretilmiştir.

Son sıcaklıkta bekleme süresinin oluşan köpüğe etkisini net olarak değerlendirebilmek için diğer üç parametre değerleri sabit tutuldu. Bir önceki parametre çalışması olan basınç boşaltma süresinin incelenmesinde optimum değer 650 s seçilmiştir fakat son sıcaklıkta bekleme süresinin incelenmesi deneylerinde bu değeri her seferinde tutturmak zor olacağı için basınç boşaltma süresi, en hızlı boşaltma süresi olan 5-6 s seçildi.

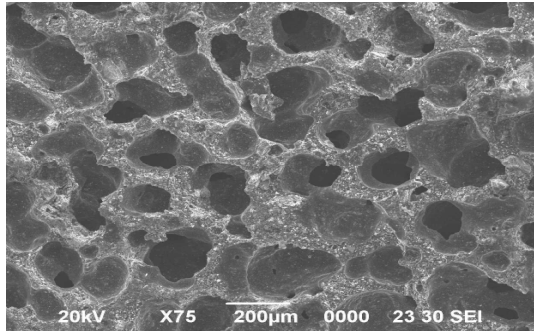
Üretilen karbon köpüklerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri şekil 4.11'de verilmiştir.



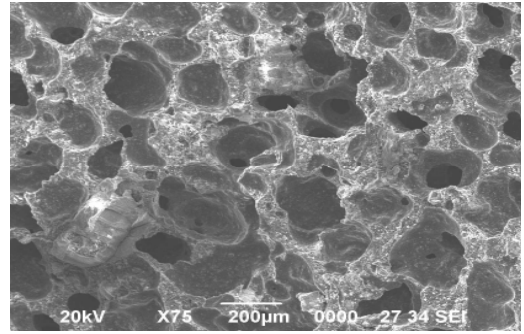
(a1) 30 dk (X25)



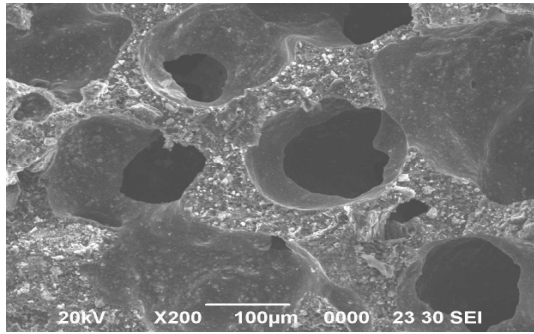
(b1) 15 dk (X25)



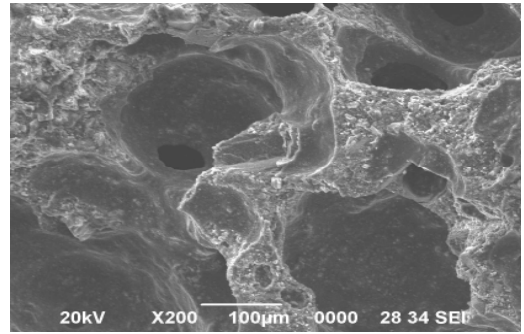
(a2) 30 dk (X75)



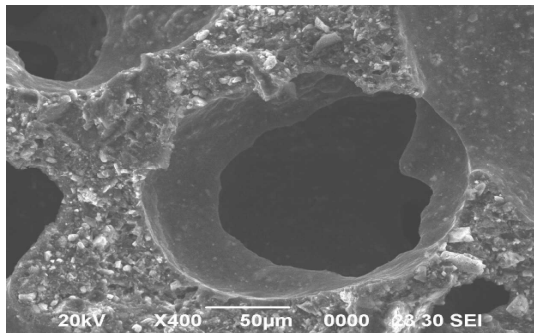
(b2) 15 dk (X75)



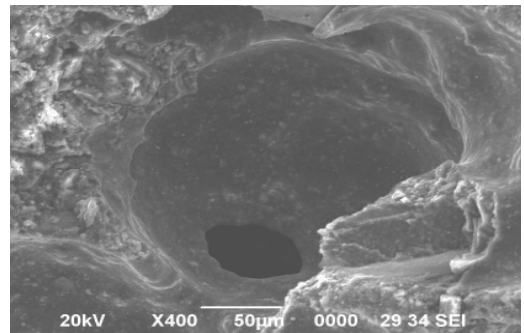
(a3) 30 dk (X200)



(b3) 15 dk (X200)



(a4) 30 dk (X400)



