

TULLANTI POLİVİNİLKLORİD ƏSASINDA HAZIRLANMIŞ ADSORBENTLƏ BOYAQ MADDƏSİNİN SULU MƏHLULLARDAN SORBSİYASININ TƏDQIQI

Elgül Əliağa qızı Abdullayeva¹, Nurlana Mürsəl qızı Binnətova²,
İsmail Əvəz oğlu Hüseynov³, Rasim Mirəli oğlu Alosmanov¹

¹Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

²Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

³Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

STUDY OF DYE SORPTION FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY ADSORBENT BASED ON POLYVINYLL CHLORIDE WASTE

Elgul Aliaga Abdullayeva¹, Nurlana Mursal Binnetova², Ismail Avaz Huseynov³, Rasim Mirali Alosmanov¹

¹Baku State University, Baku, Azerbaijan: elgulabdullayeva@bsu.edu.az, r_alosmanov@rambler.ru

<https://orcid.org/0009-0008-3992-5576>, <https://orcid.org/0000-0001-5961-3272>

²Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan: binnatova_nurlana@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2910-1705>

³Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan: ismazdna@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5228-7862>

Abstract. The presence of organic dyes in wastewater is one of the major environmental problems. The textile, food, cosmetic, paper and other industries are the primary sources of water contamination with dyes, which, in turn, gives rise to significant challenges for aquatic lifeforms. This article considers the sorption properties of a porous adsorbent, obtained through the treatment of polyvinyl chloride waste with hydrochloric acid, with respect to xylene orange dye. The experimental data regarding the influence of initial dye concentration on sorption were processed using the Langmuir, Freundlich and Dubinin-Radushkevich models. It was determined that the sorption process is best described by the Langmuir model.

Keywords: polyvinyl chloride, xylene orange, sorption.

© 2025 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

GİRİŞ

Məlumdur ki, su ehtiyatlarının əsas hissəsi texniki ehtiyaclara sərf olunur. Suyu olan iri miqyaslı tələbat su hövzələrində suyun keyfiyyətinin lazımı səviyyədə saxlanmasını və su ehtiyatlarının rəşional şəkildə istifadəsini tələb edir. Müxtəlif müəssisələrdə suya olan tələbatın artımı tullantı sularının çoxalmasına və su hövzələrinin daha da çirklənməsinə səbəb olur. Son zamanlar aparılan tədbirlər nəticəsində su hövzələrinin tullantı suları ilə çirklənməsinin nisbətən azalmasına baxmayaraq, hələ də su ehtiyatlarının qorunması problemi, suyun stabil keyfiyyətinin təmini həll olunmamış məsələ kimi qalmaqdadır [1].

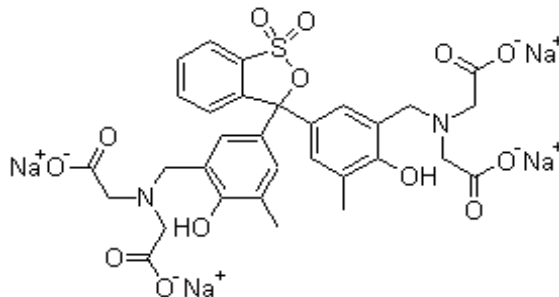
Boyaq maddələri toxuculuq, pambıq-kağız, dəri-ayaqqabı, lak-boya materialları, poliqrafik və lif sənayesi tullantı sularının əsas çirkləndiricilərindən hesab olunur. Belə suların müxtəlif su hövzələrinə axıdılmasından əvvəl uyğun çirkləndiricilərdən təmizlənməsi zəruridir. Təmizlənmə prosesləri müxtəlif üsullarla, o cümlədən sorbsiya ilə həyata keçirilir. Sorbsiya üsulu ucuz təbii sorbentlərdən (gil, ağac yonqarı və s.) tutmuş polimer əsaslı (hidrofil və hidrofob) sorbentlərə qədər müxtəlif çeşidli maddələrlə həyata keçirilir. Buna baxmayaraq, yeni sorbentlərin sintezinə dair tədqiqatlar davam etdirilir [2].

