



Removal of Nickel and Cadmium using Diatomite, Silt, Sunflower stem, and Cement (Green Concrete Components)

S. Bakhtiari*, F. Sotoodehnia, M. Shahrashoub, T. Amiri, H. Abbaslou

Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran

ABSTRACT: Adsorption is one of the common treatment applied in heavy metal removal. Recently, studies of low-cost adsorbents, which usually are waste products from industrial, agricultural and food productions and are produced abundantly, gained intensively attention to the scientist. Since most of the structures, ponds, and drainage pipelines are made of concrete, the use of adsorbent concrete can be an effective way to remove pollutants, especially heavy metals from wastewater. In this research, diatomite and sunflower stems were used as concrete additives to adsorb cadmium and nickel from wastewater as well as materials that could maintain and even increase the strength, durability, and stability of concrete in water and wastewater structures. Diatomite was replaced with part of the cement and sunflower replaced with part of aggregates used in concrete. The adsorption of nickel and cadmium by concrete components (cement, silt, diatomite and sunflower stem) was investigated. Cement was able to remove nickel and cadmium completely. Other components of the concrete also had a good ability to remove nickel and cadmium. The maximum adsorption capacities of Ni and Cd for diatomite, silt, and sunflower stem were 2.85, 1.88, 2.61, 2.82, 18.45, and 6.82 mgr/gr, respectively. Metal adsorption onto adsorbents was evaluated by Langmuir and Freundlich isotherms. Results indicate that both Langmuir and Freundlich isotherm models are suitable. Concrete pieces removed cadmium completely, but in nickel adsorption, the control sample had the best performance

Review History:

Received: 2019-02-02

Revised: 2019-04-21

Accepted: 2019-04-21

Available Online: 2019-05-13

Keywords:

Green Concrete

Diatomite

Sunflower Stem

Heavy Metals

Adsorption Isotherms

INTRODUCTION

Nowadays, the environmental importance of water as an essential requirement has been considered throughout the world [1]. The presence of heavy metals in the environment has become a major concern, because of their toxicity. Many industrial processes produce wastewater containing heavy metals [2]. Therefore, it is essential to remove heavy metals from industrial wastewater before discharging into the environmental cycle [3]. The adsorption method seems attractive in comparison with other methods, due to its high efficiency and ease of use in the treatment of heavy metals [4]. A large number of materials derived from natural resources, agriculture and plant waste, and by-products of industrial processes have been considered as an adsorbent for the separation of dilute metals from wastewater [3]. One of the agricultural wastes that has been proven in various studies to be efficient for removal of heavy metals is the sunflower stem. Natural compounds such as diatomite are also effective adsorbents for removal of heavy metals. Using adsorbent concrete in the construction of sewage canals is one of the ways to prevent the heavy metals' discharge into surface and underground waters. In these concretes, some

materials are used as adsorbent. Due to the adsorptive properties of sunflower stem and diatomite, and also the feasibility of using these two compounds in the production of a biocompatible concrete to minimize the consumption of concrete components and reduce the production of materials such as cement that can lead to air pollution, the purpose of this study is to investigate the ability of adsorption of nickel and cadmium from aqueous solutions with compounds that are the main components of green concrete.

METHODOLOGY

The adsorbents used in this study were diatomite, sunflower stems (which transmitted from #10 sieve and remained on #16 sieve with a specific gravity of 0.79 grams per cubic centimeter), silt, and cement, and eventually their ability to adsorb cadmium and nickel were studied by separately.

For adsorption experiments, the stock solution (1000 mg/l) was prepared from nickel and cadmium salts. For this purpose, 4.05 g of nickel (II) chloride hexahydrate and 1.79 g of cadmium chloride monohydrate were separately dissolved in an electrolyte solution of calcium chloride and, eventually, the volume was increased to 1000 ml. The required solutions

*Corresponding author's email: bakhtiari@sirjantech.ac.ir



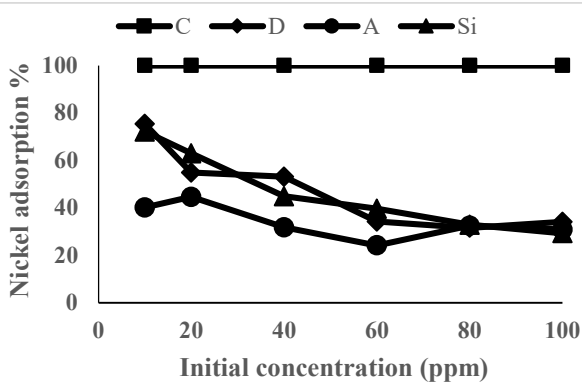


Fig 1. Effect of initial cadmium concentration on its removal efficiency by concrete particles

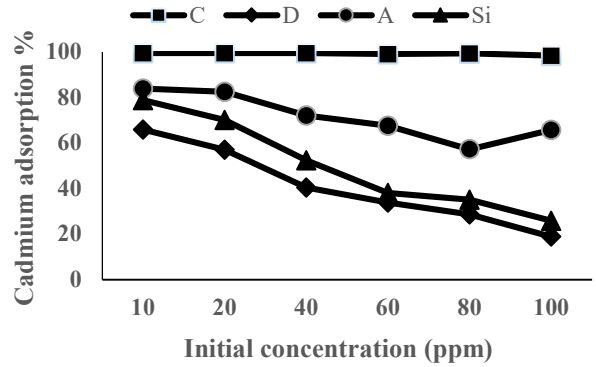


Fig 2. Effect of initial cadmium concentration on its removal efficiency by concrete particles

were then made from these solutions.

Nickel and cadmium adsorption experiments on cement, silt, diatomite, and sunflower stem adsorbents were determined using the Batch Equilibrium method. In this method, 0.1 g of adsorbents was combined with 10 ml of solutions prepared at concentrations of 10, 20, 40, 60, 80 and 100 ppm, and after transferring to centrifuge tubes (Falcon), they were shaken at 25 °C for 24 hours. The amount of nickel and cadmium adsorbed would be calculated from the difference between the initial and the final concentration of the solution. Each experiment was performed in three replicates. The percentage of removal of each heavy metal by the adsorbents was calculated by equation (1).

$$\text{Efficiency}(\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Where C_i and C_e are the initial and final concentrations of the solution, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Nickel adsorption

The effect of initial concentration on removal percentage of nickel using concrete forming particles (diatomite: D, sunflower: A, silt: Si, and cement: C) is shown in Fig. 1. With increasing initial concentration, the adsorption rate for all adsorbents decreases. For instance, with increasing initial nickel concentrations from 10 to 20 ppm, the diatomite adsorption efficiency decreased from 75.3 to 54.8%. At low concentrations, the ratio of adsorption sites to adsorbent ions is high and nickel species with functional groups of adsorbent surfaces has maximum interaction and therefore, the adsorption efficiency is the highest. At higher concentrations, due to the saturation of adsorption sites, the adsorption efficiency has also decreased [5]. As shown in Fig. 1, the adsorption efficiency of diatomite at lower concentrations is higher than silt and sunflower. With increasing initial concentrations to 100 ppm, the highest and lowest adsorption efficiency was observed in cement and silt, respectively. Therefore, in areas with high concentrations of nickel, the use of cement materials is recommended. The difference in

removal percent of heavy metals by various adsorbents at similar initial concentrations, similar adsorbent dose and similar contact time, may be due to the difference in chemical efficiency and the ionic exchange capacity of different adsorbents regarding the chemical functional groups on the surface of each adsorbent[5].

3.2 Cadmium adsorption

The effect of initial concentration on the amount of cadmium adsorption by concrete particles is shown in Fig. 2. With increasing initial concentrations, the adsorption rate decreased for all adsorbents. For example, with increasing initial cadmium concentration from 10 to 20 ppm, the efficiency of silt adsorption dropped from 78.8% to 70%. At low concentrations, the ratio of adsorption sites to adsorbent ions is high and cadmium species with functional groups on adsorbent surfaces has maximum interaction and therefore, the adsorption efficiency is the highest. At higher concentrations, adsorption efficiency has also decreased due to the saturation of adsorption sites [6]. As shown in Fig. 2, the adsorption efficiency of cement and sunflower in lower concentrations is higher than silt and diatomite. With increasing initial concentrations to 100 ppm, the highest and lowest adsorption efficiency was observed in cement and diatomite, respectively. Therefore, the use of cement materials is recommended in environments with high cadmium concentrations. Differences in the removal efficiency of cadmium by different adsorbents in the same laboratory conditions can be due to the different chemical structure of the adsorbents and their interactions with different adsorbents [5].