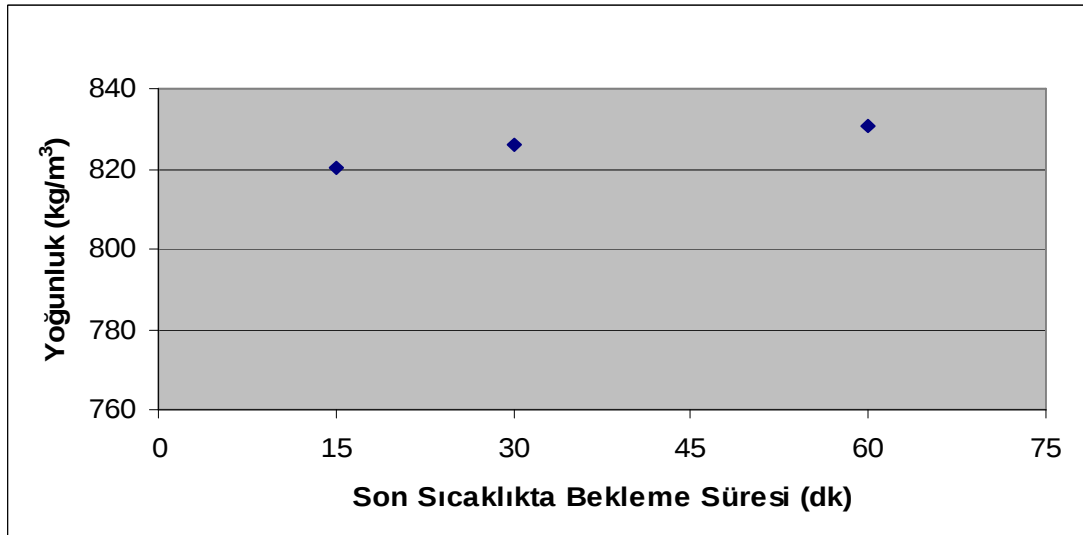
(b4) 15 dk (X400)

Şekil 4.11: Son Sıcaklıkta Farklı Bekleme Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Şekil 4.11'deki SEM görüntüleri incelendiğinde son sıcaklıkta bekleme süresinin 15 dakikadan 30 dakikaya yükselmesi ile birlikte görüntülerde çok fazla bir farklılık olmamasına rağmen, 30 dakikalık bekleme süresinde elde edilen köpüğün 15 dakikalık bekleme süresinde elde edilen köpükten yapı olarak daha homojen bir yapıya sahip olduğu görünmektedir. Hücre geometrisinin daha fazla küreselleştiği görünmektedir. Hücreler arasındaki kirişlerin oluşumunda artış meydana gelirken bu kirişlerin zayıfladığı fark edilmektedir.

Son sıcaklıkta bekleme süresinin 30 dakikadan 60 dakikaya artışın oluşan köpüğün yapısında meydana getirdiği farklılığı anlayabilmek için 60 dk'da elde edilen köpüğün şekil 4.5'teki c2 görüntüsü ile 30 dk'da elde edilen köpüğün şekil 4.11'teki a2 görüntülerinin incelenmesinde fayda vardır. Bu görüntüler kıyaslandığında bu sürenin artmasıyla yapıdaki homojenliğin arttığı, oluşan hücrelerin geometrisindeki küreselliğin daha da belirginleştiği ve hücrelerdeki bu küreselliğin artmasıyla hücreler arasındaki kirişlerin oluşumunda artış meydana gelirken bu kirişlerin zayıfladığı fark edilmektedir ayrıca hücre duvarlarındaki çatlaklarda azalmaktadır.

Şekil 4.12'de son sıcaklıktaki farklı bekleme sürelerinde elde edilen karbon köpüklerin yoğunluk değerleri verilmiştir.

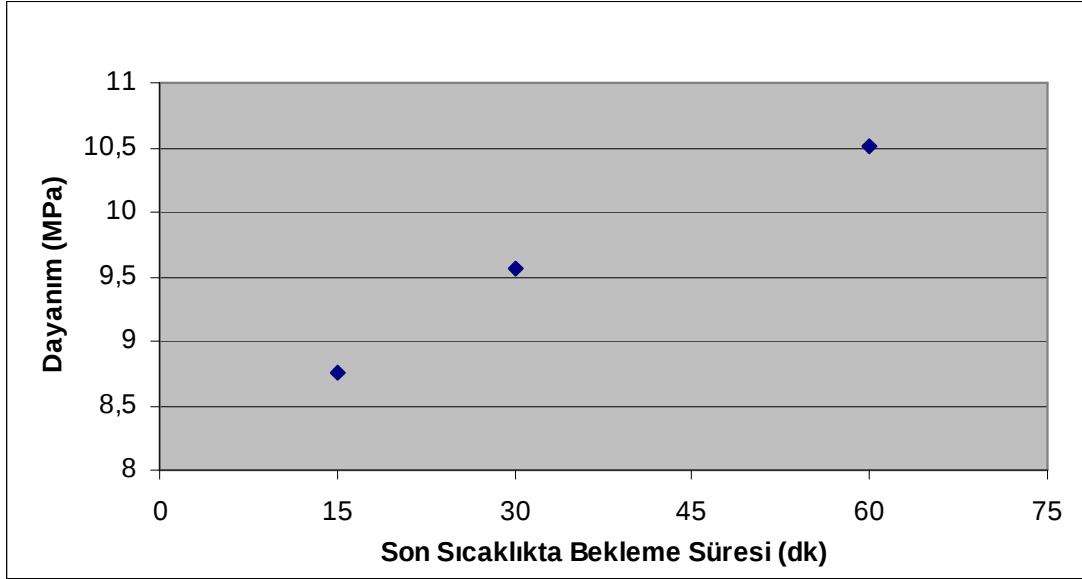


Şekil 4.12: Farklı Bekleme Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Yoğunlukları

