



**BASIC BLUE 41 BOYAR MADDESİNİN ELMA KABUĞUNDAN ELDE EDİLEN AKTİF  
KARBON İLE ADSORPLANABİLİRLİĞİNİN MATEMATİKSEL OLARAK  
MODELENMESİ**

Canan DEMİR<sup>1\*</sup>, Halime YILDIZ<sup>2</sup>, Ali Rıza KUL<sup>3</sup>, Sıddık KESKİN<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Van, [canandemir@yyu.edu.tr](mailto:canandemir@yyu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-4204-9756

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Van [halimeyildiz@yyu.edu.tr](mailto:halimeyildiz@yyu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0002-0603-1815

<sup>3</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Van [alirizakul@yyu.edu.tr](mailto:alirizakul@yyu.edu.tr),  
ORCID: 0000-0001-9331-775X

<sup>4</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, 65100, Van, [skeskin973@gmail.com](mailto:skeskin973@gmail.com),  
ORCID: 0000-0001-9355-6558

*Geliş Tarihi:11.03.2020*

*Kabul Tarihi:26.06.2020*

**ÖZ**

Basic Blue 41, tekstil endüstrisinde boyar madde olarak kullanılır. Boyar maddelerin bazıları doğal kökenli olmakla birlikte, bunların çoğu sentetiktir. Atık su arıtma tesislerinde işlem boyunca değişmeden kalan boyar maddeler toksik etkilere sahiptir. Tekstil atık sularının toksik olması, hem insan sağlığı hem de çevre açısından zararlı olduğu için arıtılması gerekmektedir. Bu çalışmada, elma kabuğundan elde edilen aktif karbon ile sulu ortamdan adsorbe edilen basic blue 41 boyar madde miktarının matematiksel olarak modellenmesi amaçlandı. Aktif karbon elde etmek için elma kabuğu, 2 mm'lik parçalar halinde ön işleme tabi tutulduktan sonra  $ZnCl_2$  ile kimyasal olarak aktive edildi. Farklı sıcaklıklarda (25, 35, 45 °C) ve konsantrasyonlarda (85, 100, 125 ppm) adsorbe edilen madde miktarı belirlendi. Adsorplanan boyar madde miktarını tahmin etmede doğrusal modele ek olarak 4 farklı doğrusal olmayan model (logaritmik, kuadratik, kübik, lojistik) kullanılarak en uygun model belirlendi. Hesaplamalarda istatistiksel anlamlılık düzeyi  $p < 0.05$  olarak alındı ve hesaplamalar için SPSS (ver: 22.0) istatistik paket programı kullanıldı. Bu çalışma ile atık sulardan basic blue 41 boyar maddesinin gideriminde hem elma kabuğunun diğer adsorbanlar kadar iyi bir adsorban olduğu hem de adsorplanan madde miktarını tahmin etmek için en iyi modelin, %96 ile %99 arasında değişen  $R^2$  değerleri ile kübik model olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** *Adsorpsiyon, aktif karbon, boyar madde, matematiksel modelleme.*

**MATHEMATICAL MODELING of BASIC BLUE 41 DYESTUFF with ADSORBABILITY of  
ACTIVATED CARBON OBTAINED from APPLE PEEL**

**ABSTRACT**

Basic blue 41 is used in textile industry as dyestuff. Some of the dyestuffs are of natural origin, but most of them are synthetic. Dyestuffs which remain unchanged throughout the process in the

wastewater treatment plants have toxic effects. Textile wastewater should be toxic, and it should be purified because it is harmful to both human health and the environment. In this study, it was aimed to mathematically model the amount of basic blue 41 dye substances from the aqueous environment with activated carbon obtained from apple peel. The apple peel was chemically activated with  $ZnCl_2$  after being pretreated in 2 mm pieces to obtain activated carbon. The amount of substance adsorbed at different temperatures (25, 35, 45 °C) and concentrations (85, 100, 125 ppm) was determined. In addition to the linear model, the most suitable model was determined by using 4 different nonlinear models (logarithmic, quadratic, cubic, logistic) in estimating the amount of adsorbed dyestuff. In calculations, statistical significance level was taken as  $p < 0.05$  and SPSS (ver: 22.0) statistical package program was used for calculations. This study shows that the apple blue peel is as good as other adsorbents in the removal of basic blue 41 dye from wastewater, and the best model for estimating the amount of adsorbed substance is the cubic model with  $R^2$  values ranging from 96% to 99%.

**Keywords:** *Activated carbon, adsorption, dyestuff, Mathematical modeling.*

## 1. GİRİŞ

Boya, cisimlere güzel bir görünüm sağlamak ve onları dış etkilerden korumak amacıyla renklendirmede kullanılan maddelerdir. Boya ve boyar madde sözcükleri eş anlamlı değildir. Boyalar, genellikle inorganik yapıda olup, bir bağlayıcı ile karışmış fakat çözünmemiş karışımlardır. Bunlar, yüzeye uygulandıklarında yüzeyde hiçbir değişikliğe neden olmaz ve kazıma ile büyük parçalar halinde yüzeyden uzaklaştırılabilirler [1]. Oysa boyar maddeler organik bileşiklerdir. Boyanmak istenen materyal, boyarmadde ile kimyasal veya fizikokimyasal bir etkileşime girerek materyal yüzeyinin yapısını değiştirmektedir. Boyanan yüzey kazıma, silme, yıkama gibi fiziksel işlemlerle başlangıçtaki renksiz durumunu alamaz. Boyar maddeler kumaş ve elyaf gibi materyallerin renklendirilmesinde kullanılırlar [2].