Ksilenol narıncı (KN) geniş yayılmış sintetik boyaq maddəsi olmaqla yanaşı, həm də elmi laboratoriyalarda potensiomətrik reagent və kompleksəmələgətirici indikator kimi istifadə edilən birləşmədir. Bu səbəbdən o, müxtəlif sənaye müəssisələrinin və laboratoriyaların tullantı sularında çox rast gəlinən çirkləndiricilərdəndir. KN metal ionlarını özünə birləşdirməklə əmələ gətirdikləri birləşmələr orqanizmdə müxtəlif xəstəliklər yaradır [3].

Təqdim edilən məqalə tullantı polivinilxlorid (PVX) əsasında hazırlanmış nümunənin KN-ə görə sorbsiya imkanlarının müəyyənəşdirilməsindən ibarət olmuşdur.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

İstifadə olunan polimer və reagentlər. İşdə pəncərə çərçivələrinin tullantısı olan PVX istifadə edilmişdir. İstifadədən əvvəl PVX kiçik ölçülərə qədər xırdalanmışdır. Boyaq maddəsi kimi KN götürülmüşdür. KN-nin kimyəvi formulu və quruluşu belədir: $C_{31}H_{28}N_2Na_4O_{13}S$.



Tədqiqat işində istifadə edilən digər reaktivlər uyğun metodikalarda verilmişdir.

Sorbentin hazırlanması. Toz halına qədər üyüdülmüş PVX nümunəsi 10 qr miqdarında 100 ml-lik kolbaya yerləşdirilmiş, üzərinə 50 ml 2 N qatılıqlı xlorid turşusu əlavə edilmişdir. Xlorid turşusu və PVX tozundan ibarət suspenziya 8 saat müddətində 40°C temperaturda qarışdırılmışdır. Sonra polimer turşu məhlulundan ayrılmış, qaynar distillə suyu ilə neytral reaksiyaya qədər yuyulmuşdur. Nümunəni polimer matrisinə daxil olmayan əlavələrdən təmizləmək məqsədilə ardıcıl olaraq etanol, asetonla yuyulmuş və havada qurudulmuşdur. Daha sonra qurutma vakuum sobada 30°C temperaturda 5 saat müddətində sabit kütləyə qədər davam etdirilmişdir. Nümunə PVX-M olaraq işarələnmişdir. Nümunədə məsələlərin ölçüsü Olympus GX-71 markalı optiki mikroskopla təyin edilmişdir.

KN məhlullarının hazırlanması və kalibrləmə əyrisinin qurulması. Bu işdə təmizlik dərəcəsi “analitik təmiz” olan KN-dən istifadə edilmişdir.

İlk öncə əsas məhlul hazırlanmışdır. Analitik tərəzidə 0.0001 q dəqiqliklə ölçülmüş maddə (0.2500 q miqdarında) 2 l-lik kolbaya yerləşdirilmişdir. Üzərinə 1 l həcmində bidistillə suyu əlavə edilmişdir. Kolbada homogen məhlul alınana qədər qarışıq qarışdırılmışdır. Alınmış 0.25 q/l qatılıqlı məhlul ağzı germetik bağlanmaqla qaranlıq yerdə saxlanılır.

