



Hakemli Makale
(Article)

Zararlı Sıvı Kimyasallar için Genleşik Grafit Esaslı Soğurgan Tekstil Dolgu Malzemesi Tasarımı: Taguchi Optimizasyonu

İbrahim Mutlay*

*Hayzen Mühendislik, İvedik OSB, 06370 Ankara/TÜRKİYE
ibrahimmutlay@gmail.com

Özet

Kimyasal ve petrol saçılma vakaları günümüzde çevre ve insan sağlığı için en büyük tehdidi oluşturan kazalardandır. Saçılan sıvı kirleticilerin etkin biçimde temizlenebilmesi için en çok araştırılan yaklaşım gözenekli tekstil yapılarının kullanımınıdır. Bu çalışmada, soğurgan tekstil dolgu malzemesi olarak genleşik grafit esaslı lifli yapılar sentezlenerek ksilen ve dizel yakıt tutma başarımları incelenmiştir. Taguchi optimizasyonu yardımıyla literatürdeki en yüksek sıvı kirletici soğurum değerlerinden birine ulaşılmıştır. Yapılan analizler numunelerin olağanüstü ısıl dayanıma sahip olduğuna işaret etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genleşik Grafit, Soğurgan Malzemeler, Zararlı Kimyasallar, Taguchi Yöntemleri.

Design of Expanded Graphite Based Absorbent Textile Filler for Hazardous Liquid Chemicals: Taguchi Optimization

Abstract

Chemical and oil spills are one of the most dangerous accidents to environment and human health. Porous textiles are widely studied as an efficient cleaner for spilled liquid pollutants. In this paper, expanded graphite based fibrous fillers were prepared for usage in absorbent textile materials. Xylene and diesel oil absorbency of the expanded graphite were examined using Taguchi optimization and it was observed that liquid retention capacity was considerably higher than the data reported in literature. Characterization of the samples showed remarkable thermal resistance.

Keywords : Expanded Graphite, Absorbent Materials, Hazardous Chemicals, Taguchi Methodology.

1. GİRİŞ

Sınai kimyasallar, petrol ve diğer yapay kirleticilerin kaza vb. durumlarda denetimsiz saçılması maalesef günümüzün en önemli çevre sorunlarından birini oluşturmaktadır. Geçtiğimiz yıl tüm dünyayı meşgul eden Meksika Körfezindeki BP petrol platformu “Deepwater Horizon” kazası bu durumun en iyi örneğidir [1]. Benzerce, 1997’de Nakhodka tanker kazasında 6200 kL petrol Japon denizine saçılarak 250 km’lik bir hattı kirletmiş [2]; 2002’deki “Prestige” petrol tankeri kazası ise 77000 ton ham petrolün okyanusa sızmasına yol açmıştır [3]. Bununla birlikte araştırmalar çarpıcı biçimde, çevreye saçılan petrolün yalnızca ~%14’ünün kaza eseri olduğuna, başlıca oranda petrol kaybının nakliye ve aktarım sırasında gerçekleştiğine işaret etmektedir [2,4]. Petrolün boru hatlarında, bağlantı noktalarından sürekli sızması görece küçük ancak şiddetli bir çevresel zarar oluşturmaktadır [2]. Petrol kazalarına karşı varolan

Bu makaleye atf yapmak için

Mutlay İ., “Zararlı Sıvı Kimyasallar için Genleşik Grafit Esaslı Soğurgan Tekstil Dolgu Malzemesi Tasarımı: Taguchi Optimizasyonu” *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2011, 5(2) 1-10