Boyar maddelerin bazıları doğal kökenli olmakla birlikte, bunların çoğu sentetiktir. Doğal boyar maddeler genellikle hayvanların deri ve salgı bezlerinden, bitkilerin kök, kabuk, tohum, meyve gibi kısımlarından ve maya bakterileri gibi mikroorganizmalardan basit kimyasal işlemler sonucu elde edilebilmektedir [3]. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin birçoğu atık su arıtım tesislerinde işlem boyunca değişmeden kalır [4]. Boyar maddeler kısmi olarak parçalandıklarında oluşan ürünler daha toksik olabilir. Tekstil atık sularının toksik olması, hem insan sağlığı hem de çevre açısından zararlı olduğu göz önünde bulundurularak arıtılması gerekmektedir.

Boyanacak tekstil ürünlerinin özelliğine bağlı olarak farklı kimyasal yapıda (asidik, bazik, dispers, azo, pigment, reaktif, vb) boyar maddeler kullanılmaktadır [5]. Boyar maddelerin yapısındaki farklılıklar, bu maddelerin giderimini (arıtılmasını) zorlaştırmakta ve çoğu zaman aynı süreçte, farklı arıtma yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır [6]. Endüstriyel atık sulardaki renkli ve renksiz organik kirleticilerin giderilmesinde uygun adsorbanların kullanılması adsorpsiyon sürecinin önemli bir uygulaması olarak dikkat çekmektedir [7].

Adsorpsiyon, gaz ya da sıvı karışımlarda bulunan organik ve kimyasal bileşenleri ortamdaki uzaklaştırmak için özel katıların kullanıldığı bir prosesdir ve bu özel katılara “adsorbent” (adsorban) denir. Katı maddenin yüzeyinde bulunan moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından dolayı akışkan içindeki moleküllerle katı yüzeyindeki moleküllerin etkileşmesi sonucunda

adsorpsiyon meydana gelir. Eğer kütle aktarımı katı fazdan sıvı veya gaz faza doğru gerçekleşiyorsa, bu olay desorpsiyon adını alır. Adsorpsiyon derecesi, adsorplananın ve adsorbanın cinsine, sıcaklığına, adsorplanan maddenin derişimine veya basıncına ve adsorban ile adsorplanan (adsorbat) arasındaki kimyasal benzerliğe bağlıdır [8].

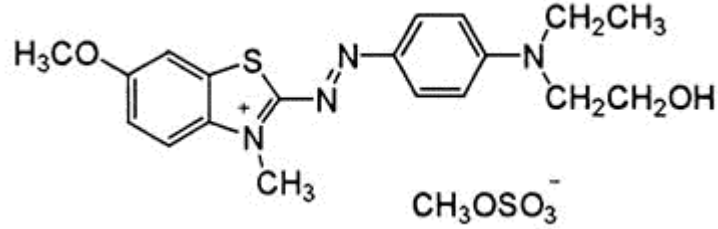
Adsorpsiyon işlemini etkileyen en önemli parametre adsorbentın yüzey alan değeridir ve yüzey alan değerinin artması ile adsorpsiyon miktarı da artış gösterir. Dolayısıyla gözenekli malzemeler ya da çok küçük parçalara bölünmüş katılar yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir. En çok kullanılan adsorbent aktif karbondur. Aktif karbon, yapısında %87-%97 oranında karbon atomu bulunan gözenekli yüzeye sahip, tabakalı yapıda organik ve organik olmayan kirliliklerin giderilmesinde kullanılan potansiyel bir adsorbandır [9]. Ayrıca kitosin, zeolitler, killer, bazı endüstriyel atıklar ve tarımsal atıklar da sıkça kullanılan adsorbentler arasında yer almaktadır [10].

Bu çalışmada, elma kabuğundan elde edilen aktif karbon ile sulu ortamdan adsorbe edilen basic blue 41 boyar madde miktarının matematiksel olarak modellenmesi incelenmiştir. Adsorplanan madde miktarının sıcaklık ve zamana göre değişimi üzerine çok sayıda çalışma yapılmış olmakla birlikte, bu madde miktarının zamana bağlı olarak modellenmesi konusundaki çalışmalar az sayıdadır. Bu nedenle, bu çalışmada farklı konsantrasyon (85, 100, 125 ppm) ve sıcaklıklarda (25, 35, 45 °C) adsorplanan boyar madde miktarının zamana bağlı değişimi için doğrusal modele ilaveten, dört adet doğrusal olmayan matematiksel model kullanılarak, tahmin denklemlerinin elde edilmesi ve bu denklemlerin kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada adsorban madde olarak elma kabuğundan elde edilen aktif karbon kullanıldı. Öncelikle elma kabukları kurutulduktan sonra yaklaşık 2 mm'lik parçalar olacak şekilde öğütüldü. Kimyasal aktivasyon için, elma kabuğu çinko klorür ( $ZnCl_2$ ) ile karıştırıldı. Karışıma gerekli miktarda saf su ilave edilerek, fırında 105 °C'de kurutuldu. Daha sonra aktivasyon sıcaklığı olan 500 °C'de 1 saat süre ile  $N_2$  akımı altında ısıtıldı. Aktivasyon işleminden sonra elde edilen ürün,  $N_2$  akımı altında soğutulularak buna 0.5 N HCl ilave edildi. Filtreleme işleminden sonra, üzerindeki kimyasal kalıntılardan ve klordan arındırılmak üzere birkaç defa saf su ile yıkama işlemi yapıldı. Son olarak Van elması kabuğundan elde edilen aktive edilmiş karbon 105 °C'de 24 saat boyunca kurutulduktan sonra bir desikatöre alınıp oda sıcaklığına soğutuldu. Soğutulan numune 230 mesh elekte (63µm) elendi. Aktif karbon üretiminde toplam verimin (yüzde) hesaplanması için, elde edilmiş olan karbonun ağırlığı elma posası ve  $ZnCl_2$ 'e bölündü. Ardından 500 ppm stok çözelti hazırlandı. Çalışma çözeltileri (85, 100 ve 125 ppm) stok çözeltilerden seyreltilerek hazırlandı ve pH-5 esas alınarak çalışıldı. Hazırlanan çözeltilere 1g aktif karbon ilave edildi. Su banyosunda 25, 35 ve 45 °C'de çalkalandı. 5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 140, 180 ve 240 dakika zaman aralıklarıyla numuneler alındı. Bu numunelerin UV/VIS spektrofotometresi (PG Instruments Ltd, T80)'nde ölçümleri yapılarak sonuçlar değerlendirildi.