Şekil 4.12'deki değerler incelendiğinde köpüğün yoğunluğunun bekleme süresinden çok fazla etkilenmediği anlaşılmaktadır. Ancak bu sürenin artışı yoğunluğu bir

miktar artırmıştır. Bu tablodaki değerler incelendiğinde son sıcaklıkta bekleme süresi yoğunluk üzerinde çok etkili bir parametre değildir. Bunun sebebidir yoğunluk basınç çalışma deneylerinin optimum değerinde (6.8 MPa) bir dengeye gelmiş ve diğer parametrelerdeki değişikliklerden fazla etkilenmemiştir.

Şekil 4.13’de son sıcaklıktaki farklı bekleme sürelerinde elde edilen karbon köpüklerin sıkışma dayanımı değerleri verilmiştir.

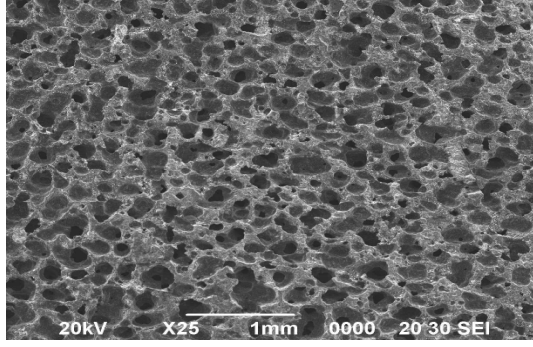


Şekil 4.13: Farklı Bekleme Sürelerinde Üretilmiş Köpüklerin Dayanımları

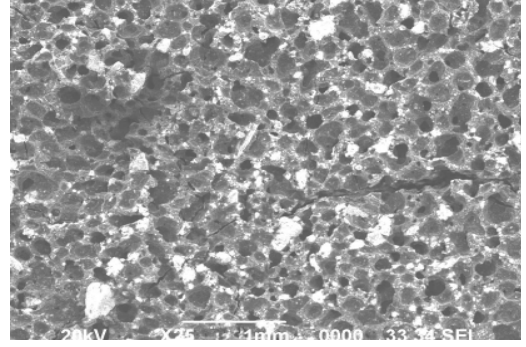
Şekil 4.13’deki değerler incelendiğinde son sıcaklıkta bekleme süresinin artışı köpük dayanımını artırmıştır ve bu sürenin 15 dakikadan 60 dakikaya çıkışı üretilen karbon köpüğün dayanımını %20 artırmıştır. Şimdiye kadar elde edilen tüm sonuçlar incelendiğinde yoğunluk ve dayanım arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir ve bu sonuç literatür verileri ile uygun bir sonuçtur [62].

4.5 Karbon Köpük Üretiminde Karbonizasyon İşleminin Etkisi

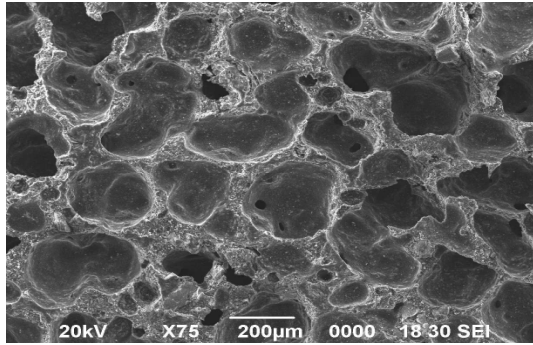
Parametre çalışmaları bitirildikten sonra basıncın 6.8 MPa, sıcaklığın 823 K, basınç boşaltma süresinin 5 s ve son sıcaklıkta bekleme süresinin 60 dk olduğu koşullarda üretilen karbon köpüğü karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Karbon köpüğün karbonizasyon öncesi (a1, a2, a3, a4) ve sonrası (b1, b2, b3, b4) taramalı elektron mikroskopunda dört farklı büyütmeyle çekilmiş görüntüleri şekil 4.14’de verilmiştir.