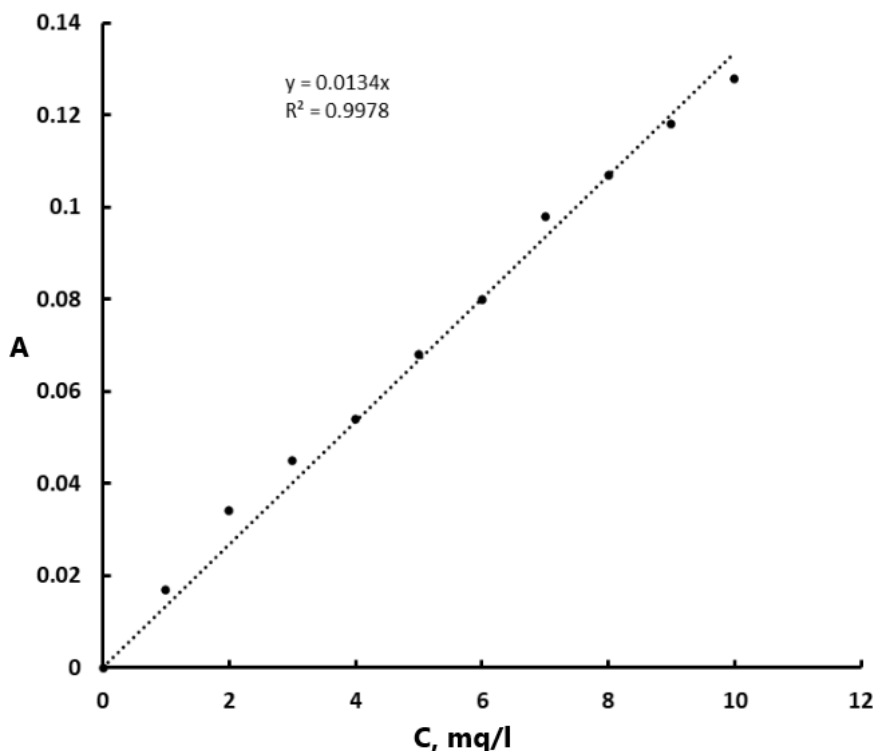
İşçi məhlulların hazırlanması üçün əsas məhluldan ayrı-ayrılıqda 0.1÷1.0 ml miqdarında götürülmüş, 25-lik ölçü kolbasına tökülmüş və cizgiyə qədər bidistillə suyu ilə durulaşdırılmışdır. Beləliklə, 1÷10 mg/l qatılıqlı məhlullar hazırlanmışdır. Bu məhlullar UV-vis spektrometrində ölçülmüşdür. Müəyyən olunmuşdur ki, KN-nin udulma spektrində maksimum 440 nm dalğa uzunluğundadır. Hər bir qatılığa uyğun olaraq udulma qiyməti tapılmış və kalibrləmə əyrisi qurulmuşdur (şəkil 1).

KN-nin məhluldakı başlanğıc qatılığının sorbsiya prosesinə təsiri metodikası. Təcrübə aşağıdakı metodika üzrə aparılmışdır. 100 ml-lik ağzı germetik bağlanan kolbalara 50 mq sorbent yerləşdirilmiş və üzərinə müxtəlif qatılıqlı (10 mq/l, 20 mq/l, 30 mq/l, 40 mq/l, 50 mq/l, 60 mq/l, 70 mq/l, 80 mq/l, 90 mq/l və 100 mq/l) KN məhlulu 50 ml həcmində əlavə edilmişdir. Sonra suspenziyadan 20 dəqiqə müddətində azot qazı buraxılmış, kolbalar eksikatora yerləşdirilərək 24 saat müddətində saxlanmışdır. Müxtəlif zaman fasilələrində suspenziya qarışdırılmışdır. Daha sonra KN-nin məhluldakı qatılığı təyin olunur.

Aparılan təcrübələrdə KN-nin qatılığı UV-vis spektrometrində təyin edilir və sorbsiya prosesi sorbsiya tutumumunu (ST, mq/q) hesablamaqla qiymətləndirilir:

$$ST = \frac{(C_0 - C_{tar}) \cdot V}{g} \quad (1)$$

burada, C_0 – KN-nin başlanğıc qatılığı, C_{tar} – KN-nin məhluldakı tarazlıq qatılığıdır.



Şəkil 1. KN-nin kalibrləmə əyrisi

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Məlumdur ki, PVX-dan hazırlanmış pəncərə çərçivələri hazırlanarkən kalsium, sink kimi metalların birləşmələri stabilizator kimi istifadə edilir [4]. Tullantının turşu ilə emalı zamanı bu birləşmələrin asanlıqla turşuda həll olması və həmin yerlərdə məsamələrin əmələ gəlməsi ehtimal olunur. Buna görə də ilk öncə nümunələrdə məsamələrin mövcudluğu tədqiq edilmişdir. Nəticələrə görə tullantı PVX-dan fərqli olaraq PVX-M nümunəsi ölçüləri 10–50 nm intervalında dəyişən məsamələrə malikdir.