CONCLUSIONS

Result of adsorption experiments showed that cement was able to completely remove nickel and cadmium in all studied concentrations (10, 20, 40, 60, 80 and 100 ppm). After that, sunflower had the best performance in adsorbing nickel and cadmium. Diatomite and silt were subsequently in third and fourth places, respectively. Overall, the results showed that natural compounds such as diatomite and plant wastes such as sunflower stems can be used as adsorbent materials in

sewage ponds and concrete channels.

REFERENCES

- [1] Carolin, C.F., Kumar, P.S., Saravanan, A., Joshiba, G.J., and Naushad, M., 2017. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(3), 2782-2799.
- [2] Ulmanu, M., Marañón, E., Fernández, Y., Castrillón, L., Anger, I., and Dumitriu, D., 2003. Removal of copper and cadmium ions from diluted aqueous solutions by low cost and waste material adsorbents. *Water, air, and soil pollution*, 142(1-4), 357-373.
- [3] Mousavi, H.Z., and Seyedi, S., 2011. Nettle ash as a low cost adsorbent for the removal of nickel and cadmium from wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8(1), 195-202.
- [4] Garg, U.K., Kaur, M., Garg, V., and Sud, D., 2008. Removal of nickel (II) from aqueous solution by adsorption on agricultural waste biomass using a response surface methodological approach. *Bioresource technology*, 99(5), 1325-1331.
- [5] Taha, A., Dakrouy, A., El-Sayed, G., and El-Salam, S., 2010. Assessment removal of heavy metals ions from wastewater by cement kiln dust (CKD). *Journal of American Science*, 6(12), 910-917.
- [6] Karami, H., 2013. Heavy metal removal from water by magnetite nanorods. *Chemical Engineering Journal*, 219, 209-216.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

S. Bakhtiari, F. Sotoodehnia, M. Shahrashoub, T. Amiri, H. Abbaslou, Removal of Nickel and Cadmium using Diatomite, Silt, Sunflower stem and Cement (Green Concrete Components), *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(8) (2020) 477-480.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15746.6018](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15746.6018)





حذف نیکل و کادمیوم توسط جاذب های دیاتومیت، سیلت، ساقه آفتابگردان و سیمان (اجزاء تشکیل دهنده بتن سبز)

سمیه بختیاری^{۱*}، فاطمه ستوده‌نیا^۲، میثم شهرآشوب^۳، حکیمه عباسلو^۴، طیبه امیری^۵

^۱ استادیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران

^۴ استادیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران

^۵ استادیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۱-۱۳

بازنگری: ۱۳۹۸-۰۲-۰۱

پذیرش: ۱۳۹۸-۰۲-۰۱

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۲-۲۳

کلمات کلیدی:

بتن سبز

دیاتومیت

ساقه آفتابگردان

فلزات سنگین

ایزوترم های جذب

خلاصه: جذب سطحی یکی از رایج‌ترین روش‌ها جهت حذف فلزات سنگین است. اخیراً توجه زیادی به استفاده از مواد ارزان‌قیمت مانند ضایعات صنایع، تولیدات غذایی و کشاورزی در مطالعات جذب سطحی شده است. از آنجاکه قسمت عمده سازه‌ها، حوضچه‌ها و لوله‌های انتقال فاضلاب از بتن ساخته می‌شوند، استفاده از بتن با ظرفیت جذب فلزات سنگین می‌تواند یکی از روش‌های مؤثر در حذف آلاینده‌ها به خصوص فلزات سنگین از فاضلاب‌ها باشد. در این تحقیق از دو افزودنی دیاتومیت و ساقه آفتابگردان به عنوان جاذب فلزات سنگین کادمیوم و نیکل از فاضلاب و نیز موادی که بتوانند مقاومت، دوام و پایداری بتن را در سازه‌های آب و فاضلاب حفظ و حتی افزایش دهند، استفاده شد. دیاتومیت جایگزین بخشی از سیمان و آفتابگردان جایگزین بخشی از سنگ‌دانه مصرفی بتن شد. توانایی جذب نیکل و کادمیوم توسط اجزای مختلف تشکیل دهنده بتن (سیمان، سیلت، دیاتومیت و ساقه آفتابگردان) مورد بررسی قرار گرفت. سیمان قادر به حذف کامل نیکل و کادمیوم بود. دیگر اجزای تشکیل دهنده بتن نیز توانایی خوبی در حذف نیکل و کادمیوم داشتند. ظرفیت جذب نیکل و کادمیوم به ترتیب برای دیاتومیت، سیلت و ساقه آفتابگردان ۲/۸۵ و ۱/۸۸، ۲/۶۱ و ۲/۸۲، ۱۸/۴۵ و ۶/۸۲ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. همچنین روابط مربوط به هم‌دماهای جذب لانگمویر و فروندلیچ برای هر کدام از جاذب‌ها اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد هر دو هم‌دمای لانگمویر و فروندلیچ برای توصیف فرایند جذب نیکل و کادمیوم توسط جاذب‌ها مناسب هستند. تکه‌های بتنی کادمیوم را به طور کامل حذف کردند اما در جذب نیکل نمونه شاهد بهترین عملکرد را داشت.

۱- مقدمه

برای انسان‌ها، موجودات آبی و حیوانات می‌باشند را در محیط‌ها می‌کنند [۳]. فلزات سنگین به گروهی از فلزات با چگالی بیش از ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب اطلاق می‌شود [۴] که حضورشان در محیط‌زیست، به دلیل سمیت آن‌ها، به یک نگرانی عمده بدل شده است. بسیاری از فرآیندهای صنعتی، پساب‌های حاوی فلزات سنگین تولید می‌کنند [۵]. فلزات سنگین حتی به مقدار اندک برای انسان و سایر ارگانیسم‌ها مضر و خطرناک‌اند. فلزات مزبور توسط زنجیره غذایی تغلیظ می‌شوند. بنابراین برای ارگانیسم‌های نزدیک به قسمت

امروزه اهمیت زیست‌محیطی آب به‌عنوان یک نیاز اولیه، در سراسر دنیا مورد توجه گرفته شده است [۱]. در دهه‌های آتی با افزایش سریع تقاضای آب، به دلایل رشد جمعیت، شهرنشینی و افزایش سرانه مصرف آب، کمبود آب امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود [۲]. صنایع به دلیل نیاز فراوان به آب در بخش‌های مختلف، آب سالم و تمیز را دریافت کرده و آب آلوده و شیرابه که حاوی مواد خطرناکی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: bakhtiari@sirjantech.ac.ir



بالای زنجیره ایجاد مشکل می‌کنند [۶]. وجود غلظت‌های بیش‌از حد مجاز این فلزات در بدن، می‌تواند موجب اختلالات شدید سلامتی در افراد شود [۷]. بنابراین حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی امری اجتناب‌ناپذیر و بسیار ضروری محسوب می‌شود.