How to cite this article

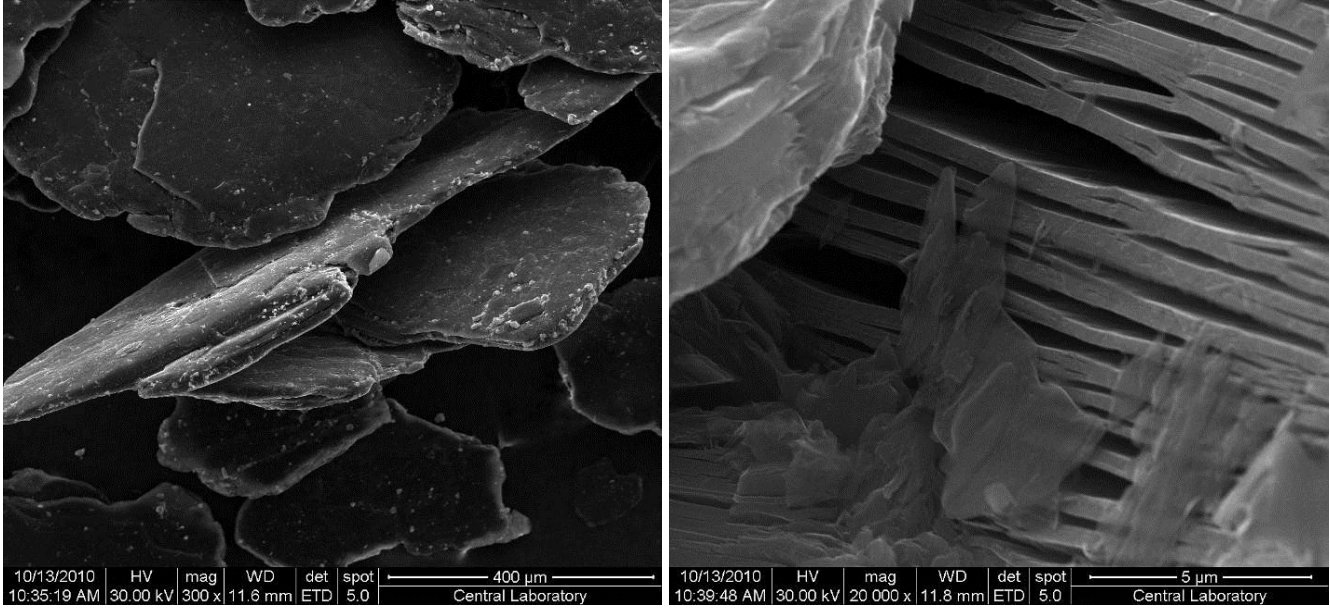
Mutlay İ., “Design of Expanded Graphite Based Absorbent Textile Filler for Hazardous Liquid Chemicals: Taguchi Optimization” *Electronic Journal of Textile Technologies*, 2011, 5(2) 1-10

geleneksel yaklaşım, inanılmaz derecede zahmetli olup, sıvı kirleticinin yzeylerden (deniz yzeyi vb.) özgn taşıt/araçlarla denetlenen bariyerler yardımıyla “sıyrılarak” toplanmasını içerir [2,4]. Buna karşın daha basit ve alçak maliyetli bir yaklaşım olarak, petrolün gözenekli malzemelere soğurularak toplanması son yıllarda önem kazanmaktadır. Poliüretan, polipropilen gibi polimerlerden hazırlanan gözenekli tekstiller saçılmış petrolün soğurularak toplanması için kullanılmaktaysa da maalesef bunların soğurma başarımları, 1 g polimer başına 20-30 g ağır petrol geçmez [2]. Daha da kötüsü söz konusu polimerler seçimli olmayıp petrolle beraber suyu da emerek başarımlarını önemli mertebede kaybederler [2]. Bununla birlikte son yıllarda ortaya çıkan yeni bir gözenekli malzeme sınıfı olan genleşik grafitin (GG), özellikle petrol ve türevleri gibi yüksek molekül ağırlıklı ve alçak polariteli kimyasallar için yüksek başarımlı ve seçimli soğurgan malzeme vazifesi görebileceği tespit edilmiştir [2,5]. Öyle ki, oda sıcaklığında yalnızca 1 dk içerisinde 1 g GG başına 80 g (80 g/g) A-derece ağır petrol emilebilmektedir [2]. Üstelik soğurulmuş petrol basitçe baskılanarak %80'lere varan oranlarda ve kimyasal nitelikleri bozunmadan geri-kazanılabilmektedir [2]. Wang et al. [3] manyetik GG hazırlamış ve bunların 48.9 g/g motor yağı, 42.8 g/g ham petrol ya da 33.2 g/g dizel yakıt soğurabildiklerini kaydetmiştir. Uçucu organik bileşikler bir diğer ciddi çevresel kirletici kimyasal sınıftır. Boyalar, yapıştırıcılar, cilalar, deterjanlar vb. alanlarda sıklıkla kullanılan söz konusu kimyasallar çevresel tehdidinin yanısıra benzen, toluen ve ksilen örneğinde olduğu gibi yüksek toksisite ve kanserojen etkileriyle insan sağlığına karşı muazzam bir tehlike ortaya koymaktadırlar [5]. Seliem et al. toluen için organosilikaları ve organo-killeri soğurgan malzeme olarak incelemiş ve en iyi durumda organik-nanokil yapısında ancak 35 g/kg kadar toluen tutabilmişlerdir [5].



şekil 1. Kimyasal saçılma kazalarında geleneksel müdahale yaklaşımları [1].

GG, grafit arakatlı bileşiklerinin (GAB) ısıl muameleye maruz bırakılması ile üretilen oldukça önemli bir sınai yarı-mamuldür [6]. Grafit esaslı sızdırmazlık elemanları, salmastra vb. ürünlerin en önemli hammaddelerinden biri olan esnek grafit yapraklar GG'den imal edilmektedir [6]. GAB'lar grafitteki karbon levhalarının arasına moleküller, atomlar veya iyonların yerleşmesiyle oluşmaktadır. Bu bakımdan GAB'lar kovalent bileşikler ve iyonik bileşikler olarak iki sınıfta gözlemlenir. Kovalent GAB'lar grafit oksit, karbon monoflorür ve tetrakarbon monoflorür gibi bileşikleri kapsarken iyonik GAB'lar grafit sülfat, grafit nitrat vb. grafit tuzlarından grafit-alkali metal bileşiklerine uzanan geniş bir aileye tekabül eder. Bu ikinci ailenin bir üyesi olan H₂SO₄-GAB yüksek genleşme yetisi sebebiyle yaygınca üretilmektedir. GAB'ın genleşme tepkimesi, arakatlı bileşiklerinin ısı altında buharlaşması/parçalanması ile yürür ve grafitin c-ekseninde onlarca kat genleşmeye yol açabilir [6]



Şekil 1. Firmamız tarafından geliştirilen ve mevcut çalışmada da kullanılan grafit arakatlı bileşiğinin nanoyapısı.