Tullantı PVX və PVX-M nümunələri ilə KN-nin sorbsiyasının müqayisəsi. Nümunələrin KN-ə görə sorbsiya qabiliyyətinin müqayisəsi məqsədi ilə tədqiqat obyektı olaraq müxtəlif başlanğıc qatılıqlı KN məhlulları götürülmüşdür. Nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir.

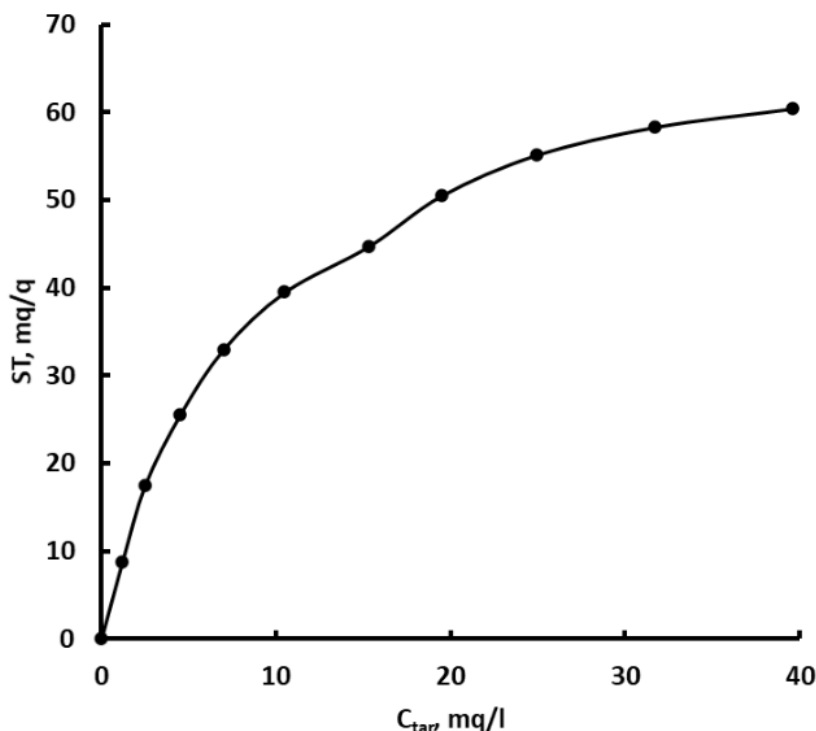
Cədvəl 1

Nümunələrin KN-ə görə sorbsiya tutumları

C_0 , mq/l	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ST, mq/q										
Tullantı PVX	1.2	1.5	1.8	1.8	1.7	1.8	1.8	1.9	1.8	1.9
PVX-M	8.8	17.5	25.5	33.0	39.5	44.7	50.5	55.1	58.3	60.4

Nəticələrdən göründüyü kimi KN-nin müxtəlif başlanğıc qatılıqlı məhlulları üçün sorbent kimi tullantı PVX-dən istifadə etdikdə sorbsiya tutumunun qiyməti çox kiçik olur. Bunun əksinə olaraq, PVX-M nümunəsinin sorbsiya tutumu KN-nin ilkin qatılığının artmasına uyğun olaraq yüksəlir. Bu səbəbdən sonrakı tədqiqatlar ancaq PVX-M nümunəsi ilə aparılmışdır.

PVX-M nümunəsi ilə KN-nin məhlullardan sorbsiyasının tədqiqi. PVX-M nümunəsi ilə KN-nin sorbsiyasının tədqiqi üçün ilk növbədə KN-nin məhluldakı başlanğıc qatılığından asılı olaraq sorbsiya izotermi qurulmuşdur (şəkil 2).