کادمیوم یکی از آلاینده‌های مهم آب است که از منابعی مانند ذوب‌آهن، فلزکاری، باتری‌های کادمیوم-نیکل، کودهای فسفاته، رنگ‌دانه‌ها، تثبیت‌کننده‌ها و صنایع آلیاژی تولید می‌شود. غلظت کادمیوم در فاضلاب این صنایع از ۰/۰۱ تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر است، درحالی‌که غلظت مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی حداکثر ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر است [۸، ۹]. کادمیوم باعث انواع مختلف اختلالات حاد و مزمن مانند تجمع آب میان بافتی در ریه، تغییر شکل استخوان‌بندی، ضعف، آسیب کلیوی و آمفیوز می‌شود [۱۰]. بنابراین، کادمیوم تهدیدی برای موجودات زنده است و باید از پساب‌های صنعتی حذف شود [۱۱]. نیکل یک نوع فلز سنگین غیرقابل تجزیه است که در فاضلاب یافت می‌شود. منابع صنعتی مانند صنایع چاپ، صنایع آبکاری، پالایش نقره، صنایع تولید باطری و صنایع آلیاژی مربوط با فلز نیکل در ارتباطند [۱]. مسمومیت حاد نیکل (II) موجب سردرد، سرگیجه، تهوع و استفراغ، درد قفسه سینه، سرفه خشک و تنگی نفس، افزایش ضربان قلب، سیانوز و ضعف شدید می‌شود [۱۲]. علاوه بر این، غلظت‌های بالای نیکل می‌تواند فرد را به سرطان ریه و سرطان سینوس بینی و سرطان استخوان مبتلا کند. در کشور هند، حد قابل قبول نیکل در آب آشامیدنی ۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت مجاز نیکل برای دفع در فاضلاب صنعتی ۲ میلی‌گرم بر لیتر است [۱۲].

هر دو یون کادمیوم (II) و نیکل (II) اغلب اوقات در فاضلاب‌های صنعتی یافت می‌شوند. از این‌رو، قبل از انتقال و ورود به چرخه محیط‌زیست، حذف این فلزات از پساب‌های صنعتی امری ضروری است [۸]. برخی از روش‌های متداول حذف یون‌های فلزی از محلول‌های آبی عبارت‌اند از تبادل یونی، استخراج حلال، اسمز معکوس، روش‌های بیولوژیکی، ترسیب شیمیایی و جذب سطحی [۱۳]. همه روش‌های شیمیایی حذف فلزات سنگین بسیار گران‌قیمت‌اند و کارآمدی کمتری نسبت به فرایند جذب سطحی دارند [۸]. همچنین این تکنیک‌ها به علت ایجاد لجن‌های حاوی غلظت‌های بالای فلزات سنگین که نابودی آن‌ها بسیار سخت و هزینه‌بر است، مشکلات زیست‌محیطی ثانویه ایجاد می‌کنند [۱۴]. روش جذب سطحی در

مقایسه با روش‌های دیگر، با توجه به کارایی بالای آن و سهولت استفاده از آن در تصفیه فاضلاب حاوی فلزات سنگین فرآیندی جذاب به نظر می‌رسد [۱۵]. تعداد زیادی از مواد مشتق شده از منابع طبیعی، زباله‌های گیاهی و کشاورزی یا محصولات جانبی فرآیندهای صنعتی به‌عنوان جاذب برای جداسازی فلزات رقیق از آب موردبررسی قرار گرفته‌اند [۸]. به‌عنوان مثال پوست سیب‌زمینی [۱۶]، خاکستر لجن فاضلاب [۱۷]، لیکا [۱۸]، دورریز چای [۱۹-۲۱]، پوست میوه‌هایی همچون موز و پرتقال [۲۲، ۲۳]، سیوس برنج [۲۴] و کربن فعال حاصل از الیاف ذرت [۲۵]، هسته زردآلو [۲۶]، پوسته نارگیل [۲۷]، تفاله نیشکر [۲۸]، تفاله انگور [۲۹] و هسته زیتون [۳۰] از جمله موادی هستند که به‌عنوان جاذب فلزات سنگین موردبررسی قرار گرفتند که نشان‌دهنده صرفه اقتصادی روش جذب سطحی است. یکی از ضایعات کشاورزی که در مطالعات مختلف کارایی آن در حذف فلزات سنگین به اثبات رسیده است، ساقه آفتابگردان است. سپهر و توسن (۱۳۹۴) به بررسی جذب کادمیوم توسط ساقه آفتابگردان، بقایای هرس سیب و انگور پرداختند و نشان دادند که ظرفیت جذب کادمیوم توسط ساقه آفتابگردان بیشتر از دو جاذب دیگر و ۸/۹۰۵ میلی‌گرم بر گرم است [۳۱]. سان و شای (۱۹۹۸) ظرفیت جذب ساقه آفتابگردان برای حذف کروم سه‌ظرفیتی، مس و کادمیوم را به ترتیب ۲۵/۰۷، ۲۹/۳ و ۴۲/۱۸ میلی‌گرم بر گرم گزارش کردند [۳۲]. ترکیبات خاکی نیز از جمله جاذب‌هایی هستند که در حذف فلزات سنگین بسیار مؤثر عمل می‌کنند. دیاتومیت که به‌عنوان خاک دیاتومه (Kieselguhr) شناخته شده است، سنگ رسوبی متخلخل با منشأ زیستی می‌باشد که وجود حفره‌های زیاد در اسکلت دیاتومه‌ها موجب کاهش وزن مخصوص آن شده است. نهشته‌های دیاتومیتی روشن رنگ، نرم، سبک و متخلخل هستند. دیاتومیت دارای ویژگی‌های فیزیکی مناسبی نظیر تخلخل بالا، اندازه کوچک ذرات، هدایت حرارتی پایین، وزن مخصوص کم، مساحت سطح ویژه مناسب و ظرفیت جذب خوب می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی دیاتومیت، داشتن ذرات ریز با الگوی منظمی از حفرات است. وجود سیلیکا در دیاتومیت سبب استحکام، پایداری بالا و مقاومت در برابر سایش شده است. در صنعت از دیاتومیت به‌منظور تولید آجرهای نسوز، بتن‌های عایق حرارتی و ... استفاده می‌شود [۳۳]. قابلیت جذب فلزات سنگین توسط دیاتومیت در مطالعات مختلف از جمله



شکل ۲: ساقه آفتابگردان خردشده
Fig. 2. Chopped sunflower stalks



شکل ۱: دیاتومیت
Fig. 1. Diatomite

نیکل و کادمیوم از محیط های آبی با ترکیباتی که اجزاء اصلی تشکیل دهنده یک بتن سبز هستند، صورت گرفت.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- جاذب ها

انتخاب مواد مصرفی بر اساس هدف موردنظر صورت گرفت. به منظور نیل به اهداف پروژه نیاز بود از مصالحی استفاده شود که برای بتن جاذب مناسب هستند، قابلیت جذب فلزات سنگین را دارند و همچنین از جمله مواد با قابلیت دسترسی بالا در ایران باشند. جاذب های مورد استفاده در این تحقیق دیاتومیت (شکل ۱)، ساقه آفتابگردان عبور داده شده از الک #۱۰ و مانده بر روی الک #۱۶ و دارای وزن مخصوص ۰/۷۹ گرم بر سانتی متر مکعب (شکل ۲)، سیلت و سیمان بودند که توانایی جذب دو فلز سنگین کادمیوم و نیکل توسط هر کدام از آن ها به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین توانایی جذب این دو فلز سنگین توسط دو نمونه بتنی بدون افزودنی های دیاتومیت و آفتابگردان (به عنوان نمونه شاهد) و یک نمونه بتنی حاوی ۲۰ درصد دیاتومیت و ۵ درصد آفتابگردان (به عنوان نمونه ای که درصدی از سیمان و سنگدانه آن به ترتیب توسط دیاتومیت و ساقه آفتابگردان جایگزین شده است) مورد بررسی قرار گرفت و علاوه بر تعیین توانایی جذب فلز سنگین توسط این دو نمونه بتنی، مقاومت فشاری آن ها نیز اندازه گیری شد.

۲-۲- مواد شیمیایی

در این پژوهش از نمک های $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ ، $CdCl_2 \cdot H_2O$

سرب [۳۴]، مس [۳۵]، کادمیوم [۳۶]، نیکل [۳۷] و کبالت [۳۸] مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از راه های مقابله با ورود فلزات سنگین به آب های سطحی و زیرزمینی، استفاده از بتن جاذب می باشد که در ساخت کانال های فاضلاب مورد استفاده قرار می گیرد. در این بتن ها، از موادی به عنوان جاذب آلاینده استفاده می شود.