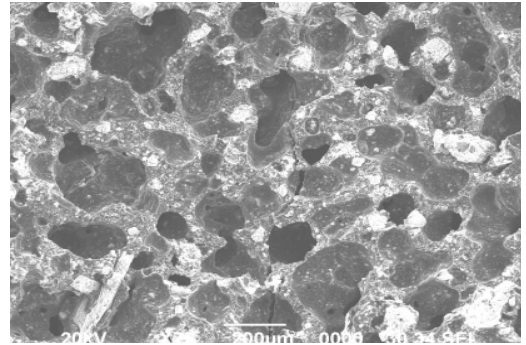
(a1) (X25)



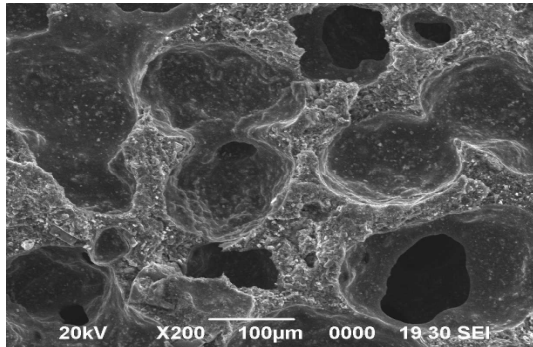
(b1) (X25)



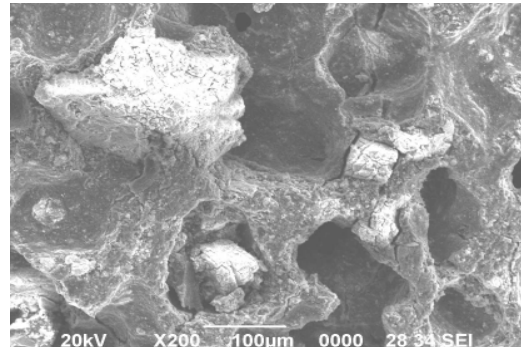
(a2) (X75)



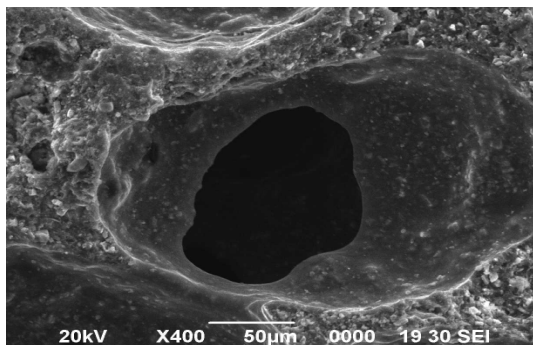
(b2) (X75)



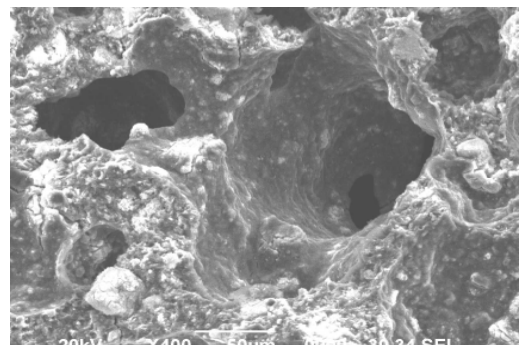
(a3) (X200)



(b3) (X200)



(a4) (X400)



(b4) (X400)

Şekil 4.14: Optimum Parametrelerde Üretilen Köpüğün Karbonizasyon Öncesi ve Sonrası Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri

Şekil 4.14'deki görüntüler incelendiğinde karbonizasyon sonrası karbon köpüğün gözeneklerinden artan sıcaklıkla birlikte istenmeyen maddelerin çıkışı gözlenmiştir. Karbonizasyon sırasında artan sıcaklıkla beraber bu maddelerin çıkışının sebebi asfaltitin bünyesindeki kül oranının (%41) fazla olmasının bir sebebi olarak düşünülmüştür. Karbonizasyon öncesi ve sonrası görüntüler incelendiğinde köpük yapısının karbonizasyon öncesinde daha homojen olduğu görülmektedir

Tablo 4.1'de optimum parametrelerde elde edilen karbon köpüğün karbonizasyon öncesi ve sonrası ağırlık, yoğunluk, sıkışma dayanımı ve ağırlık kaybı yüzdesi değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1: Optimum Parametrelerde Üretilmiş Köpüğün Karbonizasyon Öncesi ve Sonrası Verileri

Karbonizasyon Öncesi			Karbonizasyon Sonrası			
Ağırlık (gr)	Yoğunluk (kg/m ³)	Dayanım (MPa)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (kg/m ³)	Dayanım (MPa)	Ağırlık Kaybı (%)
2.8386	830.5	10.5038	2.2386	829.5	18.7088	21.2