Çalışmada adsorbat olarak kullanılan ve katyonik boyar madde olan BB 41, Sigma-Aldrich Şirketi'nden satın alınmış ve saflaştırılmadan kullanılmıştır. Basic Blue 41'in molekül ağırlığı 482.6 g/mol ve molekül formülü  $C_{20}H_{26}N_4O_6S_2$ 'dir (Şekil 1).



Şekil 1. Basic Blue 41'in molekül yapısı.

### 2.1 İstatistik Analiz

Üzerinde durulan bağımlı değişken ile ilişkili olabileceği düşünülen bağımsız değişkenlerin bir fonksiyonu regresyon olarak ifade edilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şekli regresyon modelleri ile incelenmektedir. Kullanılması gereken regresyon modeli verinin yapısına göre farklılık göstermekte ve yanlış model kullanılması hatalı sonuçların elde edilmesine neden olabilmektedir.

Regresyon denkleminin genel ifadesi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

olarak yazılmaktadır [11].

Y: Bağımlı (sonuç) değişken olup belli bir hataya sahip olduğu varsayılır.

X: Bağımsız (sebeup) değişken olup hatasız ölçüldüğü varsayılır.

$\beta_0$ : Sabit olup  $X=0$  olduğunda Y'nin aldığı değerdir. Doğrunun y-eksenini kestiği noktadır.

$\beta_1$ : Doğrunun eğimi veya regresyon katsayısıdır. X'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık Y'de kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder.

$\varepsilon$ : Rasgele hata değeridir [12].

#### 2.1.1 En küçük kareler yöntemi

Regresyon katsayılarının tahmini için en çok kullanılan yöntem en küçük kareler yöntemidir. En küçük kareler yöntemi ile hata kareler toplamı minimize edilir.

$$\text{Min } \sum e_i^2 = \sum (Y - (\beta_0 + \beta_1 X))^2 \quad (2)$$

İkinci dereceden bir fonksiyonun minimum olması için türevleri alınıp sifira eşitlenir. Buna göre yukarıdaki ifade için ayrı ayrı türevleri sifira eşitlenerek gerekli sadeleştirmeler yapıldığında regresyon sabiti  $\beta_0$  ve regresyon katsayısı  $\beta_1$  aşağıdaki gibi elde edilir [13].

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum (Y - \bar{Y})(X - \bar{X})}{\sum (X - \bar{X})^2} \quad (4)$$

Üzerinde durulan özellikler için tanımlayıcı istatistiklerden;

$$\text{Ortalama; } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (5)$$

$$\text{Standart sapma; } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

değerleri hesaplanmış, minimum ( $x_{min}$ ) ve maksimum ( $x_{max}$ ) değerler belirlenmiştir. Üç konsantrasyon için de hem zaman hem de sıcaklık seviyeleri arasında fark olup olmadığını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Varyans analizi sonucu farklılığın hangi gruptan/gruplardan kaynaklandığını tespit etmek için Tukey çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Ayrıca farklı sıcaklık ve konsantrasyonlarda, adsorplanan boyar madde miktarını tahmin etmede;

$$\text{Lineer; } Y = a_0 + a_1X \quad (7)$$

$$\text{Logaritmik; } Y = a_0X^{a_1} \Rightarrow \ln Y = a_0 + a_1 \ln X \quad (8)$$

$$\text{Kuadratik; } Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 \quad (9)$$

$$\text{Kübik; } Y = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 \quad (10)$$

$$\text{Lojistik; } Y = a_0 + a_1(\log X) + a_2(\log X)^2 \quad (11)$$

modeller kullanılarak en uygun model belirlenmiş ve saçılım diyagramları üzerinde modeli temsil eden yaklaşık eğriler gösterilmiştir [14]. Modellerin uyum iyiliğini belirlemede  $R^2$  (determinasyon katsayısı) dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda istatistik anlamlılık düzeyi  $p < 0.05$  olarak alınmış ve analizler için SPSS (ver: 22.0) istatistik paket programı kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR

BB 41 boyar maddesinin, elma kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuna ait tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları; konsantrasyon (85, 100, 125 ppm) ve zamana (5, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 140, 180 ve 240 dk) bağlı olarak Çizelge 1 'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Tanımlayıcı istatistikler ve çeşitli zaman aralıkları için adsorplanan madde miktarının karşılaştırma sonuçları.

	Zaman(dk)	n	Ortalama	Std.sapma	Min	Max	p
85 ppm	5	3	27.12g	3,55	24,09	31,02	0,001
	15	3	32.61g	3,57	29,29	36,39	
	30	3	39.87f	3,19	36,53	42,88	
	45	3	48.39e	2,14	46,21	50,48	
	60	3	53.42de	4,35	48,53	56,86	
	75	3	56.17cd	4,59	51,26	60,36	
	90	3	58.05cd	5,47	52,21	63,06	
	105	3	59.51cd	5,53	53,42	64,21	