امروزه صنعت بتن مقادیر بسیار زیادی از منابع طبیعی و مواد خام را استفاده می کند که با توجه به مقدار تولید روزانه بتن، حتی کاهش جزئی مواد مصرفی در مخلوط بتن می تواند فواید فراوانی برای محیط زیست به ارمغان بیاورد. بهترین راه دستیابی به این هدف، استفاده از مواد جانبی و زائدات است [۳۹]. از آنجایی که سنگدانه های معمولی (شن و ماسه) حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد حجم بتن را نشان می دهند، جایگزینی جزئی یا کل آن ها با مواد زائد مصنوعی یا طبیعی به حفظ منابع طبیعی کمک می کند [۴۰]. برای توسعه پایدار ساخت و ساز، مصالح گیاهی بخصوص منابع محلی و بومی به صورت روزافزون برای ساخت سازه های اکولوژیکی استفاده می شوند [۴۱]. در مطالعات مختلف، تأثیر استفاده از دیاتومیت به عنوان جایگزین کننده سیمان [۴۲-۴۴] و ساقه آفتابگردان به عنوان ماده جایگزین کننده سنگدانه [۴۵-۴۷] به منظور کاهش مواد مصرفی بتن مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به خصوصیات جذبی دو ترکیب ساقه آفتابگردان و دیاتومیت و همچنین امکان استفاده از این دو ترکیب در ساخت یک بتن زیست سازگار باهدف به حداقل رساندن مواد مصرفی بتن و کاهش تولید موادی مانند سیمان که می تواند منجر به آلودگی هوا شود، این مطالعه باهدف بررسی توانایی جذب سطحی دو فلز سنگین

گردید و سپس داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از هم‌دماهای جذب سطحی برازش داده شدند و حداکثر ظرفیت جذب هر کدام از عناصر توسط جاذب‌ها بر اساس ضریب q_{max} حاصل از معادله لانگمویر (معادله ۲) به دست آمد.

$$Efficiency(\%) = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

C_i : غلظت اولیه جذب‌شونده (mg/l)

C_e : غلظت جذب‌شونده در محلول تعادلی (mg/l)

۲-۴-۲ مدل‌سازی جذب

هم‌دماهای جذب معادلات ریاضی یا تجربی هستند که رابطه بین یک یون در فاز جامد و غلظت آن در محلول تعادلی را در دمای ثابت نشان می‌دهند و به‌عنوان ابزارهایی برای توصیف و پیش‌بینی میزان جذب و تحرک بعضی از ترکیبات در خاک به کار می‌روند [۴۸]. شکل و پارامترهای یک هم‌دما می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد نوع و شدت برهم‌کنش جذب‌کننده و جذب‌شونده در اختیار ما قرار دهد. معادلات متعددی جهت بیان رابطه بین مقدار جذب یک ترکیب به‌وسیله فاز جامد و غلظت آن در محلول در حالت تعادل مورد استفاده قرار می‌گیرد که معروف‌ترین آن‌ها معادلات لانگمویر (ریاضی) و فروندلیچ (تجربی) می‌باشند [۴۹].

معادله لانگمویر: معادله لانگمویر جهت جذب بر روی سطوح کاملاً یکنواخت همراه با قابلیت چشم‌پوشی از برهم‌کنش بین مولکول‌های جذب‌شونده به کار می‌رود [۴۹]. برای یک جذب‌شونده، معادله لانگمویر (رابطه ۲) به‌صورت زیر است:

$$\frac{x}{m} = \frac{q_m k C_e}{1 + k C_e} \quad (2)$$

فرم خطی معادله لانگمویر نیز به شکل (رابطه ۳) می‌باشد:

$$\frac{C_e}{x/m} = \frac{1}{k q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

x/m : مقدار ماده جذب‌شده به ازای واحد جرم جاذب (mg/g)

m : جرم جاذب (mg)

q_m : ظرفیت جذب

و $CaCl_2$ خریداری‌شده از شرکت مرک استفاده گردید. نمک‌های کادمیوم و نیکل به‌عنوان ماده جذب‌شونده و $CaCl_2$ به‌عنوان الکترولیت مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۳-۲ جذب سطحی

در فرآیند جذب سطحی، انتقال یک جزء از فاز گاز یا مایع به سطح جامد صورت می‌گیرد. واژه جذب سطحی برای تشریح این حقیقت به کار می‌رود که غلظت مولکول‌های جذب‌شده در سطح تماس جامد بیشتر از فاز گاز یا محلول است. جذب روی یک سطح جامد، به علت نیروی جاذبه اتم‌ها یا مولکول‌ها در سطح آن جامد است. در عمل جذب سطحی نیروهای مختلفی اعم از فیزیکی و شیمیایی مؤثرند و مقدار آن بستگی به طبیعت ماده جذب‌شده و جسم جاذب دارد.

۲-۳-۱-۲ آزمایش‌های جذب

ابتدا محلول مادر (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از نمک‌های نیکل و کادمیوم تهیه شد. جهت تهیه محلول مادر ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیکل و کادمیوم به ترتیب مقادیر ۴/۰۵ و ۱/۷۹ گرم از نمک کلرید نیکل ۶ آب و کلرید کادمیوم ۱ آب به صورت جداگانه در مقداری از محلول الکترولیت کلرید کلسیم حل و نهایتاً به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس از این محلول‌ها، محلول‌های موردنیاز ساخته شدند. هم‌دماهای جذب نیکل و کادمیوم بر روی جاذب‌های سیمان، سیلت، دیاتومیت و آفتابگردان با استفاده از روش Batch Equilibrium تعیین گردیدند. در این روش ۰/۱ گرم از جاذب‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول‌های تهیه‌شده با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ppm بعد از انتقال به لوله‌های سانتریفیوژ (فالكون)، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مدت‌زمان ۲۴ ساعت تکان داده شدند. پس از تعادل، محلول‌ها سانتریفیوژ شده و بعد از صاف کردن محلول رویی، مقدار نیکل و کادمیوم جذب‌شده از تفاوت بین غلظت اولیه این عناصر و غلظت نهایی موجود در محلول محاسبه گردید. در این آزمایش از یک شاهد که درواقع تیمار بدون نیکل و کادمیوم است نیز استفاده گردید. برای هر سطح، یک نمونه شاهد بدون جاذب هم لازم است. هر آزمایش در سه تکرار انجام گرفت. درصد حذف هر کدام از فلزات سنگین توسط جاذب‌های موردنظر توسط معادله ۱ محاسبه

۵-۲- ساخت نمونه های بتنی و بررسی جذب نیکل و کادمیوم توسط آن ها

دو نمونه شاهد و نمونه بتن پلاستیک جاذب با ۲۰ درصد جایگزینی سیمان با دیاتومیت و ۵ درصد جایگزینی سنگدانه با ساقه آفتابگردان، با مقادیر سیمان، سنگدانه، سیلت، دیاتومیت و ساقه آفتابگردان ارائه شده در جدول ۵ در قالب های مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتی متری (اندازه گیری مقاومت فشاری) و قالب های استوانه ای ۱۰*۲۰ سانتی متری (اندازه گیری مقاومت کششی) ساخته شدند. همچنین جهت بررسی جذب نیکل و کادمیوم توسط این دو نمونه بتنی، تکه های منظمی از بتن وزن شدند و ۱۰ برابر وزنشان، محلول با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر از نیکل و کادمیوم به صورت جداگانه روی آن ها ریخته شد و ۲۴ ساعت زمان داده شد تا فرایند جذب به صورت کامل انجام گیرد. سپس نمونه ها صاف شدند و برای سنجش توسط دستگاه جذب اتمی آماده گشتند.