Tablo 4.1 incelendiğinde optimum değerlerde üretilen köpüğün karbonizasyon sonrası %21 kadar bir ağırlık kaybına uğradığı, yoğunluğunda çok az bir düşüş ve dayanımında da %80'lere varan bir artış görülmektedir. Madde kaybının %21 olmasının en büyük sebebi bünyesindeki kül miktarının (%41) fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Genel anlamda karbonizasyonla birlikte köpüğün yoğunluğunda çok az bir miktarda düşüş meydana gelirken dayanımında ise %80 civarında ciddi anlamda artış gözlenmiştir. Dayanımdaki bu artışın sebebinin köpük yapısına zarar veren istenmeyen maddelerin köpükten uzaklaşarak köpüğün bünyesindeki karbon yüzdesinin artışından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Elde edilen köpüğün karbonizasyon sonucu yoğunluğunun bir miktar düşmesinin sebebi ise karbonizasyon sonucunda köpüğün hem ağırlık hem de hacim kaybına

uğramasıyla birlikte asfaltitin sahip olduğu kül miktarı fazla olduğundan dolayı köpüğün ağırlık kaybının hacim azalmasından yüzde olarak daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Avgamasya asfaltitinden üretilmiş karbon köpüklerle ilgili genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Sisteme uygulanan basıncın artışı üretilen köpüğün gözenekliliğini azaltırken yoğunluğunu ve basma dayanımını artırmaktadır. Ayrıca köpüğün yapısındaki hücre bağlantı noktaları ve kirişlerde artma olurken hücre duvarlarındaki çatlaklar azalmaktadır. Basınç artışı ile daha homojen bir yapı meydana gelmektedir. Bu değişimlerin temelinde basınçla birlikte gerilen makromoleküllü yapının artışı bulunmaktadır.
2. Sıcaklıkta artışı üretilen köpüğün basma dayanımını ve yoğunluğunu artırırken gözenekliliğinde azalma meydana getirmektedir. Ayrıca köpüğün yapısındaki hücre bağlantı noktaları ve kirişlerde artma olurken hücre duvarlarındaki çatlaklar azalmaktadır.
3. Basınç boşaltma süresinin artışı yoğunluğa pek etki etmezken basma dayanımında artış meydana getirmektedir.
4. Köpüğün elde edildiği sıcaklıktaki bekleme süresi arttıkça üretilen köpüğün yapısı daha homojen olmaktadır, yoğunluğu ve basma dayanımında artış meydana gelmektedir.
5. Karbon köpüğe karbonizasyon işlemi uygulandığında miktarında, hacminde ve yoğunluğunda azalma, basma dayanımında ise bir artış meydana gelmektedir.

6. ÖNERİLER VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada basınç, sıcaklık, basınç boşaltma süresi ve köpüğün üretildiği son sıcaklıkta bekleme süresi gibi dört farklı proses parametresi değiştirilerek asfaltitten karbon köpük üretilmiştir ve üretilen karbon köpükler ayrıca karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu parametrelerle değişiklik yapılarak üretilen karbon köpüklerin yoğunluğu, dayanımı ve gözenek yapısı incelenmiştir. Üretilen karbon köpüklerin sahip olduğu yoğunluk, dayanım, elektrik iletkenlik ve gözeneklilik gibi özellikleri bu parametrelerin değiştirilmesiyle ayarlanabileceği gibi hammaddenin şişme, akışkanlık, viskozite gibi özellikleri ve sahip olduğu kül değeriyle de doğrudan ilişkilidir. Bu anlamda ileride yapılabilecek bazı çalışmalar şöyle sıralanabilir:

1. Hammaddenin şişme, akışkanlık ve viskozite gibi özellikleri ön işlemlere tabi tutularak uygun değerlere yaklaştırılabilir.
2. Hammaddenin, yani asfaltitin sıcaklığa karşı şişme, akışkanlık ve viskozite değerlerinin grafiğe geçirilerek uygun değerlerin belirlenmesi yapılabilir.
3. Asfaltitin sahip olduğu kül yüzdesi daha da düşürülerek yapısındaki karbon yüzdesi artırılabilir ve bunun sonucunda üretilen köpüklerin özellikleri daha optimum değerlere ulaştırılabilir.
4. Asfaltitten elde edilen karbon köpüklerin grafitizasyon işleminden nasıl etkilenebileceği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Menendez, R., Granda, M. and Bermejo, J.**, 1997. Pitch Pyrolysis Chemistry, Mesophase Chemistry and Coking, *Introduction to Carbon Technologies*, pp. 461-484, Eds. Marsh., Heintz, E.A., and Rodriguez-Reinoso, F., Universaded de Alicante, Secretariade de Publicaciones.
- [2] **Wang, C.Y. and Inagaki, M.**, 1998. Oxidation Resistance of Pitch Based Carbon Fibers During Heat Treatment in Carbon Dioxide, *Proceedings of the International Symposium of Carbon*, Tokyo, Japan, 242-243.
- [3] Oak Ridge National Laboratory-Windows Internet Explorer
<http://www.ms.ornl.gov/ott/publications/sampe98.pdf>, 20.04.2008.
- [4] Geometry.Net-Basic_V: Virginia Cities State Studies-Windows Internet Explorer
<http://www.wvhomeforgood.org/day6/side1.htm>, 20.04.2008.
- [5] Office of the Under Secretry of Defense for Acquisition, Technology and Logistic-Windows Internet Explorer
www.acq.osd.mil/cp/nbc98/98annexb.pdf, 10.03.2008.
- [6] **Bonzom, A., Crepaux, A.P., Moutard, E.J.**, 1981. Process for preparing pitch foams and products so produced, *United States Patent*, No: 4276246 dated 30.6.1981.
- [7] **Stiller, A.H., Stansberry, P.G., Zondlo, J.W.**, 2002. Method of making a carbon foam material and resultant product, *United States Patent*, No: 6346226 dated 12.2.2002.
- [8] **Simandl, R.F., Brown, J.D.**, 1994. Microcellular carbon foam and method, *United States Patent*, No: 5300272 dated 5.4.1994.
- [9] **Raley, Jr., Charles, F., Asher, D.R.**, 1976. Process for preparing macroporous open-cell carbon foam from normally crystalline vinylidene chloride polymer, *United States Patent*, No: 3960770 dated 1.6.1976.
- [10] **Vinton, C.S., Franklin, C.H.**, 1977. Method for the preparation of vitreous carbon foams, *United States Patent*, No: 4022875 dated 10.5.1977.