1.1 Taguchi Yöntemleri

Bu çalışmada, optimum soğurgan malzeme tasarımına ulaşmak adına Genichi Taguchi tarafından geliştirilen gürbüz tasarım yöntemi (robust design methodology) uygulanacaktır [7]. Taguchi yöntemi, geleneksel tam etmensel (full factorial) deney tasarımına karşı daha az zaman, emek ve alçak maliyetle sonuca ulaşabilen özgün bir istatistiksel tekniktir [7]. Tam etmensel tasarım bir deneydeki olası tüm etmenleri ve onların kombinasyonlarını bütünüyle tanımlayan ve soruşturan bir tekniktir [8]. Kesirli etmensel tasarımda ise kombinasyonların sadece bir kısmı hesaba katılsa da geleneksel etmensel tasarımlar zaman tüketen ve maliyetli işlemlerdir ve uygulanmaları ciddi matematiksel donanımlar gerektirip sonuçlar hatalara aşırı duyarlıdır. Taguchi yöntemi kesirli etmensel tasarımı basitleştirip standartlaştırarak bu sorunların üstesinden gelmiştir [8]. Bu yöntemde bir sürecin/ürünün optimizasyonu adım adım yürütülür: Deneysel çalışma ortogonal dizgeler (orthogonal array) üzerinden tasarlanır, icra edilir, sonuçlar ANOVA hesaplamaları ile değerlendirilir; denetim etmenlerinin hedef nitelikler üzerine etkileri ve eniyi seviyeleri belirlenerek optimum şartlar elde edilir [7]. Taguchi yöntemleri 1960'larda imalat sanayilerinde kullanılmaya başlanmış ve mühendislik çalışmalarında köklü devrimlere önayak olmuştur [7]. Taguchi deney tasarımında, etmenler ve seviyelerinden müteşekkil ortogonal dizgeler, iç dizge denetlenebilir etmenler (sinyal etmenleri) ve tüm olası kombinasyonlarını; dış dizge ise denetlenemeyen etmenleri (gürültü etmenleri) içerecek şekilde düzenlenir. Buna göre Taguchi yaklaşımında temel hedef sonuçların sadece denetlenebilir etmenler ışığında değişmesi, yani sinyal/gürültü (S/N) oranının azamileştirilmesidir [8]. Taguchi farklı haller için Küçük-Daha-İyi,

Nominal-Daha-İyi gibi farklı S/N oranları önermiştir ancak mevcut çalışmamızda hedef azami sıvı soğurumu olduğu için Yüksek-Daha-İyi cinsi S/N oranı tercih edilmelidir [8]:

$$S/N_{YDI} = -10 \log_{10} [1/n \sum (1/Y_i)^2]$$

Burada n herbir etmen seviyesindeki deney tekrarı Y ise i. gözlem değeridir.