۳- نتایج و بحث

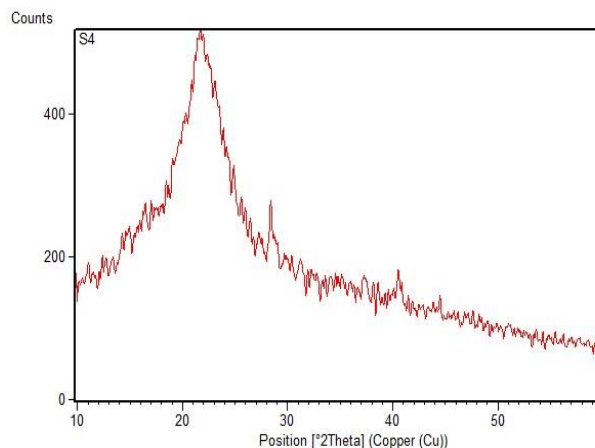
۳-۱- مشخصه یابی اجزای تشکیل دهنده بتن

۳-۱-۱- نتایج پراش پرتو ایکس (XRD)

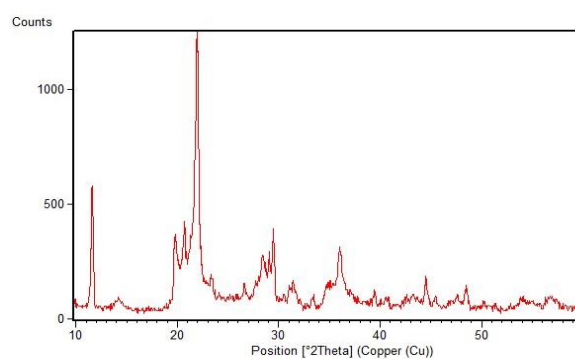
نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس مربوط به دو افزودنی (آفتابگردان و دیاتومیت) در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است. در نمونه آفتابگردان، وجود فاز سیلیس آمورف در $2\theta = 22^\circ$ به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۳). آنالیز پراش پرتو ایکس مربوط به دیاتومیت نیز نمایانگر وجود کوارتز و سیلیس در این ترکیب است (شکل ۴) [۵۰]. الگوی XRD که از دیاتومیت خام به دست آمد نشان دهنده یک پیک بزرگ در $2\theta = 26.65^\circ$ درجه بود که آن را می توان به SiO_2 نسبت داد. همچنین پیک مربوط به کلسیت نیز در زاویه 29° درجه قابل رؤیت است [۵۱].

۳-۱-۲- نتایج XRF

با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی دیاتومیت، سیمان و آفتابگردان که در جدول ۱ آورده شده است، جز اصلی سیمان، CaO (۶۴/۲٪) می باشد و مقدار اکسید سیلیس SiO_2 در سیمان ۲۱/۸٪ گزارش شد. اکسیدهای فلزی Al_2O_3 و Fe_2O_3 جز قسمت های اصلی سیمان هستند که به میزان کمتری در سیمان وجود دارند. CaO



شکل ۳: XRD آفتابگردان
Fig. 3. Sunflower XRD



شکل ۴: XRD دیاتومیت
Fig. 4. Diatomite XRD

معادله فروندلیچ: معادله فروندلیچ، یک مدل تجربی است که جهت توصیف جذب در سیستم های محلول استفاده می شود. فرمول (رابطه ۴) آن به صورت زیر است [۴۹].

$$\frac{X}{M} = k_f C_e^n \quad (4)$$

شکل خطی معادله فروندلیچ نیز به صورت (رابطه ۵) تعریف می شود:

$$\log \frac{X}{M} = \log K_f + n \log C_e \quad (5)$$

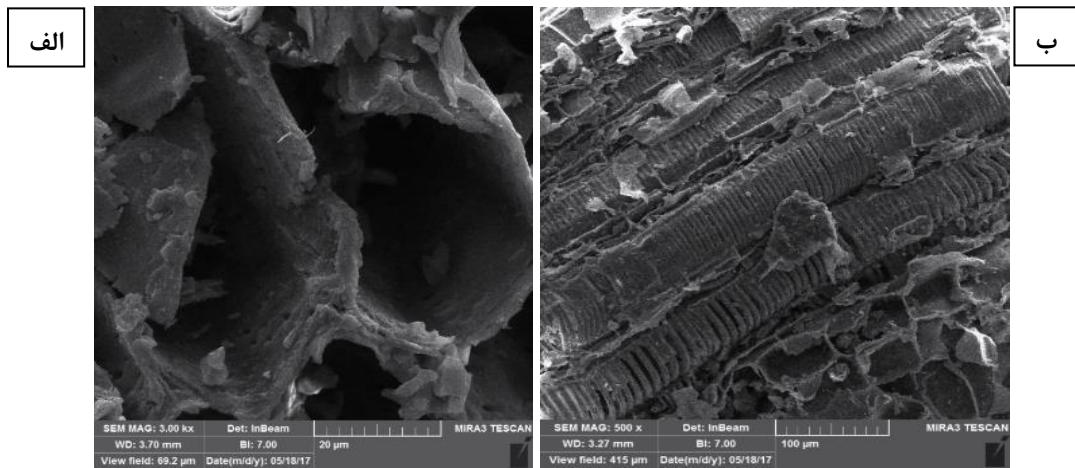
k_f : شاخص ظرفیت جذب

n : شاخص شدت جذب

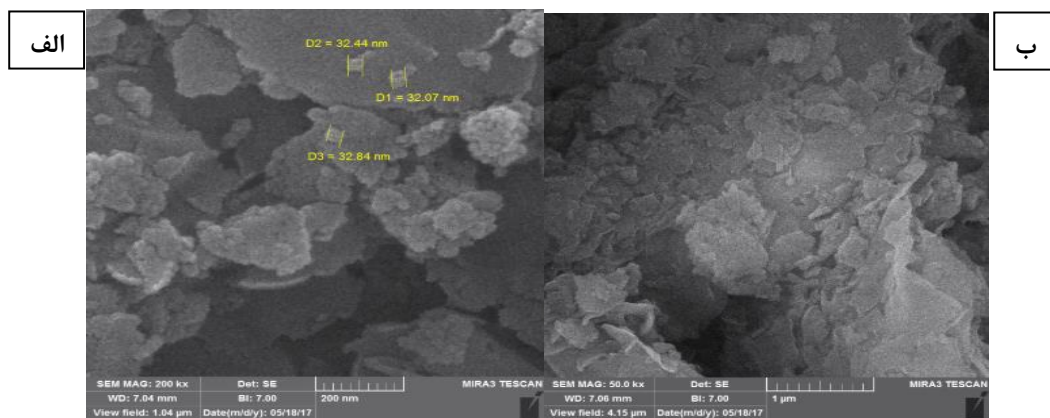
پارامترهای دیگر این ایزوترم در مدل لانگمویر توصیف شده اند. با ترسیم $\log(x/m)$ در مقابل $\log C_e$ یک خط راست حاصل می شود که شیب و عرض از مبدأ آن به ترتیب برابر با n و k_f است.

جدول ۱: نتایج XRF سیمان، دیاتومیت و آفتابگردان
Table 1. XRF results of cement, diatomite, and sunflower

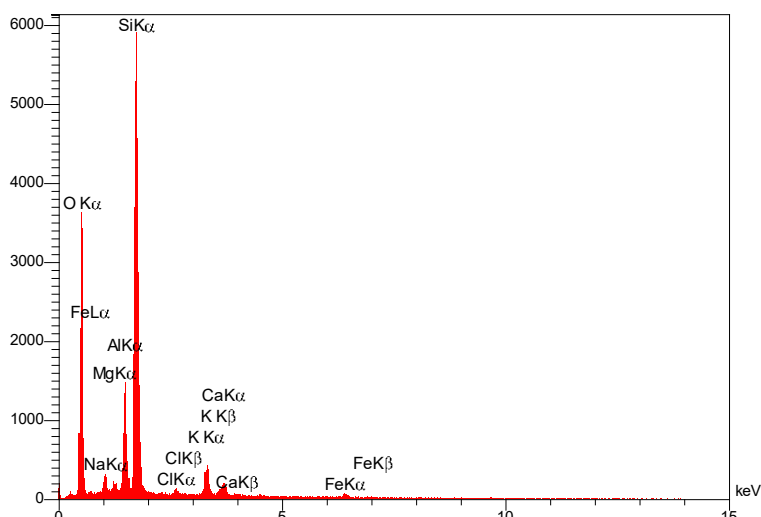
نمونه	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
سیمان	۲۱/۸	۴/۳۵	۳/۴	۶۴/۲	۰/۵۸	۱	۳/۳۱	-	--	۳/۹۳
آفتابگردان	۰/۵	-	۰/۴۶۳	۴/۲۶۹	۰/۰۹۶	۰/۵۷۳	۹/۵۵۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۲۶۳
دیاتومیت	۶۹/۹۳۷	۱۲/۶۱	۲/۹۷	۴/۶۲	۲/۴۲۱	۱/۸۷	۰/۳۱۲	۰/۳۴۸	۰/۰۴۹	۰/۰۴۵