- [11] **Kearns, K.M.**, 1999. Pitch foam products, *United States Patent*, No: 5961814 dated 5.10.1999.
- [12] **Klett, J.W.**, 2000. Process for making carbon foam, *United States Patent*, No: 6033506 dated 7.3.2000.
- [13] **Reznek, S.R., Massey, R.K.**, 2002. Carbon foams and methods of making the same, *United States Patent*, No: 6500401 dated 31.12.2002.
- [14] Poco Graphite > Home-Windows Internet Explorer
www.pocofoam.com, 10.03.2008.
- [15] Carbon Foam-Windows Internet Explorer
www.cfoam.com, 11.03.2008.
- [16] Touchstone Research Laboratory-Windows Internet Explorer
http://www.trl.com, 13.03.2008.
- [17] **Marsh, H.**, 1997. Carbon materials: an overview of carbon artifacts, Introduction to Carbon Technologies, pp. 1-34, Eds. Marsh, H., Heintz, E.A., and Rodriguez- Reinoso, F., Universaded de Alicante, Secretariade de Publicaciones.
- [18] Karbon-Vikipedi-Windows Internet Explorer
http://tr.wikipedia.org/wiki/Karbon, 10.03.2008.
- [19] MSN Encarta : Online Encylopedia, Dictionary, Atlas and Homework-Windows Internet Explorer
http://encarta.msn.com, 15.03.2008.
- [20] Infoplease: Encyclopedia, Almanac, Atlas, Biographies, Dictionary, Thesaurus. Free online refer-Windows Internet Explorer
http://www.infoplease.com/ce6/sci/A0810363.html, 17.03.2008.
- [21] SCI-FUN—The Scottish Science Technology Roadshow-Windows Internet Explorer
www.scifun.ed.ac.uk/.../graphite-layers.jpg, 21.04.2008.
- [22] Chemguide: helping you to understand chemistry-Windows Internet Explorer
www.chemguide.co.uk/inorganic/group4/sio2.gif, 22.04.2008.
- [23] Kimyasanal.net---Organik Kimya, İnorganik Kimya, Analitik Kimya, Fizikokimya, Biyo kimya-Windows Internet Explorer

- <http://www.kimyasanal.net/konugoster.php?a=b00o4bmyva>, 17.03.2008.
- [24] Experimentalchemie.de-Windows Internet Explorer
www.experimentalchemie.de/02-e-07.htm, 17.03.2008.
- [25] ETİ MADEN İŞLETMELERİ GN. MD.-Ankara, TURKEY +90(312) 294 20 00
-Windows Internet Explorer
www.etimaden.gov.tr, 10.04.2008.
- [26] **Savage, G.**, 1993. Carbon-Carbon Composites, pp. 1-29, Chapman & Hall, London, UK.
- [27] **Eksilioğlu, A.**, 2004. Effect of temperature, solvent type and additives on the properties of mesophase pitch based carbon foam, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Edwards, I.A.S.**, 1989. Structure in carbons and carbon forms, Introduction to Carbon Science, pp. 1-36, Ed. Marsh, H., Butterworths, London.
- [29] **Figueiredo, J.L. and Moulijn, J.A.**, 1986. Carbon and Coal Gasification, pp. 33-35, Martinus Nijhoff Publishers, The Netherlands.
- [30] **Droege et. al.**, 1999. Low density open cell organic foams, low density open cell carbon foams, and methods for preparing same, *United States Patent*, No: 5945084 dated 31.8.1999.
- [31] **Calvo, M., Garcia, R., Arenillas, A., Suarez, I. and Moinelo. S.**, 2005. Carbon foams from coals. A preliminary study, *Fuel*, **84**, 2184-2189.
- [32] **Gallego, N., Klett, J., Walls, C. and McMillan, A.**, 2003. The role of structure on the properties of graphitic foams, ORNL internal report, Oak ridge, USA.
- [33] **Umemoto, K., Saito, S., Berber, S. and Tomanek, D.**, 2001. Carbon foam: spanning the phase between graphite and diamond, *Physical Review B*, **64**, 193409(1-3).
- [34] **Giblin, P.**, 2002. Thermoelectric heat pump appliance with carbon foam heat sink, *United States Patent*, No: 6438964 dated 27.8.2002.
- [35] **Sarkisian P. and Rockenfeller U.**, 2000. Golf ball heater appliance, *United States Patent*, No: 6130411, 10.10.2000.
- [36] ORNL Carbon and Graphite Foams-Windows Internet Explorer
<http://www.ms.ornl.gov/researchgroups/CMT/FOAM/foams.htm>, 10.04.2008.