	120	3	62.23bc	6,92	54,39	67,49	
	140	3	68.95ab	2,13	67,51	71,39	
	180	3	70.00a	1,93	68,19	72,04	
	240	3	71.23a	2,85	69,21	74,49	
100 ppm	5	3	31.27f	2,59	29,31	34,21	0,001
	15	3	38.01fg	5,78	31,49	42,53	
	30	3	42.15fg	7,34	35,28	49,88	
	45	3	46.18ef	8,45	39,48	55,67	
	60	3	53.70de	5,48	49,36	59,86	
	75	3	57.89cd	3,81	54,29	61,88	
	90	3	65.34bc	8,09	59,16	74,5	
	105	3	69.19ab	9,55	61,49	79,87	
	120	3	71.01ab	8,46	63,21	80	
	140	3	77.15a	3,06	74,59	80,53	
	180	3	77.98a	2,63	75,63	80,82	
	240	3	79.12a	2,42	76,48	81,24	
125 ppm	5	3	38.31g	5,38	34,29	44,42	0,001
	15	3	44.97fg	5,68	39,33	50,69	
	30	3	54.74ef	2,19	52,49	56,86	
	45	3	63.75de	9,79	56,49	74,88	
	60	3	67.86cde	9,83	59,21	78,55	
	75	3	72.26bcd	9,24	64,46	82,46	
	90	3	80.39abc	8,24	74,99	89,88	
	105	3	83.13ab	9,68	76,31	94,21	
	120	3	85.60ab	9,78	79,26	96,87	
	140	3	87.24ab	9,03	79,91	97,33	
	180	3	88.48a	8,52	80,88	97,69	
	240	3	89.29a	8,87	81,41	98,9	

Farklı harfler farklı grup ortalamalarını temsil eder (p <0.001)  
n: Üç farklı sıcaklık değeri için ölçüm sayısı

Çizelge 1’de görüldüğü üzere; her konsantrasyon için zamanlar arası fark istatistik olarak anlamlı bulunmuştur (p<0.01). Buna göre BB 41 boyar maddesi 85 ppm konsantrasyonunda 5 dk çalkalandığında ortalama 27.12 birim madde adsorplanırken, aynı derişimde 240 dk çalkalandığında ortalama 71.23 birim madde adsorplanmıştır. Benzer şekilde, 100 ppm konsantrasyonda; 5 dk çalkalandığında ortalama 31.27 birim madde adsorplanırken, aynı derişimde 240 dk çalkalandığında ortalama 79.12 birim madde adsorplanmıştır. BB 41 boyar maddesinin konsantrasyonu 125 ppm’e çıktığında ise 5 dk süre ile çalkalamada ortalama 38.31 birim madde adsorplanırken, 240 dk süreyle çalkalandığında ortalama 89.29 birim madde adsorplanmıştır.

**Çizelge 2.** Tanımlayıcı istatistikler ve çeşitli sıcaklıklar için adsorplanan madde miktarının karşılaştırılması.

ppm	°C	n	Ortalama	Std.Sapma	Min	Max	p
85	25	12	50,07	14,59	24,09	69,21	0,47
	35	12	54,43	14,6	26,25	69,99	

	45	12	57,39	14,52	31,02	74,49	
100	25	12	54,15	17,22	29,31	76,48	0,28
	35	12	58,01	16,6	30,29	79,63	
	45	12	65,08	16,78	34,21	81,24	
125	25	12	65,12	16,47	34,29	81,41	0,11
	35	12	68,66	17,09	36,21	87,57	
	45	12	80,23	19,65	44,42	98,9	

BB 41 boyar maddesinin, elma kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuna ait tanımlayıcı istatistikler ve karşılaştırma sonuçları konsantrasyon (85, 100, 125 ppm) ve sıcaklığa (25, 35, 45 °C) bağlı olarak Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde; sıcaklık arttıkça adsorplanan madde miktarının ortalama olarak arttığı ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir.

BB 41 boyar maddesinin, elma kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonunu belirlemeye yönelik; kullanılan modellere ait sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3'te görüldüğü üzere; 85 ppm konsantrasyon ve 25 °C sıcaklık için kübik model %96 R<sup>2</sup> değeri ile en iyi model olmuştur (Şekil 2). Bunu %95 ile kuadratik model, %93 ile logaritmik model ve % 85 ile lineer model izlemiştir. Lojistik model ise %76 R<sup>2</sup> değeri ile en son sırada yer almıştır. Sıcaklık 35 °C'ye çıkarıldığında kübik model %99 R<sup>2</sup> değeri ile en iyi tahmini veren model olurken, bunu %97 ile kuadratik ve logaritmik modeller, %77 ile lineer model izlemiştir. Lojistik model ise %68 R<sup>2</sup> değeri ile en son sırada yer almıştır (Şekil 3). Sıcaklık 45 °C'ye çıkarıldığında ise; %99 R<sup>2</sup> değeri ile kübik ve kuadratik modeller en iyi tahmini yapmıştır. Bunu %95 ile logaritmik ve %81 R<sup>2</sup> değeri ile lineer model izlemiştir. En düşük tahmini ise %74 R<sup>2</sup> değeri ile lojistik model vermiştir (Şekil 4).

Çizelge 3, 100 ppm konsantrasyon ve 25 °C sıcaklık için incelendiğinde; kübik model %99 tahmin değeri ile en iyi model olmuştur. Bunu %98 ile kuadratik, %88 ile lineer, %86 ile logaritmik, ve %83 ile lojistik model takip etmiştir (Şekil 5). Aynı konsantrasyonda 35 °C sıcaklıktaki değerler incelendiğinde; kübik model %99 tahmin değeri ile en yüksek R<sup>2</sup> değerine sahip olurken, bunu %98 ile kuadratik, %89 ile logaritmik, %88 ile lineer ve %81 ile lojistik modeller takip etmiştir (Şekil 6). Aynı konsantrasyondaki 45 °C'lik sıcaklık için, kübik model %98 tahmin ile en iyi model olmuştur. Bunu %97 ile kuadratik, %92 ile logaritmik ve %75 ile lineer model takip etmiştir. Lojistik model ise %70 tahmin değeri ile en son sırada yer almıştır (Şekil 7).