شکل ۵: تصاویر SEM آفتابگردان (الف) فیبر آفتابگردان (ب) پوشش خارجی
Fig. 5. SEM images of sunflower. a) sunflower fiber, b) outer cover



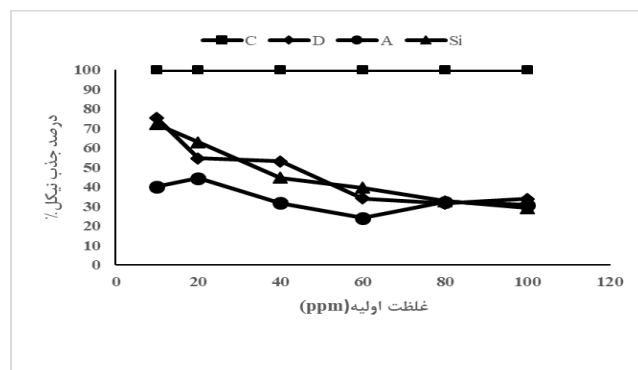
شکل ۶: تصاویر SEM دیاتومیت
Fig. 6. SEM images of diatomite



شکل ۷: آنالیز EDX دیاتومیت
Fig. 7. EDX analysis of diatomite

به منظور پیش‌بینی رفتار جذبی و پوزولانی آن‌ها، تصاویر SEM از این مواد تهیه شد. همان‌طور که در تصویر SEM آفتابگردان مشاهده می‌شود مورفولوژی آفتابگردان به گونه‌ای است که دارای تیوب‌هایی طولی می‌باشد که احتمالاً همین امر باعث جذب محلول‌ها و حبس آن‌ها در درون این تیوب‌ها می‌شود (شکل ۵). همچنین آفتابگردان علاوه بر تیوب‌هایی که در پوشش ساقه قرار دارند، دارای فضاهای باز در فیبر درون ساقه نیز می‌باشد، یعنی دیواره این تیوب‌های طولی متخلخل بوده [۴۷] و خود نیز دارای فضاهای جذبی هستند که همین امر قابلیت جذب ساقه آفتابگردان را دوچندان می‌کند.
(ب) دیاتومیت

با توجه به تصویر SEM دیاتومیت، ساختار ورقه‌ای آن به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۶). کانی‌های با ساختار ورقه‌ای دارای نسبت مساحت به جرم بالایی هستند. سطح ویژه بالای این کانی‌ها سبب عملکرد خوب آن‌ها در جذب سطحی می‌شود، زیرا سطح بیشتری از آن‌ها با محلول در تماس قرار می‌گیرد و امکان جذب بالا می‌رود. از تصویر SEM دیاتومیت مشخص شد علاوه بر حجم زیاد، دیاتومیت دارای ساختار متخلخل نیز می‌باشد. همین ویژگی دیاتومیت یکی از دلایل انتخاب آن برای جذب فلزات سنگین بود [۵۲]. با توجه به نمودار EDX دیاتومیت (شکل ۷) مشخص شد مقدار سیلیس دیاتومیت بسیار زیاد است و می‌تواند مقاومت نمونه‌های بتنی را افزایش دهد به همین دلیل می‌توان از آن به‌عنوان جایگزین سیمان استفاده کرد.



شکل ۸: تأثیر غلظت اولیه نیکل بر راندمان حذف آن توسط ذرات سازنده بتن

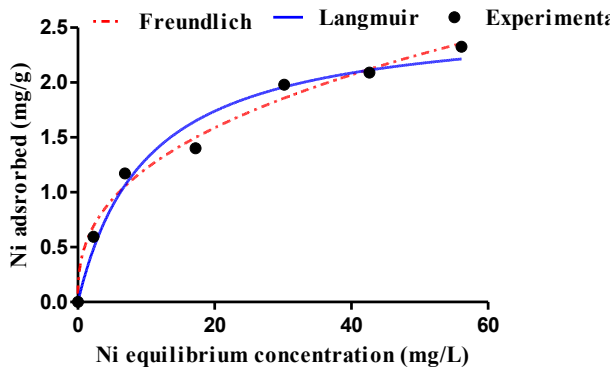
Fig. 8. Effect of initial nickel concentration on its removal efficiency by concrete particles

موجود در ساقه آفتابگردان ۴/۲۶۹٪ بود و اکسیدهای فلزی به میزان بسیار کمی در ساقه آفتابگردان وجود داشتند. دیاتومیت دارای درصد بالایی از اکسید سیلیس (۶۹/۹۳۷٪) بود که در مقایسه با سیمان دارای سیلیس بیشتری است. به دلیل تأثیر به سزای سیلیس در مقاومت نمونه‌های بتنی جایگزینی سیمان با دیاتومیت منطقی به نظر می‌رسد.

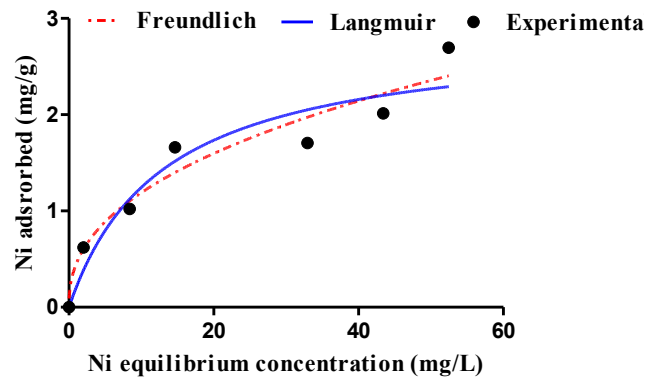
۳-۱-۳- نتایج SEM

الف) آفتابگردان

برای مشاهده مورفولوژی و ساختار درونی آفتابگردان و دیاتومیت



شکل ۱۰: نمودار جذب نیکل توسط سیلت
Fig. 10. Nickel adsorption by silt



شکل ۹: جذب نیکل توسط دیاتومیت
Fig. 9. Nickel adsorption by diatomite

با توجه به نمودار جذب نیکل توسط دیاتومیت (شکل ۹) مشخص گردید که نمودار جذب نیکل توسط این جاذب در کلاس L قرار می‌گیرد. یعنی در غلظت‌های پایین نیکل که هنوز سایت‌های جذبی اشباع نشده‌اند، تمایل جذب نیکل توسط دیاتومیت زیادتر است و با افزایش غلظت نیکل، این سایت‌ها اشباع شده و تمایل برای جذب نیکل کاهش می‌یابد [۵۴]. مدل فروندلیچ در جاذب دیاتومیت، دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری نسبت به مدل لانگمویر می‌باشد، در نتیجه معادله فروندلیچ جذب سطحی نیکل توسط دیاتومیت را بهتر توصیف می‌کند (جدول ۲). بر اساس معادله لانگمویر، حداکثر میزان جذب نیکل (q_{max}) به ازای واحد جرم دیاتومیت ۲/۸۵۶ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد. القوتی^۱ و همکاران (۲۰۰۴)، از دیاتومیت اصلاح‌شده با منگنز برای حذف سرب و روی استفاده کردند. حداکثر میزان جذب سرب ۱/۰۲ میلی‌گرم بر گرم و روی ۱/۰۵ میلی‌گرم بر گرم گزارش شد [۵۵]. در مقایسه با میزان جذب نیکل توسط دیاتومیت خام که در پژوهش حاضر ۲/۸۵۶ mg/g اندازه‌گیری شد دیاتومیت اصلاح‌شده توانایی کمتری در جذب فلزات سرب و روی نشان داد.