- [37] **Klett, J.W.**, 2000. Process for making carbon foam, *United States Patent*, No: 6033506 dated 7.3.2000.
- [38] **Setton, R., Bernier, P. and Lefrant, S.**, 2002. Carbon Molecules and Materials, Taylor & Francis Inc., pp.2-31, London, UK.
- [39] **Inagaki, M.**, 2000. New Carbons: Control of Structure and Functions, pp. 14-25, Elsevier Science, The Netherlands.
- [40] **W. Ford**, 1964. Method of Making Cellular Refractory Thermal Insulating Material, *United States Patent*, No: 3121050 dated 11.2.1964.
- [41] **Googin, J., Napier, Scrivner, J.M.**, 1967. Method for Manufacturing Foam Carbon Products, *United States Patent*, No: 3345440 dated 3.10.1967.
- [42] **Hopper, R.W. and Pekala, R.W.**, 1988. Low density microcellular carbon or catalytically impregnated carbon foams and process for their preparation, *United States Patent*, No: 4756898 dated 12.7.1988.
- [43] **Luhleich, H., Nickel, H. and Dias, F.**, 1975. Method of Making Carbonaceous Bodies, *United States Patent*, No: 3927187 dated 16.12.1975.
- [44] **Vinton, C. and Franklin, C.**, 1975. Method for the Preparation of Carbon Structures, *United States Patent*, No: 3927186 dated 16.12. 1975.
- [45] history of foams-Windows Internet Explorer
http://www.ms.ornl.gov/researchgroups/cmt/foam/history_of_foams.html,
 21.04.2008.
- [46] **Hager, J. W.**, 1992. *Materials Research Society Symposium Proceedings* **270**, 41-46.
- [47] **Kearns, K. M.**, 1999. Process for Preparing Pitch Foams, *United States Patent*, No: 5868974 dated 9.2.1999.
- [48] **Chen, C., Kennel, E. B., Stiller A. H., Stransberry, P. G. and Zondlo, J. W.**, 2006. Carbon foam derived from various precursors, *Carbon*, **44**, 1535-1543.
- [49] **Donnet et al.**, 1984. In Carbon Fiber Applications, Carbon Fibers, Marcel Decker, Inc., pp. 222-261. USA.
- [50] **Stiller, A. H., Stansberry, P. G. and Zondlo, J. W.**, 1999. Method of making a carbon foam material and resultant product, *United States Patent*, No: 5888469 dated 30.3.1999.