**Çizelge 3:** Model Özeti ve Parametre Tahminleri.

°C	85 ppm	R <sup>2</sup>	sabit	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
25	Lineer	0.85**	32.37**	0.19**		
	Logaritmik	0.93**	-2,19	12.67**		
	Kuadratik	0.95**	24.76**	0.40**	-0.001**	
	Kübik	0.96**	23.21**	0.49**	-0,002	2.74E-006
	Lojistik	0.76**	0.03**	0.99**		
35	Lineer	0.77**	37.57**	0.18**		
	Logaritmik	0.97**	0,99	12.96**		
	Kuadratik	0.97**	26.95**	0.48**	-0.001**	
	Kübik	0.99**	23.50**	0.68**	-0.003**	6.10E-006*



	Lojistik	0.68**	0.03**	0.99**		
45	Lineer	0.81**	40.18**	0.19**		
	Logaritmik	0.95**	4,64	12.79**		
	Kuadratik	0.99**	30.36**	0.46**	-0.001**	
	Kübik	0.99**	27.71**	0.61**	-0.003**	4.68E-006**
	Lojistik	0.74**	0.03**	0.99**		
°C	100 ppm	R <sup>2</sup>	sabit	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
25	Lineer	0.88**	32.86**	0.23**		
	Logaritmik	0.86**	-5,34	14.42**		
	Kuadratik	0.98**	24.03**	0.48**	-0.001**	
	Kübik	0.99**	26.12**	0.36**	0	-3.69E-006
	Lojistik	0.83**	0.03**	0.99**		
35	Lineer	0.88**	37.55**	0.22**		
	Logaritmik	0.89**	-0,31	14.14**		
	Kuadratik	0.98**	28.77**	0.47**	-0.001**	
	Kübik	0.99**	30.15**	0.39**	0	-2.45E-006
	Lojistik	0.81**	0.03**	0.99**		
45	Lineer	0.75**	46.01**	0.21**		
	Logaritmik	0.92**	5,3	14.49**		
	Kuadratik	0.97**	33.10**	0.57**	-0.002**	
	Kübik	0.98**	31.67**	0.65**	-0,002	2.53E-006
	Lojistik	0.70**	0.02**	0.99**		
°C	125 ppm	R <sup>2</sup>	sabit	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>
25	Lineer	0.75**	46.39**	0.20**		
	Logaritmik	0.94**	5,77	14.39**		
	Kuadratik	0.97**	33.81**	0.55**	-0.002**	
	Kübik	0.98**	31.24**	0.70**	-0.003*	4.53E-006
	Lojistik	0.68**	0.02**	0.99**		
35	Lineer	0.80**	48.53**	0.22**		
	Logaritmik	0.96**	6,23	15.14**		
	Kuadratik	0.99**	36.47**	0.55**	-0.001**	
	Kübik	0.99**	33.81**	0.71**	-0.003**	4.70E-006**
	Lojistik	0.72**	0.02**	0.99**		
45	Lineer	0.72**	58.22**	0.24**		
	Logaritmik	0.93**	9,67	17.11**		
	Kuadratik	0.97**	42.36**	0.68**	-0.002**	
	Kübik	0.99**	38.04**	0.93**	-0.005**	7.63E-006*
	Lojistik	0.67**	0.02**	0.99**		

R<sup>2</sup>: Determinasyon katsayısı

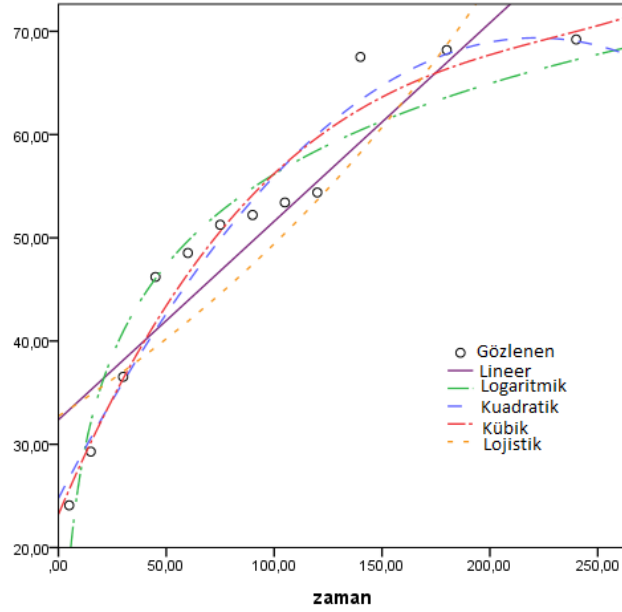
Sabit: Regresyon sabiti

b<sub>1</sub>,b<sub>2</sub>,b<sub>3</sub>: Regresyon katsayısı

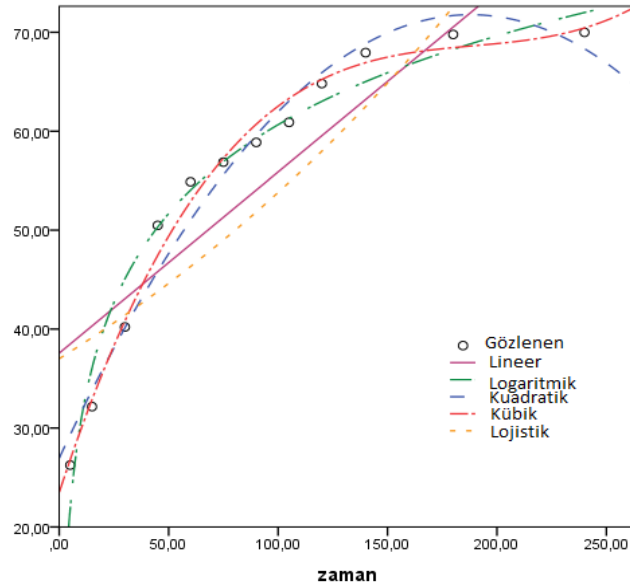
Çizelge 3, 125 ppm konsantrasyon ve 25 °C sıcaklık için incelendiğinde ise; kübik model % 98 ile en iyi tahmini veren model olmuştur. Bunu %97 ile kuadratik, %94 ile logaritmik, %75 ile lineer ve %68 ile lojistik modeller takip etmiştir (Şekil 8). Aynı konsantrasyon ve 35 °C sıcaklık için, en iyi modeller %99 R<sup>2</sup> değeri ile kübik ve kuadratik modeller olmuştur. Bunu %96 ile logaritmik, %80 ile lineer model izlemiştir. %72 ile lojistik model bunları takip etmiştir (Şekil 9). Aynı konsantrasyondaki 45 °C'lik sıcaklık için yine %99 R<sup>2</sup> değeri ile kübik model en iyi model olmuştur. Bunu takip eden modeller %97 ile kuadratik, %93 ile logaritmik, %72 ile lineer model olmuştur. Lojistik model ise %67 R<sup>2</sup> değeri ile en son sırada yer almıştır (Şekil 10).