(ب) سیلت

نمودار جذب نیکل توسط سیلت در کلاس L قرار گرفت (شکل ۱۰). نمودار جذب نیکل توسط سیلت در مقایسه با نمودار جذب نیکل توسط دیاتومیت دارای شیب اولیه بیشتری است. این بدان معناست که تمایل جذب سیلت در غلظت‌های پایین نیکل از تمایل جذب دیاتومیت بیشتر است، ولی با افزایش غلظت نیکل، کاهش شیب نمودار جذب سیلت بیشتر از کاهش شیب نمودار دیاتومیت است،

۳-۲- آزمایشات جذب فلزات سنگین اجزا تشکیل‌دهنده بتن

۳-۲-۱- فلز سنگین نیکل

اثر غلظت اولیه بر درصد جذب نیکل توسط ذرات تشکیل‌دهنده بتن (دیاتومیت D، آفتابگردان A، سیلت Si و سیمان C) در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش غلظت اولیه، میزان جذب برای تمامی جاذب‌ها کاهش می‌یابد. به‌طور مثال، با افزایش غلظت اولیه نیکل از ۱۰ به ۲۰ ppm، راندمان جذب دیاتومیت از ۷۵/۳ به ۵۴/۸ درصد کاهش یافت. در غلظت‌های پایین، نسبت مکان‌های جذب به یون جذب‌شونده زیاد و گونه‌های نیکل با گروه‌های عاملی سطح جاذب‌ها حداکثر برهم‌کنش را داشته و لذا راندمان جذب بیشترین مقدار است. در غلظت‌های بالاتر به دلیل اشباع شدن مکان‌های جذب، راندمان جذب نیز کاهش یافته است [۵۳]. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود راندمان جذب دیاتومیت در غلظت‌های پایین بیشتر از سیلت و آفتابگردان است. با افزایش غلظت اولیه و در غلظت ppm ۱۰۰ بیشترین و کمترین راندمان جذب به ترتیب در سیمان و سیلت مشاهده گردید. بنابراین در محیط‌هایی که غلظت نیکل بسیار زیاد باشد استفاده از مواد سیمانی توصیه می‌گردد. تفاوت در درصد حذف فلزات سنگین توسط جاذب‌های مختلف در غلظت‌های اولیه مشابه، دوز جاذب مشابه و زمان تماس مشابه احتمالاً مربوط به تفاوت در کارایی شیمیایی و ظرفیت تبادل یونی جاذب‌های مختلف با توجه به گروه‌های عاملی شیمیایی سطح هر جاذب است [۵۳].

۳-۲-۲- هم‌دمای جذب نیکل توسط اجزای تشکیل‌دهنده بتن

(الف) دیاتومیت

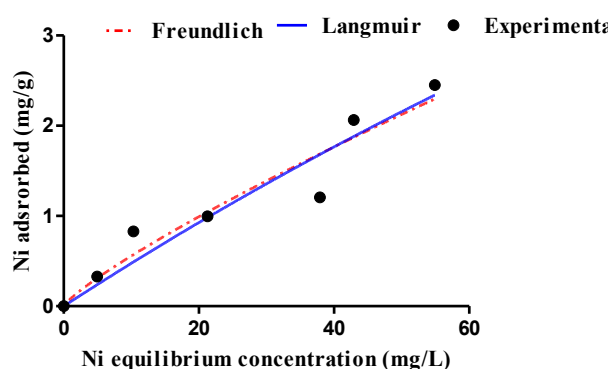
جدول ۲: ثابت‌ها، ضرایب تشخیص و خطای برازش یافته از مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ بر داده‌های حاصل از جذب نیکل توسط دیاتومیت، آفتابگردان و سیلت

Table 2. Constants, detection coefficients, and error of Langmuir and Freundlich fitting models on nickel adsorption data by diatomite, sunflower, and silt

سیلت	آفتابگردان	دیاتومیت	نوع جاذب
			لانگمویر
۰/۰۹۹۷۴	۰/۰۰۲۶۳	۰/۰۷۷۳۲	k_L (L mg ⁻¹)
۲/۶۱	۱۸/۵۴	۲/۸۵۶	q_{max} (mg g ⁻¹)
۰/۹۷۷۰	۰/۹۱۴۸	۰/۹۱۷۹	R ²
۰/۱۴۱۰	۰/۲۸۱۴	۰/۲۸۴۴	SE
			فروندلیچ
۰/۵۰۲۷	۰/۰۸۲۰۱	۰/۴۴۷۹	k_F (L mg ⁻¹)
۰/۳۸۳۷	۰/۸۳۲۰	۰/۴۲۴۴	N
۰/۹۸۸۶	۰/۹۲۲۰	۰/۹۴۴۱	R ²
۰/۰۹۹۱۵	۰/۲۶۹۳	۰/۲۳۴۷	SE

نمودار جذب نیکل توسط آفتابگردان در کلاس C قرار گرفت (شکل ۱۱). کلاس C نشان‌دهنده توزیع ثابت است، یعنی یون‌ها یا مولکول‌های نیکل بین سطح آفتابگردان و محلول به‌طور خطی توزیع می‌شوند. مدل فروندلیچ در جاذب آفتابگردان دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری نسبت به مدل لانگمویر می‌باشد، در نتیجه مدل فروندلیچ جذب سطحی نیکل توسط آفتابگردان را بهتر توصیف می‌کند. بر اساس معادله لانگمویر، حداکثر میزان جذب نیکل (q_{max}) به ازای واحد جرم آفتابگردان ۱۸/۵۴ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد (جدول ۲).

قابلیت ضایعات گیاهی مختلف در حذف فلزات سنگین در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. شوکلا و پای^۱ (۲۰۰۵)، از الیاف کنف هندی^۲ برای حذف نیکل از پساب استفاده کردند. q_{max} معادله لانگمویر که نشان‌دهنده حداکثر ظرفیت جذب جاذب است برای حذف نیکل ۳/۳۷ mg/g محاسبه شد [۵۶]. رحمان^۳ و همکاران (۲۰۰۵)، از خاکاره گیاه *Dalbergia Sissoo* که به‌وسیله هیدروکسید سدیم اصلاح شد برای حذف نیکل از محلول‌های آبی استفاده کردند. با توجه به معادله لانگمویر، حداکثر ظرفیت جذب این



شکل ۱۱: جذب نیکل توسط آفتابگردان
Fig. 11. Nickel adsorption by sunflower

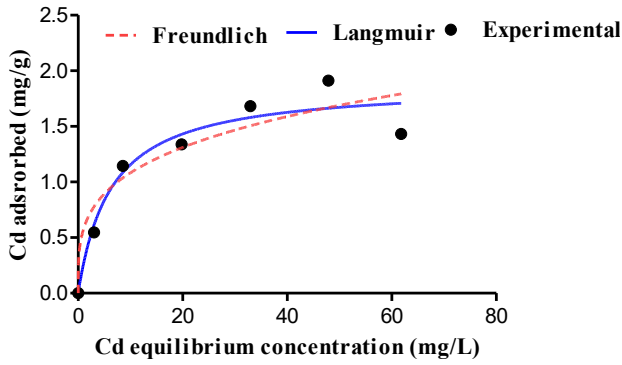
یعنی سایت‌های جذبی سیلت کمتر از سایت‌های جذبی دیاتومیت هستند و سیلت در غلظت پایین‌تری نسبت به دیاتومیت اشباع می‌شود و میزان جذب کمتری نسبت به دیاتومیت دارد. داده‌های حاصل از جذب نیکل توسط سیلت برازش بهتری با مدل فروندلیچ نسبت به مدل لانگمویر نشان دادند، در نتیجه معادله فروندلیچ جذب سطحی نیکل توسط سیلت را بهتر توصیف می‌کند. بر اساس معادله لانگمویر، حداکثر میزان جذب نیکل (q_{max}) به ازای واحد جرم سیلت ۲/۶۱ میلی‌گرم در گرم محاسبه شد (جدول ۲).