2. MALZEME ve YÖNTEM

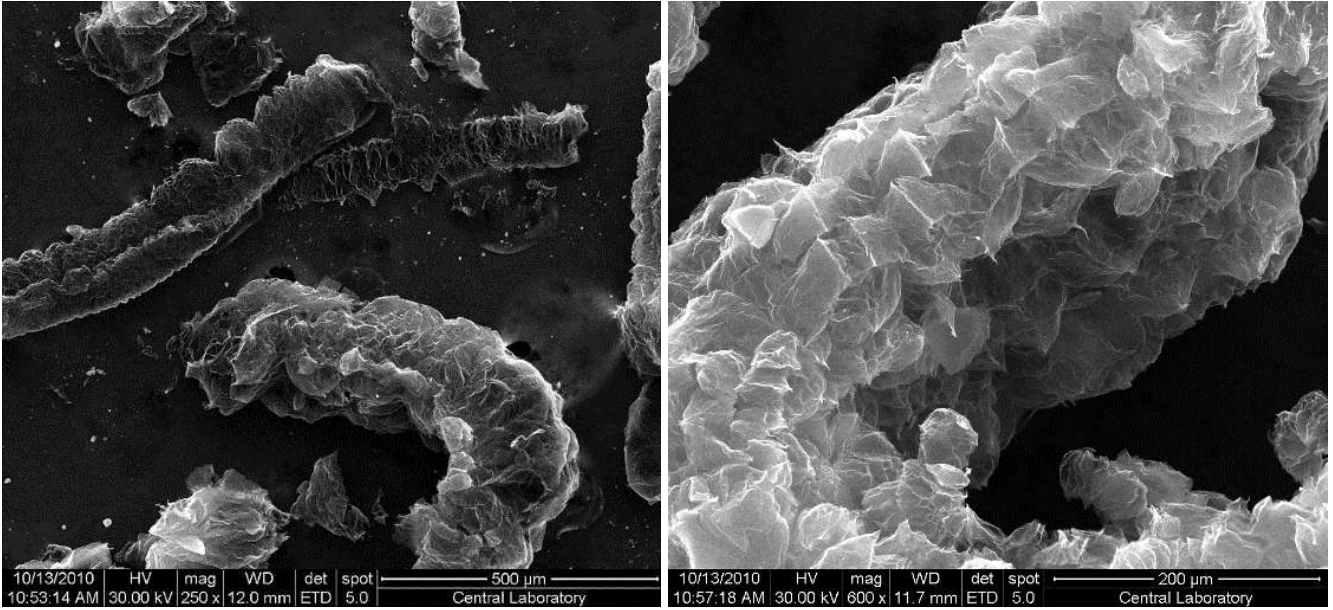
GG esaslı soğurucu malzemeler GAB'ların mikrodalga muamelesiyle hazırlandı (Bkz. Şekil 3). Hazırlama sürecinin sıvı kimyasalları soğurma başarımına etkisi ve enuygun süreç koşullarının tayini adına deney tasarımı L_9 ortogonal dizge kullanılarak yapıldı (Bkz. Çizelge 2). Deneye uygun ortogonal dizge seçimi için temel kıstas serbestlik derecesidir [9]. Buna göre mevcut deney tasarımının toplam serbestlik derecesi (etkileşimler hesaba katılmadan)

$$DOF_{DNY} = E \times (S-1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada E etmen sayısı, S bir etmenin seviye sayısıdır. Böyle bir deney için uygun ortogonal dizgenin serbestlik derecesi $DOF_{OG} = OG - 1$ olmak üzere:

$$DOF_{OG} \geq DOF_{DNY}$$

Koşulunu sağlayan ortogonal dizgeler deney tasarımında kullanılabilir [9]. Bu çalışmada $DOF_{DNY} = 4 \times (3-1) = 8$ olduğundan L_9 ortogonal dizge seçilmiştir.



Şekil 2. Grafit oksit mikrodalga muamelesi ile hazırlanmış genişletilmiş grafitler.

Herbir deneyde belli miktarda GG üzerine istenilen sıvı kimyasal belli miktarda damlatıldı. Ardından deney tasarımındaki sürelerde bekletilip soğurulmadan kalmış sıvı kısım tümüyle geri-boşaltıldı. Nihai numune süzgeç kağıdı üstüne dökülerek tartıldı ve g Sıvı/g GG cinsinden soğurucu yetisi hesaplandı. Uçucu organik bileşikler temsilen ksilen, petrol-vari kimyasalları temsilen dizel yakıt, pazardaki ticari halleriyle soğurma deneylerinde kullanıldı. Herbir deney etmenindeki seviye iki kez tekrarlandı (n=2). Veri analizi GNU R istatistiksel yazılımı ortamında gerçekleştirilmiştir.

Son olarak, optimize edilen şartlarda üretilen GG numunelerinin fiziksel özellikleri TGA (termogravimetrik analiz) ve tek nokta BET (Brunauer, Emmett, Teller) yüzey alanı tekniğiyle

incelenerek Taguchi yönteminin etkinliği tartışıldı. Malzemenin ısıl direnci hakkında ayrıntılı bilgiler veren TGA, 10 °C/min ısıtma hızıyla hava atmosferinde uygulanmıştır.

Çizelge 1. Deneyde uygulanan etmenler ve seviyeleri.

Etmenler	Seviyeler		
	1	2	3
A: Mikrodalga Şiddeti (W)	360	900	1620
B: Mikrodalga Işınlama Süresi (s)	10	30	50
C: Işınlanan Malzeme Miktarı (g)	0.5	1	1.5
D: Soğurum Süresi (min)	5	10	15

Çizelge 2. L₉ Ortogonal dizge (Etmen ve seviye tanımları için Çizelge 1'e bakınız).