Şəkil 2. KN-nin PVX-M nümunəsi ilə sorbsiya izotermi

Sorbsiya izotermi üçün Lenqmür [5], Frendlix [6] və Dubinin-Raduşkeviç [7] modelləri tətbiq edilmişdir. Modellərin tənlikləri uyğun olaraq (2)–(4), xətti formaları isə (5)–(7) tənliklərində verilmişdir.

$$ST = ST_{maks} \frac{K_L \cdot C_{tar}}{1 + K_L \cdot C_{tar}} \quad (2)$$

$$ST = K_F C_{tar}^{1/n} \quad (3)$$

$$ST = ST_{maks} e^{-\beta \varepsilon^2} \quad (4)$$

$$\frac{C_{tar}}{ST} = \frac{1}{K_L \cdot ST_{maks}} + \frac{1}{ST_{maks}} \cdot C_{tar} \quad (5)$$

$$\lg ST = \lg K_F + \frac{1}{n} \cdot \lg C_{tar} \quad (6)$$

$$\ln ST = \ln ST_{maks} - \beta \varepsilon^2 \quad (7)$$

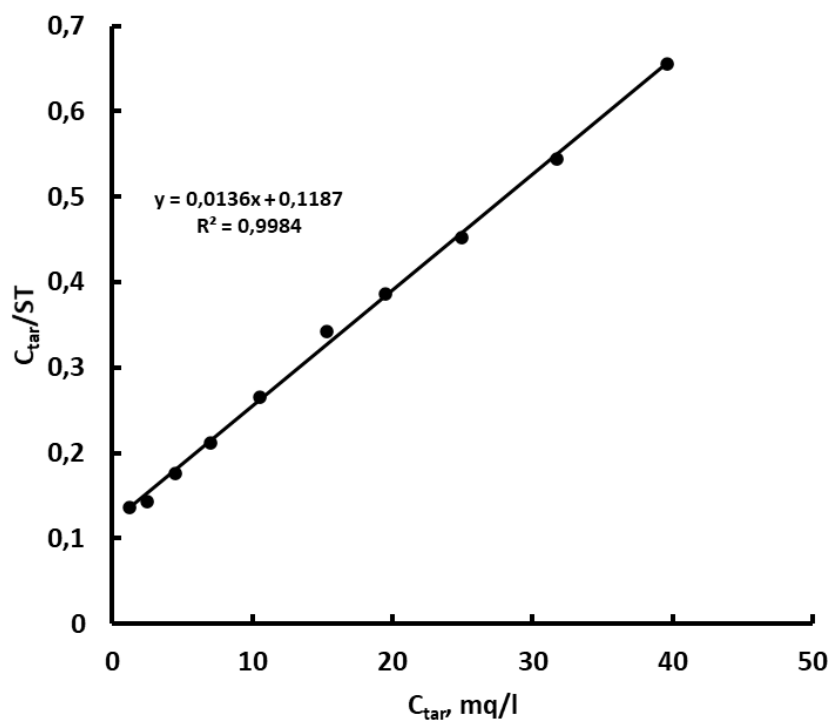
Burada, ST -sorbentin KN-ə görə sorbsiyasının təcrübi qiymətləri (mq/q); C_{tar} – KN-nin məhluldakı tarazlıq qatılığıdır (mq/l). (2), (5) tənliklərində K_L və ST_{maks} Lenqmür modelinin parametrləri; K_F , $1/n$ Frendlix modelinin parametrləri; (5), (8) tənliklərində ST_{maks} , β (sorbsiya enerjisinə aid olan sabit) və ε (Polanyi petensialı) Dubinin-Raduşkeviç modelinin parametrləridir. Dubinin-Raduşkeviç modelinin parametrlərinin hesablanması üçün aşağıdakı tənliklərdən istifadə olunur:

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_{tar}} \right) \quad (8)$$

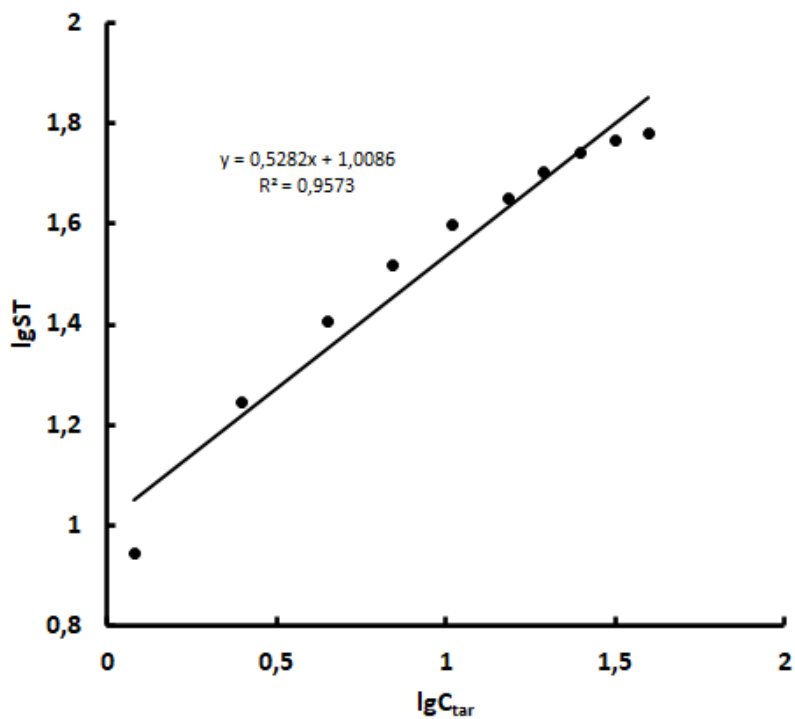
$$E = \frac{1}{\sqrt{2\beta}} \quad (9)$$

Burada R – universal qaz sabiti=8.314 C/(mol·K), T – sorbsiyanın aparıldığı temperaturun mütləq qiymətidir.

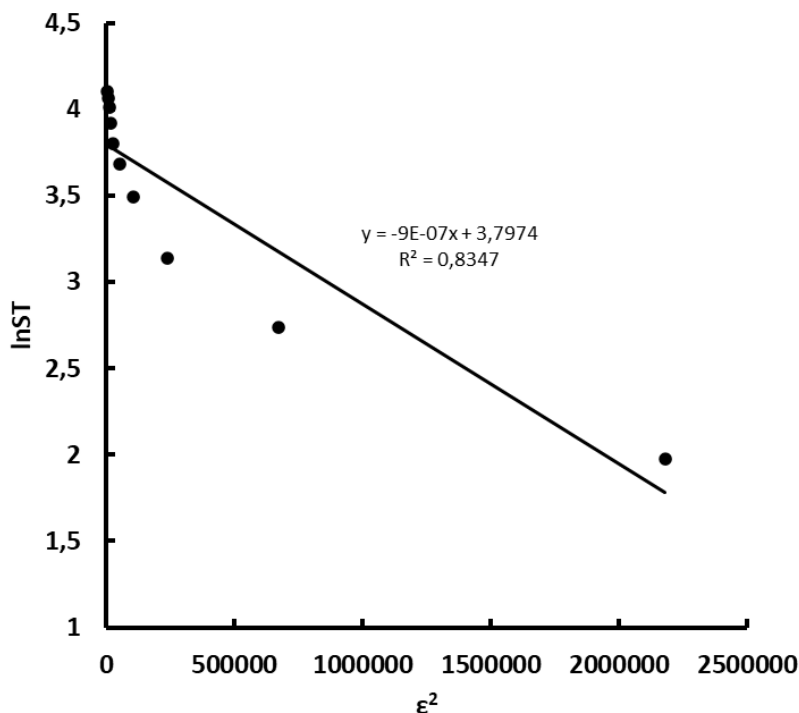
Daha sonra C_{tar}/ST -nin C_{tar} -dan, $\lg ST$ -nin $\lg C_{tar}$ -dan və $\ln ST$ -nin ε^2 -dan asılılıq qrafikləri qurulmuşdur (şəkil 3, 4 və 5).



Şəkil 3. KN-nin PVX-M nümunəsi ilə sorbsiya izoterminin Lenqmür koordinatlarında asılılığı.