Demir, vd., *Journal of Scientific Reports-C, Sayı 1, 55-69, Haziran 2020.*  
Demir, et. all., *Journal of Scientific Reports-C, Number 1, 55-69, June 2020.*

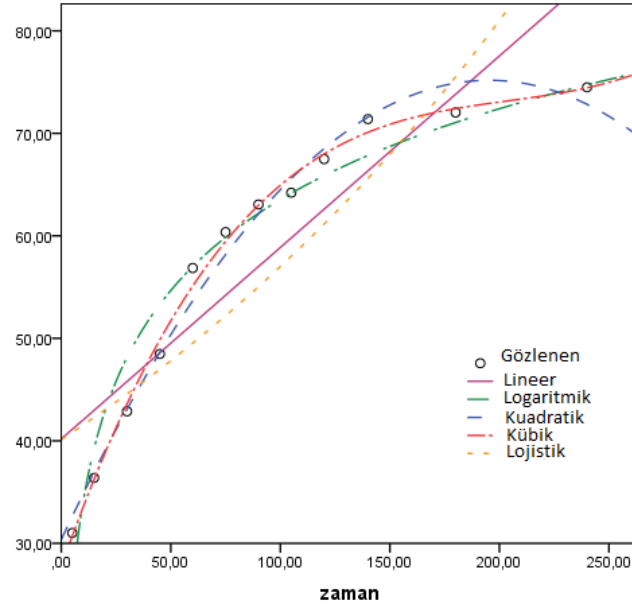


Şekil 2. 85 ppm ve 25 °C'de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.

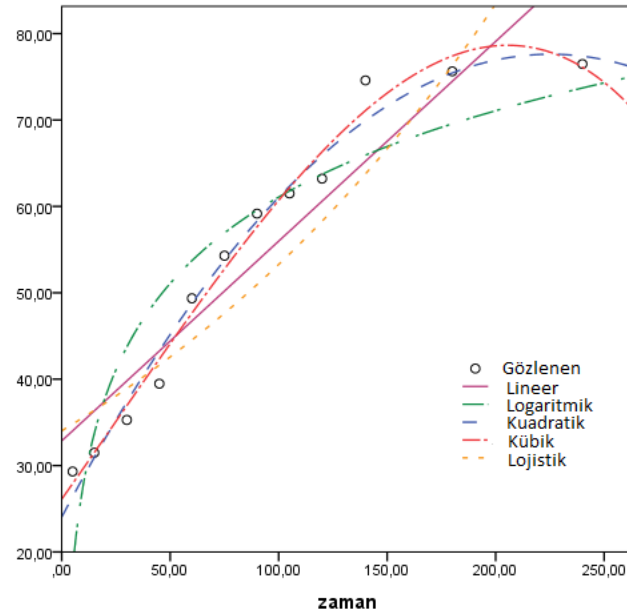


Şekil 3. 85 ppm ve 35 °C'de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.

Demir, vd., *Journal of Scientific Reports-C, Sayı 1, 55-69, Haziran 2020.*  
Demir, et. al., *Journal of Scientific Reports-C, Number 1, 55-69, June 2020.*

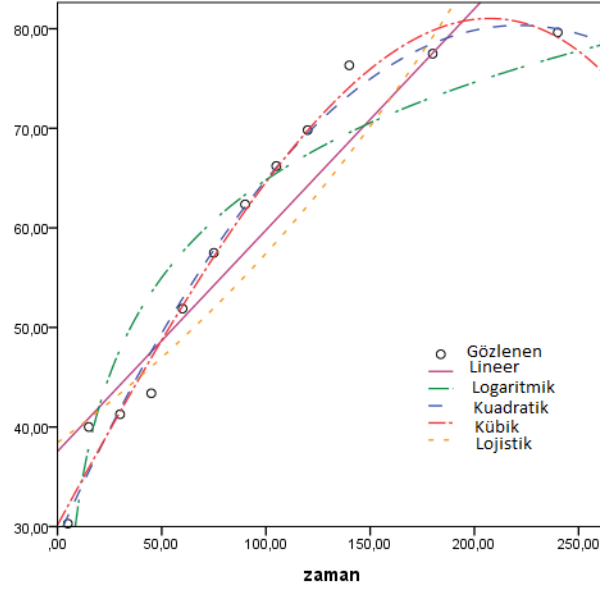


Şekil 4. 85 ppm ve 45 °C'de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.