No.	Etmenler			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

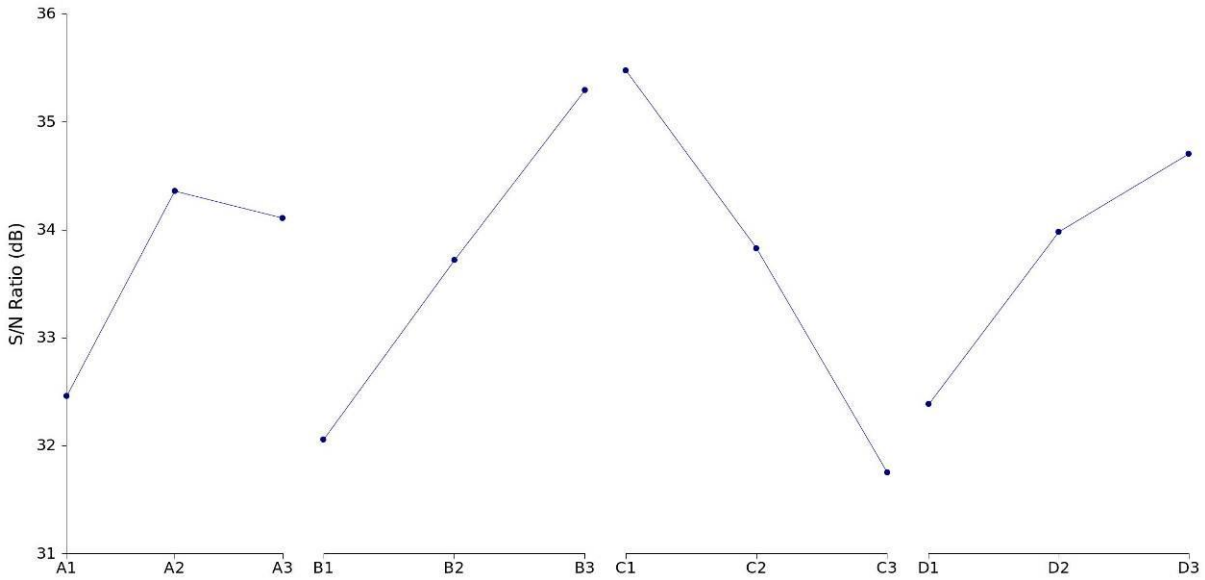
3. BULGULAR ve TARTIşMA

Ksilen soğurumuna ilişkin sonuçlar Çizelge 3'te sunulmaktadır. Görüldüğü üzere eniyi halde 1 g grafen başına 79.3 g ksilen soğurumuna ulaşılmış, literatürdeki benzer çalışmaların [5] üstünde sıradışı bir başarı yakalanmıştır.

Elde edilen S/N değerlerinin ANOVA tahlilinden görüldüğü üzere (Bkz. Çizelge 4) 0.05 güven aralığında istatistikselce en etkili etmenler Amount, yani mikrodalga işınlanan hammadde miktarı, ve onu takiben, MWTime (mikrodalga işınlama süresi) ve STime (soğurum süresi) olarak bulunmuştur. İlginç biçimde mikrodalga şiddeti etmeninin istatistiksel bir önemi yoktur.

Çizelge 3. Ksilen soğurum yetisi (g Ksilen/g grafen) değerleri ve tekabül eden S/N oranları.

Dny.No.	Soğurum Yetisi (g/g)		S/N Oranı (dB)
	n ₁	n ₂	
1	38	35.8	31.33
2	44.3	44.1	32.91
3	45.7	45	33.13
4	48.1	51	33.89
5	31.3	44.9	31.2
6	79.7	78.9	37.99
7	30.3	43.1	30.8
8	64.3	77.3	36.89
9	61.8	47.6	34.54

**Şekil 3.** Ksilen soğurumu için S/N yanıt grafiği.**Çizelge 4.** Ksilen soğurumu S/N oranlarının ANOVA değerlendirmesi

	DOF	Sum Square	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Significance
MWInt	1	3.5669	3.5669	4.3135	0.106396	.
MWTime	1	15.2004	15.2004	18.3818	0.012772	*
Amount	1	20.1300	20.1300	24.3432	0.007851	**
STime	1	7.7976	7.7976	9.4296	0.037265	*
Residuals	4	3.3077	0.8269			
Signif. codes:		0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '!'	0.1 '' 1

Ardından deneylerde kaydedilen hakiki soğurma verisi üzerinde ANOVA tahlili uygulandı (Bkz. Çizelge 5). Hakiki soğurma verisi için yine en etkili etmen mikrodalga ışınlanan hammadde miktarıdır. Onu MWTime (mikrodalga ışınlama süresi) takip etse de STime (soğurma süresi) ancak 0.1 güven aralığında önem gösterebilmiştir. Mikrodalga şiddeti burada da istatistikselce önemli değildi. Ayrıca etmenler arasındaki etki gücü farkı S/N verisine göre daha alçaktı. Sonuç olarak genleşmiş grafitle ksilen soğurumu için, S/N verisi ışığında enuygun deney tasarımı A2 – B3 – C1 – D3 olarak bulundu.