Şəkil 4. KN-nin PVX-M nümunəsi ilə sorbsiya izoterminin Frenclix koordinatlarında asılılığı



Şəkil 5. KN-nin PVX-M nümunəsi ilə sorbsiya izotermnin Dubinin-Raduşkeviç koordinatlarında asılılığı

3–5-ci şəkillərdəki asılılıqdan istifadə etməklə izoterm modellərinin parametrləri hesablanmışdır:

Lenqmür modeli:

$$\frac{C_{tar}}{ST} = 0.1187 + 0.0136 \cdot C_{tar}$$

$$1/ST_{maks}=0.0136$$

$$ST_{maks}=73.53 \text{ mq/q}$$

$$1/(ST_{maks} \cdot K_L)=0.1187$$

$$K_L=0.1146$$

$$R^2=0.9984$$

Frendlix modeli:

$$\lg ST = 1.0086 + 0.5282 \cdot \lg C_{tar}$$

$$\lg K_F=1.0086$$

$$K_F=10^{1.0086}= 10.2$$

$$1/n=0.5282$$

$$n=1.893$$

$$R^2=0.9573$$

Dubinin-Raduşkeviç modeli:

$$\ln ST=3.7974-(9E-0.7) \epsilon^2$$

$$\beta=9 \cdot 10^{-7}, \ln ST_{maks}=3.7974$$

$$ST_{maks}=44.59 \text{ mq/q}$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 9 \cdot 10^{-7}}} = 745.36 \text{ C}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 0.74536 \text{ kC}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

$$R^2=0.8347$$

Alınmış nəticələrdən göründüyü kimi KN-nin PVX-M sorbenti ilə sorbsiyası ən yaxşı Lenqmür modelinə uyğundur. Bu onu göstərir ki, boyaq maddəsinin sorbsiyası energetik baxımdan eyni olan

sorbsiya mərkəzlərində baş verir və sorbent səthində KN molekulları monomolekulyar təbəqə şəklində düzülür.

PVX-M sorbentin sorbsiya xüsusiyyətlərinin ədəbiyyat məlumatları ilə müqayisəsi. 2-ci cədvəldə KN-nin sulu məhlullardan sorbsiyası üçün tətbiq edilən müxtəlif sorbentlərin sorbsiya tutumu verilmişdir.

Cədvəl 2

KN-nin sorbsiyası üçün tətbiq edilən müxtəlif sorbentlərin sorbsiya tutumu

Sorbent	Sorbsiya tutumu, mq/q	Ədəbiyyat
Bi-məsaməli hitozan köpükləri	122.0	8
Silisium nanohissəcikləri	9.08	9
Şüşəvari tuf mineralı	45.17	10
Kömür zolu	0.74	11
Poliuretan köpükləri	0.904	12
PVX-M	73.53	Bu işdə

NƏTİCƏ

İşlənmiş pəncərə çərçivələrinin üyüdülməsi ilə hazırlanmış tullantı PVX 2 N qatılıqlı xlorid turşusu ilə emal olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, alınmış nümunə ölçüləri 10-50 nm intervalında dəyişən məsamələrə malikdir. İlk tullantı və hazırlanmış nümunənin KN-ə görə sorbsiya qabiliyyəti müqayisə edilmişdir. Nəticələrə görə məsaməli nümunənin sorbsiya tutumu 30 dəfəyə qədər yüksəkdir.

Boyaq maddəsinin məhluldakı ilkin qatılığının PVX-M nümunəsinin sorbsiya qabiliyyətinə təsiri əsasında izoterm qurulmuş, təcrübi nəticələr Lenqmür, Frendlix və Dubinin-Raduşkeviç modeləri ilə işlənmişdir. Ən yüksək korrelyasiya Lenqmür modelinə uyğun olmuşdur ($R^2=0.9984$). Bu onu göstərir ki, boyaq maddəsinin sorbsiyası energetik baxımdan eyni olan sorbsiya mərkəzlərində baş verir və sorbent səthində KN molekulları monomolekulyar təbəqə şəklində düzülür. Lenqmür modelinə görə hesablanmış digər parametrlər (ST_{maks}) 73.53 mq/q-dir. Beləliklə, hazırlanmış nümunə KN boyaq maddəsinin potensial sorbenti hesab edilə bilər.