- [51] **Stiller, A. H., Stansbery, P. and Zondlo J.,** 1999. Method of making a carbon foam material and resultant product, *United States Patent*, No: 6241957 dated 5.6.2001.
- [52] **Darren K. R., Janusz W. Plucinski and Randy A. Handley,** Preparation and graphitization of high performance carbon foams from coal, *Touchstone Araştırma Laboratuvarı*, USA, 2001.
- [53] **McNaught Alan D.,** IUPAC Compendium of Chemical Terminology, IUPAC, Online Book, 1997.
- [54] **Edie, D.D.,** 1990. Carbon Fibers, Filaments and Composites, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [55] **Burchell, T.D.,** 1999. Carbon Materials for Advanced Technologies, pp.123-127, Elsevier Science, The Netherlands.
- [56] **Özel, M. and Bartle, K. D.,** 2001. Production of Mesophase Pitch from Coal Tar and Petroleum Pitches using Supercritical Fluid Extraction, *TÜBİTAK*, **26**, pp. 417-424.
- [57] **Mochida, I., Yoon, S.H., Korai, Y., Kanno, K., Sakai, Y. and Komatsu E.,** 2000. Mesophase pitch from aromatic hydrocarbons, *Science of Carbon Materials*, pp. 1-97, Eds. Marsh., Rodriguez-Reinoso, F., Universaded de Alicante, Secretariade de Publicaciones, Japan.
- [58] **Klett, J., Hardy, R., Romine E., Walls C. and Burchell T.,** 2000. High-Thermal-Conductivity, Mesophase-Pitch-Derived Carbon Foams: Effect of Precursor on Structure and Properties, *Carbon*, **38**, 7, 953-973.
- [59] **Mochida et al.,** 1995. Carbon Fibers From Aromatic Hydrocarbons, *Chemtech*, p29 dated February 1995.
- [60] **Klett, J.W.,** 2000. Method for extruding pitch based foam, *United States Patent*, No: 6344159 dated 5.2.2002.
- [61] **Murdie, N., Pigford, J.F., Wood, M.D., Dillon, F., Parker, C.A. and Hemstad, S.N.,** 2001. Method of making pitch-based carbon foam, *United States Patent*, No: 6315974 dated 13.11.2001.
- [62] **Eksilioglu, A., Gencay, N., Yardım, M. F. and Ekinci, E.,** 2006. Review Mesophase AR pitch derived carbon foam: Effect of temperature, pressure and pressure release time, *Journal of Material Science*, **41** (10), 2743-2748.

- [63] **Darren K. R.**, 2004, Petroleum pitch-based carbon foam, *United States Patent*, No: 6833012 dated 21.12.2004.
- [64] **Gallego, N. C. and Klett, J. W.**, 2002. Carbon foams for thermal management, *International Seminar on Advanced Applications for Carbon Materials*, Jeju Island, Korea, November 2002.
- [65] **Malthouse, W. B.**, 1974. Syntactic carbon foam, *United States Patent*, No:3832426 dated 27.8.1974.
- [66] **Seng, T.**, 2001. Rapid oxidation/stabilization technique for carbon foams, carbon fibers and C/C composites, *United States Patent*, No:6733737 dated 29.8.2001.
- [67] **Klett, J.**, 2000, Process for making carbon foam, *United States Patent*, No: 08/921,875 dated 4.2.2001
- [68] **Hugh O.**, 1993, Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes: properties, processing and applications, Noyes Publications, NJ, USA.
- [69] **Thoeni, A. K. and Baker G. K.**, 1971. Preparation and Properties of Carbon Foam, *Journal of Cellular Plastics*, **7**, 294-301.
- [70] **Klett, J. and Conway, B.**, 2000. Thermal Management Solutions Utilizing High Thermal Conductivity Graphite Foams, *Proceedings of the 45th International SAMPE Symposium and Exhibition*, Long Beach, CA, May 21-25.
- [71] **Klett, J.**, 2003. ORNL High Conductivity Graphite Foams, *Carbon*, **38**, 235-240 18.7.2003.
- [72] **Erdör, B.**, 2007. Yakıt pili ve güç koşullandırma, *Marmara Araştırma Merkezi, TÜBİTAK*, 20.01.2007.
- [73] **Maricle et. al.**, 1978. Carbon foam fuel cell components, *United States Patent*, No: 6315974 dated 14.11.1978.
- [74] **David, A.B., Lau, F. And Zabranky, R.**, Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies, FY 2003 Progress Report, USA.
- [75] **Kural, O.**, 1991. Kömür, Kurtiş Matbası, s. 843-848. İstanbul.
- [76] **Orhun, F.**, 1969. Güneydoğu Türkiye'deki asfaltik maddelerin özellikleri, metamorfoz dereceleri ve klasifikasyon problemleri, *MTA raporu*, Ankara.
- [77] Madencilik ÖİK-kömür-Windows Internet Explorer

<http://www.dpt.gov.tr/dptweb/ekutup96/o496/o496-oku.html>, 10.04.2008.

- [78] **Gençay, N.**, 2003. A mesophase pitch derived carbon foam; effect of pressure and release time, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [79] **Brooks, J. D. and Taylor, G.H.**, 1965. The formation of graphitizing carbons from the liquid phase, *Carbon*, **3**, 185-193.
- [80] **Turgut, G., Ekşilioğlu, A., Gençay, N., Gonen. E., Hekim N., Yardım, M. F., Sakiz. D. and Ekinci, E.**, 2008. Pore structure engineering for carbon foams as possible bone implant material, *Journal of Biomedical Materials Research*, **85A**, 588-596.
- [81] akademik-Windows Internet Explorer
www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm, 28.03.2008.

ÖZGEÇMİŞ

Deniz BARAN 10 Ekim 1980’de Diyarbakır’da dünyaya geldi. İstanbul Avcılar Süleyman Nazif Lisesi’nden 1999’da mezun olduktan sonra 2000 yılında Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. Ankara Üniversitesinden 2005 yılında mezun olduktan sonra 2006 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek lisans eğitimine başladı.