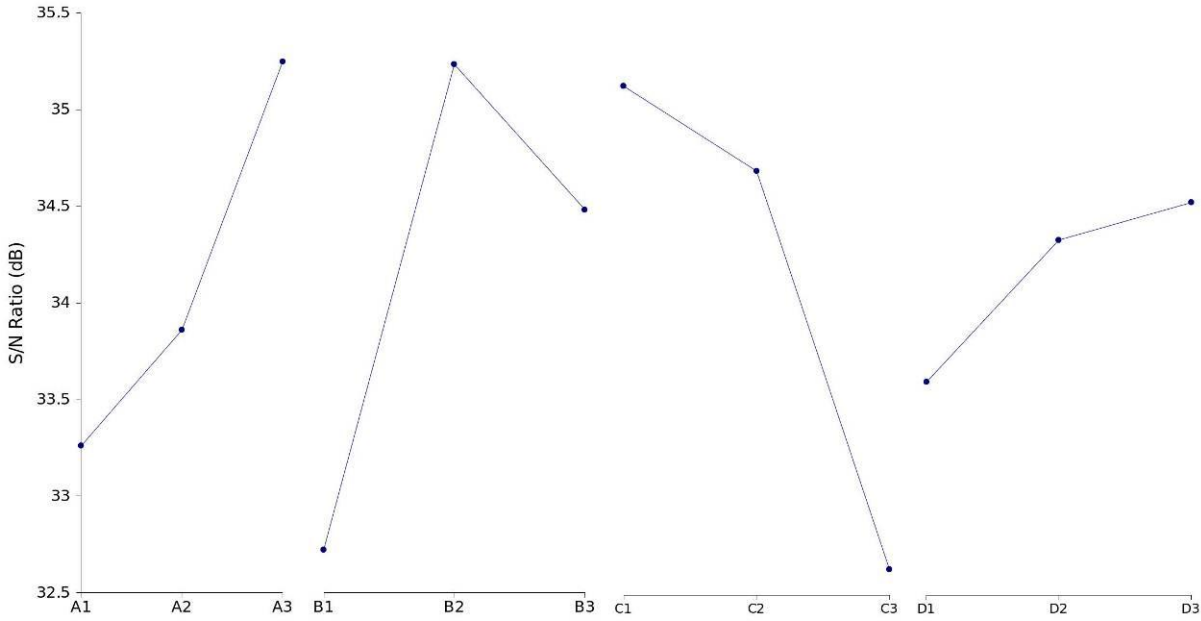
Çizelge 5. Ksilen soğurumu gerçek gözlem verisinin ANOVA değerlendirmesi

	DOF	Sum Square	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Significance
MWInt	1	186.84	186.84	4.1233	0.11214	
MWTime	1	526.41	526.41	11.6174	0.02707	*
Amount	1	744.82	744.82	16.476	0.01542	*
STime	1	216.00	216.00	4.7670	0.09439	.
Residuals	4	181.25	45.31			
Signif. codes:		0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 '' 1

Dizel soğurumu deneylerinde benzer biçimde umut verici bulgular elde edildi (Bkz. Çizelge 6). Gözlemlenen azami değerde, literatürdeki değerlere [3] nazaran %150 üstünlük sağlanmış ve 1 g grafit başına 81.2 g dizel yakıt soğurulmuştur. Hesaplanan S/N değerlerine uygulanan ANOVA değerlendirmesi Çizelge 7'de verilmektedir.

Çizelge 6. Dizel soğurma yetisi (g Dizel/g grafit) değerleri ve tekabül eden S/N oranları.

Dny.No.	Soğurma Yetisi (g/g)		S/N Oranı (dB)
	n ₁	n ₂	
1	74.3	31.6	32.28
2	56.2	56.8	35.04
3	44	40.3	32.47
4	46.7	46.4	3.36
5	46.9	41.8	32.89
6	61.4	55.	35.32
7	45.4	39.8	32.53
8	99.5	64.2	37.65
9	58.5	61.6	35.56



Şekil 4. Dizel soğurumu için S/N yanıt grafiği.

Çizelge 7. Dizel soğurumu S/N oranlarının ANOVA değerlendirmesi.