ƏDƏBİYYAT

- Chidiac S. et al. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives, Rev. Environ Sci Biotechnol. 2023.vol.22. pp. 349-395. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>
- Bilal M. et al. Recent advances in the removal of dyes from wastewater using low-cost adsorbents. Journal of Environmental Management. 2022, vol. 321. 115981. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115981>.
- Xu Y., Wang Q., Ding Z. Synthesis of Superparamagnetic Fe₃O₄ Nano-Adsorbent Using an Energy-Saving and Pollution-Reducing Strategy for the Removal of Xylenol Orange Dye in Water. Energies.2022. vol.15. 7378. <https://doi.org/10.3390/en15197378>
- Kelly A.L. et al. Recycling of uPVC window profile waste. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2005.Issue 3. vol. 11.pp.119-126. <https://doi.org/10.1002/vnl.20047>
- Langmuir I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids. J. Am. Chem. Soc. 1996. Issue 11. vol. 38. pp. 2221-2295.
- Freundlich H.M.F. Over the Adsorption in Solution. The Journal of Physical Chemistry. 1986.vol. 57, pp. 385-471.
- Dubinin M.M., Radushkevich L.V. Equation of the Characteristic Curve of Activated Charcoal Proceedings of the Academy of Sciences. Physical Chemistry Section USSR. 1947.vol. 55, pp. 331-333.
- Wang X. et al. Bi-porous bioinspired chitosan foams with layered structure and their adsorption for xylenol orange. Chemical engineering journal. 2012. vol. 197. pp.509- 516.<https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.059>
- Zhang L. et al. Cation- functionalized silica nanoparticle as an adsorbent to selectively adsorb anionic dye from aqueous solutions. Environmental Progress & Sustainable Energy. 2016. vol. 35. pp. 1070-1077. <https://doi.org/10.1002/ep.12333>
- Garrudo-Guirado M. et al. Reuse of sustainable materials for xylenol orange dye and copper (II) ion ammoniacal removal. Journal of environmental management. 2018. vol.206. pp. 920-928.<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.074>

11. Ishaq M. et al. Coal ash as a low cost adsorbent for the removal of xylenol orange from aqueous solution. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE). 2014. vol.33. pp. 53-58.
12. Samah A., Bushra A. Removal of Xylenol Orange from Aqueous Solution by Adsorption on Polyurethane Foam. Algerian Journal of Natural Products. 2021. vol. 9. pp.805-813. <https://doi.10.5281/zenodo.4307986>

TULLANTI POLİVİNİLKLORİD ƏSASINDA HAZIRLANMIŞ ADSORBENTLƏ BOYAQ MADDƏSİNİN SULU MƏHLULLARDAN SORBSİYASININ TƏDQIQI

E.Ə.Abdullayeva, N.M.Binnətova, İ.Ə.Hüseynov, R.M.Alosmanov

Xülasə. Üzvi boyaq maddələrinin tullantı sularında mövcudluğu dövrün ekoloji problemlərindən biridir. Toxuculuq, yeyinti, kosmetika, kağız və digər sənaye sahələri su hövzələrinin boyaq maddələrilə çirklənməsinin əsas mənbələrindən hesab olunur. Bu da öz növbəsində sudakı canlılar üçün kifayət dərəcədə problem yaradır. Təqdim edilən məqalə tullantı polivinilxloridin xlorid turşusu ilə emalı nəticəsində hazırlanmış məsaməli adsorbentin ksilenol narıncı boyaq maddəsinə görə sorbsiya imkanlarının müəyyənəşdirilməsindən ibarət olmuşdur. Boyaq maddəsinin ilkin qatılığının sorbsiyaya təsirinə əsaslanmış təcrübi nəticələr Lenqmür, Frendlix və Dubinin-Raduşkeviç modelləri ilə işlənmişdir. Müəyyən olunmuşdur sorbsiya ən yaxşı Lenqmür modelinə uyğundur.

Açar sözlər: tullantı polivinilxlorid, ksilenol narıncı, sorbsiya.

Accepted: 01.06.2025