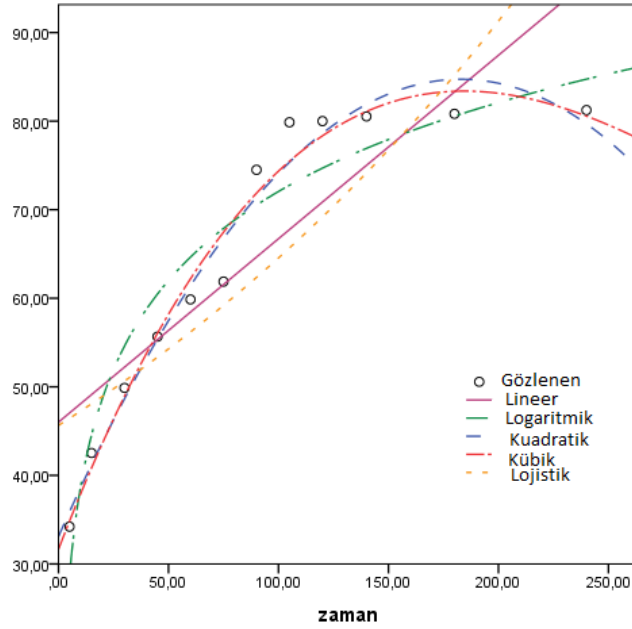


Şekil 5. 100 ppm ve 25 °C'de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.

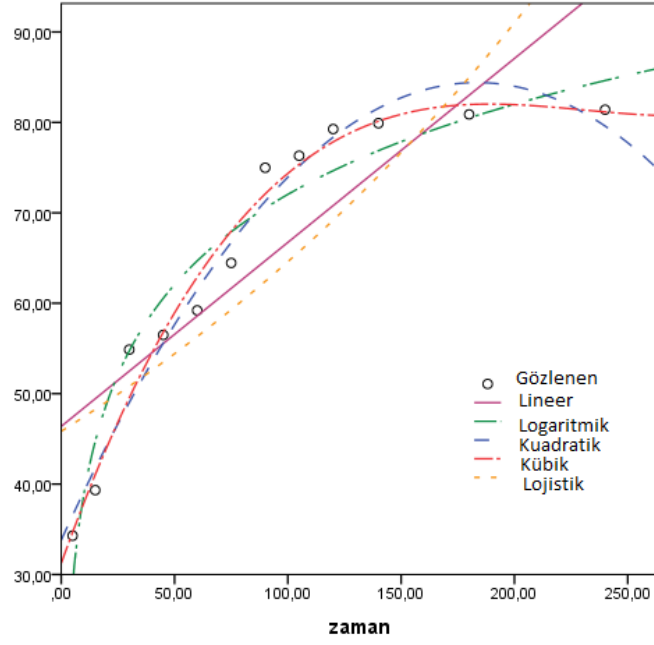
Demir, vd., *Journal of Scientific Reports-C, Sayı 1, 55-69, Haziran 2020.*  
Demir, et. al., *Journal of Scientific Reports-C, Number 1, 55-69, June 2020.*



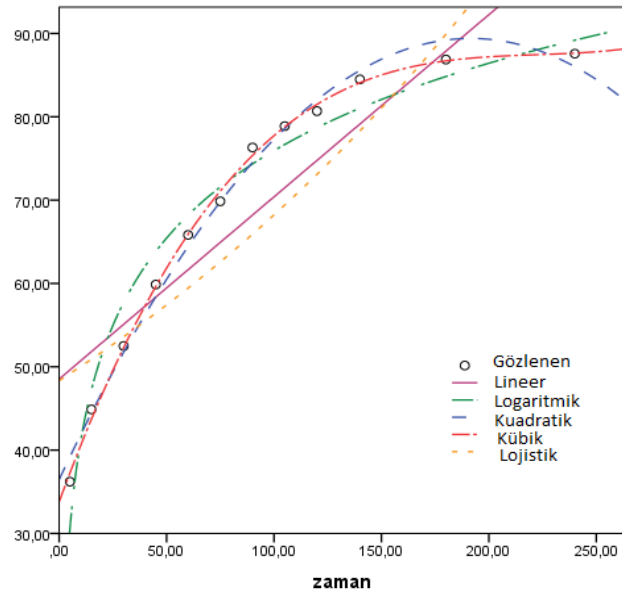
Şekil 6. 100 ppm ve 35 °C' de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.



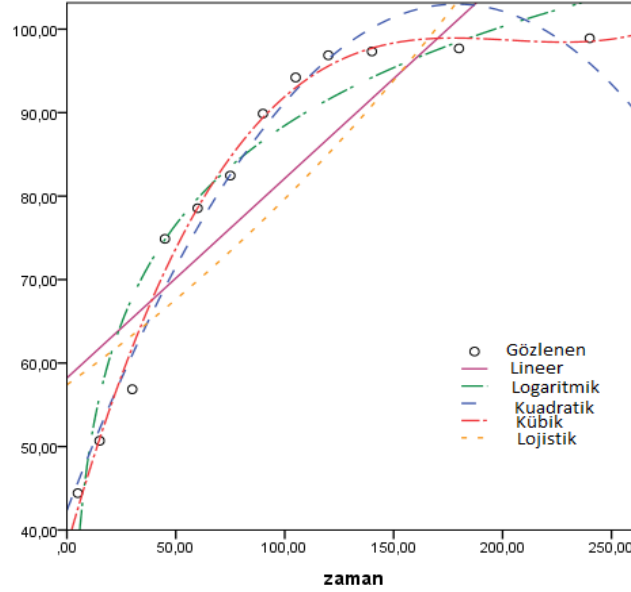
Şekil 7. 100 ppm ve 45 °C' de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.



Şekil 8. 125 ppm ve 25 °C' de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.



Şekil 9. 125 ppm ve 35 °C' de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.



Şekil 10. 125 ppm ve 45 °C’ de adsorplanan madde miktarının zamana göre modellenmesi.