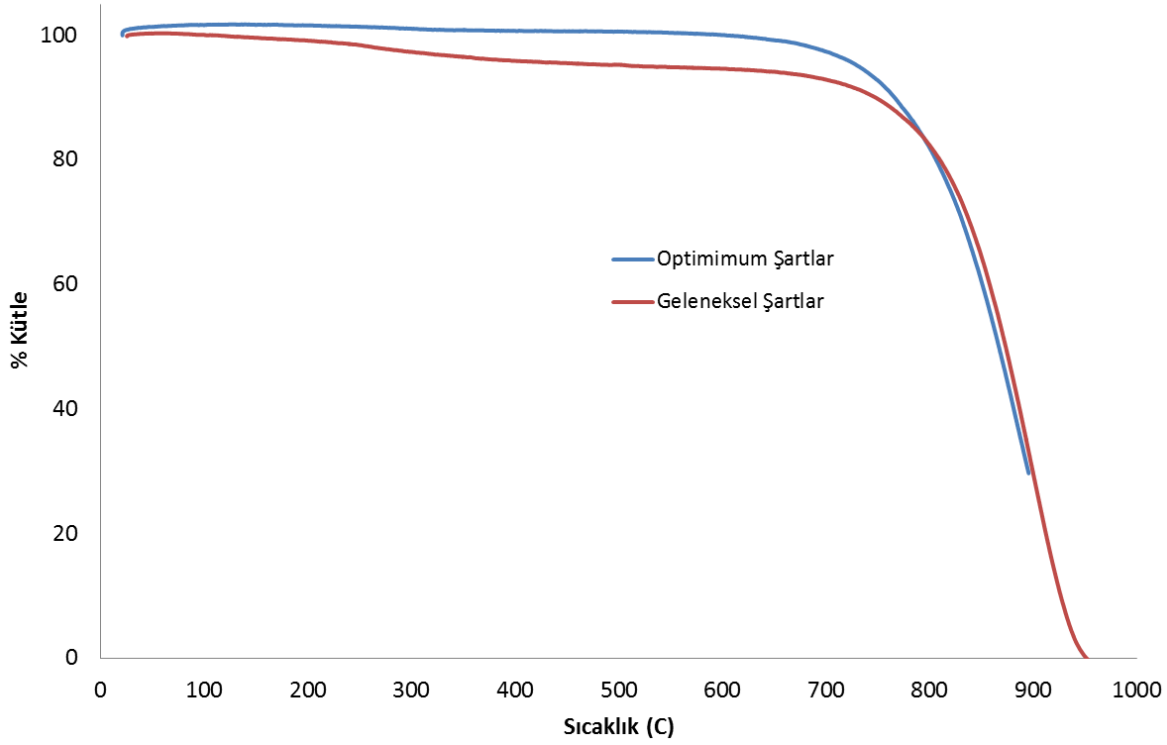
	DOF	Sum Square	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Significance
MWInt	1	6.0869	6.08 9	3.6340	0.12929	
MWTime	1	4.4721	4.4721	2.6699	0.17760	
Amount	1	9.0283	9.0283	5.3901	0.08099	
STime	1	1.2604	1.2604	0.7525	0.43463	
Residuals	4	6.6999	1.6750			
Signif. codes:		0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 '' 1

Dizel soğurucu deneylerinde ilginç bir biçimde 0.05 güven aralığı için hiçbir etmen istatistikselce etkili değildi. Bununla birlikte 0.1 güven aralığı için sadece mikrodalga ışınlanan hammadde miktarı etkiliydi. Yukarıdaki sonuçlardan anlaşılacağı üzere burada da en etkin parametre mikrodalga ışınlanan hammadde miktarıdır. Ancak bu etmenin gücü diğerlerinden, ksilen deneylerine nazaran daha zor ayırt edilebilmektedir. Elde edilen hakiki soğurma değerlerinin ANOVA tahlili S/N değerlerinininkine benzer sonuçlar verdi. Fakat burada mikrodalga ışınlanan madde miktarının etki gücü 0.05 güven aralığında da belirgindi. Mikrodalga şiddeti, mikrodalga süresi ve soğurma süresinin istatistikselce bir etkisi olmadığı görüldü. Sonuç olarak genişletilmiş grafitle dizel soğurucu için, S/N verisi ışığında en uygun deney tasarımı A3 – B2 – C1 – D3 olarak tespit edilmiştir.

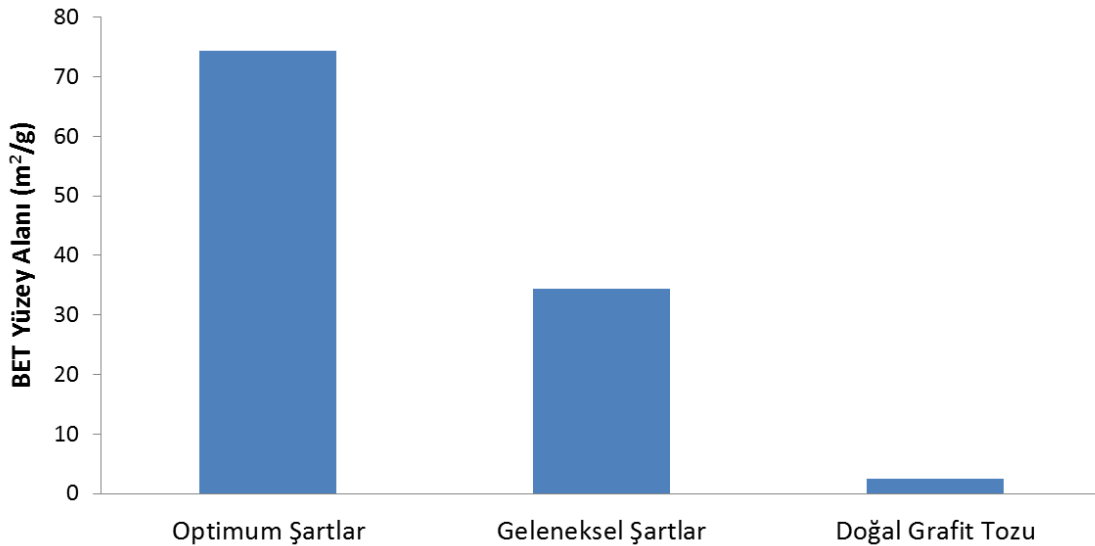
Çizelge 8. Dizel soğurucu gerçek gözlem verisinin ANOVA değerlendirmesi