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada BB 41 boyar maddesinin elma kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonunu belirlemeye yönelik modeller kullanıldı. Çözeltideki BB 41 boyar madde konsantrasyonu ve aktif karbon ile temas süresinin artmasıyla adsorpsiyon olayının çoğunlukla arttığı gözlemlendi. Adsorpsiyonun karışma zamanı ile doğru orantılı olarak arttığı ve bu artışın ilk dakikalarda hızlı daha sonra sabitleştiği görüldü. Muslu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada da BB 41 boyar madde adsorpsiyonunda karıştırma süresi artırıldığında adsorpsiyonun da arttığı görülmüştür [15]. Yapılan bir çalışmada atık sulardan BB 41 gideriminde sucul bitkilerin etkili adsorban olarak kullanılabileceği bulunmuştur [4]. Başka bir çalışmada okaliptüs kabuğunun BB 41 boyar maddesini adsorplama yeteneğinin olduğu kanıtlanmıştır [16]. Elma üretiminin fazla olduğu ülkemizde yan ürün olarak ortaya çıkan elma kabuğunun aktif karbon üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi gerek çevresel gerekse de ekonomik açıdan avantaj sağlayacaktır. Bu çalışma ile Van elma kabuğundan elde edilen aktif karbonun atık sulardan BB 41 boyar madde gideriminde alternatif bir biyoadsorban olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

Çalışmada kullanılan modellerden parametre tahminleri anlamlı bulunan, determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) en yüksek ve standart hata değerleri en küçük olan modeller en uygun model olarak kabul edildi. Bu modellerden hem tüm sıcaklık değerleri (25, 35, 45 °C) hem de konsantrasyonlar için (85, 100 ve 125 ppm) en iyi tahmini sırasıyla kübik, kuadratik, logaritmik, lineer ve lojistik modeller verdi. Kul ve arkadaşlarının kobalt adsorpsiyonu için Van pomzası kullandıkları bir çalışmada adsorplanan madde miktarını en iyi tahmin eden modelin kübik model olduğu tespit edilmiştir [17]. Yine neutral red boyar madde adsorpsiyonu için elma kabuğundan elde edilen aktif karbon kullanılan bir çalışmada kübik model, adsorplanan madde miktarını tahmin etmede en iyi model olmuştur [18]. Daha önce

yapılan benzer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da en iyi tahmini kübik model vermiştir. Bu çalışma ile atık sulardan basic blue 41 boyar maddesinin gideriminde hem elma kabuğunun diğer adsorbanlar kadar iyi bir adsorban olduğu hem de adsorplanan madde miktarını tahmin etmek için en iyi modelin, %96 ile %99 arasında değişen  $R^2$  değerleri ile kübik model olduğu söylenebilir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Eser, E., (2013), Van Elması Atıklarından Aktif Karbon Eldesi ve Tekstil Boyalarının Adsorpsiyonunda Kullanılması. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Yüksek lisans tezi (basılmış)
- [2] Özcan, Y., Ulusoy, E., (1978), Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği. İstanbul Üniversitesi Yayınları, 2557 (39): 371-376.
- [3] Başer, İ., İnanıcı, Y., (1990), Boyarmadde Kimyası. Marmara Üniversitesi Yayınları, 47.
- [4] Savcı, S., (2005), Basic blue 41 boyar maddesinin canlı ve inaktif sucul bitki *Myriophyllum Spicatum* tarafından Adsorplanabilirliğinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- [5] Işık, M., Sponza, D., (2001), Tekstil Atıksularının Oluşumu, Karakterizasyonu ve Arıtım Yöntemleri. IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 5-8 Ekim 2001, Bodrum.
- [6] Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J., (1994), Characterization of Textile Wastewaters a review. *Environmental Technology*, 15: 917- 929.
- [7] Al-Qudah, Z., (2000), Adsorption of Dyes Using Shale Oil Ash. *Water Research*, 34 (3): 4295-4303.
- [8] Doğan, A., (1989), Bir Pamuklu Tekstil Fabrikası Atık suyunun Adsorpsiyon Yöntemiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Anadolu Üniversitesi, Yüksek lisans tezi (basılmamış).
- [9] Küçükgül, E.Y., (2004), Ticari Aktif Karbon Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 6 (3): 41-56.
- [10] Demir, E., Yalçın, H., (2014), Adsorbentler: Sınıflandırma, Özellikler, Kullanım ve Öngörüler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7 (2): 70-79.
- [11] Arı, A., Önder, H., (2013), Farklı Veri Yapılarında Kullanılabilecek Regresyon Yöntemleri. *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 28(3): 168-174.
- [12] Hamzaoğlu, S., (2013), Çoklu Regresyon Yöntemlerinde Güç Analizi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Samsun.
- [13] Demirelli, H., (2018), Bölgeler arası boşanma nedenlerinin incelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

*Demir, vd., Journal of Scientific Reports-C, Sayı 1, 55-69, Haziran 2020.*  
*Demir, et. all., Journal of Scientific Reports-C, Number 1, 55-69, June 2020.*

---

- [14] Spiegel, M.R., Stephens, L.J.,(2018), Statistics, Sixth Edition. United States: McGraw-Hill Education, p.578.
- [15] Muslu, N., Makaracı, Ö., İmamoğlu, M., (2015), Fındık Çotanağı ile Bazik Mavi 41 Boyarmaddesinin Sulu Çözeltisinde Adsorpsiyonu. ISITES Valencia -Spain, 1931-1937.
- [16] Balcı, B., (2007), Atıksulardan tekstil boyar maddelerinin sürekli ve kesikli sistemlerde ağaç kabuğu (*Eucalyptus camaldulensis*) kullanılarak adsorpsiyon ile giderilmesi. Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- [17] Kul, A.R., Keskin, S., Demir, C., Alkan, S., (2018), Statistical Modeling of Cobalt Adsorption on Van Pumice. Eurasian Journal of Analytical Chemistry, 13(2):em09.
- [18] Demir, C., Yıldız, H., Kul A. R., Keskin, S.,(2019), Modeling of Neutral Red Adsorption on Apple Peel Based Activated Carbon. Asian Journal of Environment & Ecology, 11(2): 1-10.