	DOF	Sum Square	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Significance
MWInt	1	199.00	199.00	2. 905	0.170 4	
MWTime	1	57.97	57.97	0.8129	0.41824	
Amount	1	688.01	688.01	9.6479	0.03601	*
STime	1	29.04	29.04	0.4072	0.55808	
Residuals	4	285.25	71.31			
Signif. codes:		0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	0.1 '' 1

Taguchi optimizasyonu ile ulaşılan ideal üretim Őartlarında sentezlenen numunelerin fiziksel özellikleri incelenmiş ve daha önce firmamız tarafından geliştirilen geleneksel imalat yaklaşımıyla üretilen ticari ürünümüze göre çarpıcı iyileşmeler kaydedilmiştir. Numunelerin ısı özellikleri TGA ile araştırıldığında optimum ürünlerde ısı dayanımının gözle görölür derece arttığı belirlenmiştir (Bkz. Şekil 8). Geleneksel numune 200 °C civarı oksitlenmeye başlamış ve 950 °C'ye ulaşırken tümüyle yanarak yok olmuştur. Buna karşın optimize edilmiş numune 800 °C'ye kadar hiçbir bozunma göstermemiş, üstelik 950 °C'de halen asıl kütesinin %30'u bozunmadan kalabilmiştir.



Şekil 5. Geleneksel ve optimize edilmiş Şartlarda üretilen numunelerin TGA eğrileri.



Şekil 6. Geleneksel ve optimize edilmiş Şartlarda üretilen numunelerin BET yüzey alanları. Ham doğal grafit tozuna nazaran yüzey alanındaki artışa dikkat ediniz.

Benzer iyileşmeler yüzey alanı değerlerinde de tespit edilmiştir. Mevcut numunelerin tek nokta BET yüzey alanlarında, optimize Şartlarda geleneksel yöntemeye göre %100'lük bir büyüme vuku bulmuştur.

Deneilerin sunduğu dikkat çekici bir diğer sonuç, ham grafit tozunun yüzey alanının, GG imalatı için uygulanan işlemlerle ~50 kat artmasıydı. Bu da geliştirilen üretim yaklaşımlarının etkinliğini göstermesi bakımından önemlidir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sınai kimyasalların büyük çaplı saçılması ile meydana gelen çevre felaketlerinde kirletici sıvıların basit ve etkin bir biçimde temizlenebilmesi için genleşik grafit esaslı yüksek başarımlı soğurucu malzemeler geliştirildi. En iyi numunelerde 1 g genleşik grafitin 80 g kirletici sıvı emebildiği kaydedildi. Tasarlanan soğurucuların sınai ve çevresel vakalarda başarı ile kullanılabileceği gösterildi.

5. KAYNAKLAR

1. <http://www.coastguardd5publicaffairs.com/go/doc/651/124920/&printerfriendly=1> Erişim Tarihi: 30 Nisan 2011
2. MASAHIRO TOYODA, MICHIO INAGAKI, Sorption and Recovery of Heavy Oils by Using Exfoliated Graphite, *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 8, Nos. 5–6, pp. 467–474, 2003.
3. Guoliang Wang, Qingrong Sun, Yanqing Zhang, Jinhong Fan, Luming Ma, Sorption and regeneration of magnetic exfoliated graphite as a new sorbent for oil pollution, *Desalination* 263 (2010) 183–188.
4. Masahiro Toyoda, Michio Inagaki, Heavy oil sorption using exfoliated graphite New application of exfoliated graphite to protect heavy oil pollution, *Carbon* 38 (2000) 199–210.
5. Moaaz K. Seliem, Sridhar Komarneni, Yunchul Cho, Taesook Lim, M.G. Shahien, A.A. Khalil, I.M. Abd El-Gaid, Organosilicas and organo-clay minerals as sorbents for toluene, *Applied Clay Science* 52 (2011) 184–189.
6. A. Bayat, S. F. Aghamiri, A. Moheb, Oil Sorption by Synthesized Exfoliated Graphite (EG), *Iranian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 5, No. 1 (Winter), 2008, IChE.
7. Mosavian, M. T. Hamed and Hassani, A. (2010). Making Oil-in-Water Emulsions by Ultrasound and Stability Evaluation Using Taguchi Method, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 31: 3, 293 — 298.
8. Seresht, Razieh Jabari, Jahanshahi, Mohsen and Toubi, Forogh (2010). "Applying the Multiple Linear Regressions and Taguchi Design Method for Controlled Fabrication of Carbon Nanotubes in Solution", *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 18: 2, 148 — 159.
9. R. S. JADOUN, PRADEEP KUMAR, B. K. MISHRA and R. C. S. MEHTA, Optimization of process parameters for ultrasonic drilling of advanced engineering ceramics using the Taguchi approach, *Engineering Optimization*, Vol. 38, No. 7, October 2006, 771–787.