(ج) ساقه آفتابگردان

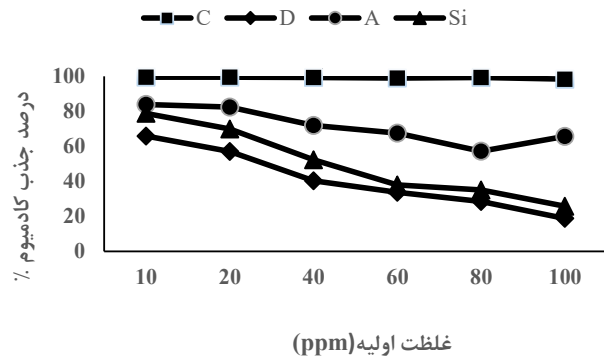
1 Shukla and pai

2 Jute

3 Rahman



شکل ۱۳: نمودار جذب کادمیوم توسط دیاتومیت
Fig. 13. Cadmium adsorption by diatomite



شکل ۱۲: تأثیر غلظت اولیه کادمیوم بر راندمان حذف آن توسط ذرات سازنده بتن
Fig. 12. Effect of initial cadmium concentration on its removal efficiency by concrete particles

هر چه بیشتر باشد تمایل جذب یک جاذب به جذب بیشتر است. بیشترین ظرفیت جذب مربوط به ساقه آفتابگردان و بیشترین تمایل جذب مربوط به سیلت است. مقادیر K_f و N ثابت‌های مدل فروندلیچ هستند. K_f (L/mg) بیان‌کننده مقدار جذب جاذب به ازای هر واحد غلظت تعادل است و N معیاری از انحنای معادله برازش یافته است که به‌عنوان شدت جذب شناخته می‌شود. انحراف N از واحد ($N < 1$) به جذب غیرخطی بر روی سطح غیر همگن اشاره می‌کند و با نزدیک شدن آن به سمت ۱ سطح جذب‌کننده همگن‌تر خواهد بود و چنانچه $N=1$ باشد فروندلیچ به هم‌دمای خطی تبدیل می‌شود که نشانگر مکان‌های جذب کاملاً مشابه است [۶۰].

۴-۲-۳- فلز سنگین کادمیوم

اثر غلظت اولیه بر میزان جذب کادمیوم توسط ذرات تشکیل دهنده بتن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با افزایش غلظت اولیه، میزان جذب برای تمامی جاذب‌ها کاهش یافت. به‌طور مثال، با افزایش غلظت اولیه کادمیوم از ۱۰ به ۲۰ ppm، راندمان جذب سیلت از ۷۸/۸ به ۷۰ درصد کاهش یافت. در غلظت‌های پایین، نسبت مکان‌های جذب به یون جذب‌شونده زیاد و گونه‌های کادمیوم با گروه‌های عاملی سطح جاذب‌ها حداکثر برهم‌کنش را داشته و لذا راندمان جذب بیشترین مقدار است. در غلظت‌های بالاتر، به دلیل اشباع شدن مکان‌های جذب، راندمان جذب نیز کاهش یافته است [۶۱]. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود راندمان جذب سیمان و آفتابگردان در غلظت‌های پایین بیشتر از سیلت و دیاتومیت

جاذب برای نیکل $10/47 \text{ mg/g}$ محاسبه گردید [۵۷]. حداکثر میزان جذب نیکل توسط آفتابگردان $18/54$ میلی‌گرم در گرم اندازه‌گیری شد که در مقایسه با کف هندی ($3/37 \text{ mg/g}$) و خاکاره گیاه *Dalbergia Sissoo* ($10/47 \text{ mg/g}$) عملکرد بهتری داشت.

(د) سیمان

به دلیل فرآیند جذب سطحی و رسوب ناشی از pH بالای سیمان، نیکل در تمامی غلظت‌ها به‌صورت صد درصد توسط سیمان حذف شد. گودرزی و اکبری (۱۳۹۶) جذب سرب توسط سیمان و اسمکتیت را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت مشخص شد سیمان از توانایی زیادی در جذب سرب برخوردار است. به‌طوری‌که در مقادیر یکسان ماده جاذب و با افزایش غلظت سرب، میزان جذب سیمان تقریباً ۱۵ برابر اسمکتیت بود [۵۸]. گودرزی و زمانیان (۱۳۹۶) گزارش کردند افزودن سیمان به خاک آلوده به نیکل تا حد زیادی می‌تواند باعث کاهش غلظت آزاد فلز سنگین در خاک شود [۵۹].

۳-۲-۳- مقایسه جذب نیکل توسط سه جاذب دیاتومیت، سیلت و آفتابگردان

از مقایسه ضرایب هم‌بستگی و خطای به‌دست‌آمده از برازش مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ با توجه به جدول ۲ نتیجه می‌شود که جذب نیکل توسط هر سه جاذب از هر دو هم‌دمای تبعیت می‌کند. در معادله لانگمویر، q_{max} (mg/g) حداکثر ظرفیت جذب برای یک‌لایه جاذب را نشان می‌دهد و هر چه بالاتر باشد، یعنی جاذب عملکرد بهتری داشته است. K_1 (L/mg) تمایل جذب را نشان می‌دهد و

جدول ۳: ثابت‌ها، ضرایب تشخیص و خطای برازش یافته از مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ بر داده‌های حاصل از جذب کادمیوم توسط دیاتومیت، آفتابگردان و سیلت

Table 3. Constants, detection coefficients, and error of Langmuir and Freundlich fitting models on cadmium adsorption data by diatomite, sunflower, and silt

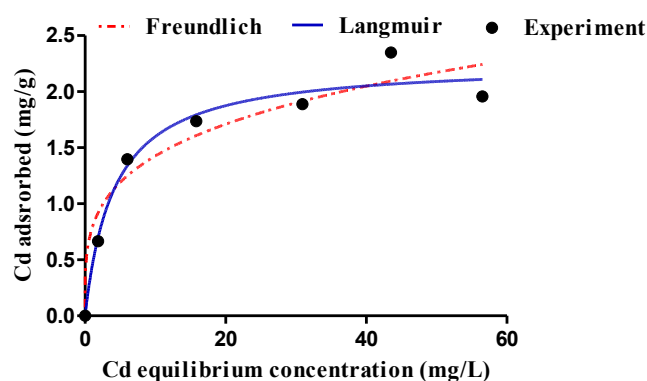
سیلت	آفتابگردان	دیاتومیت	نوع جاذب
			لانگمویر
۰/۲۴۰۸	۰/۰۸۰۹۶	۰/۱۵۹۲	k_l (L mg ⁻¹)
۲/۲۶۴	۶/۲۲۵	۱/۸۸۲	q_{max} (mg g ⁻¹)
۰/۹۷۰۱	۰/۹۴۶۰	۰/۹۳۸۲	R ²
۰/۱۵۵۶	۰/۴۵۰۷	۰/۱۸۱۵	SE
			فروندلیچ
۰/۷۸۱۸	۰/۷۷۷۷	۰/۵۷۲۰	k_f (L mg ⁻¹)
۰/۲۶۱۲	۰/۵۲۱۸	۰/۲۷۶۹	N
۰/۹۳۸۹	۰/۹۴۶۹	۰/۸۹۲۸	R ²
۰/۲۲۲۵	۰/۰۴۴۶۷	۰/۲۳۹۱	SE

۵-۲-۳- هم‌دم‌های جذب کادمیوم توسط اجزای تشکیل دهنده بتن

الف) دیاتومیت

نمودار جذب کادمیوم توسط دیاتومیت در کلاس L قرار گرفت (شکل ۱۳). یعنی در غلظت‌های پایین دیاتومیت که هنوز سایت‌های جذبی اشباع نشده‌اند، تمایل جذب کادمیوم توسط دیاتومیت زیادتر است و با افزایش غلظت کادمیوم این سایت‌ها اشباع شده و تمایل برای جذب کاهش می‌یابد. معادله لانگمویر جذب سطحی کادمیوم توسط دیاتومیت را بهتر توصیف می‌کند. بر اساس معادله لانگمویر، حداکثر میزان جذب کادمیوم (q_{max}) به ازای واحد جرم دیاتومیت ۱/۸۸۲ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد (جدول ۳).

خرایشه^۱ و همکاران (۲۰۰۴)، بر روی خواص جذبی دیاتومیت خام و دیاتومیت اصلاح‌شده با اکسید منگنز کار کردند. آزمایشات نشان داد دیاتومیت خام و دیاتومیت اصلاح‌شده با اکسید منگنز جاذب‌های خوبی برای حذف یون‌های مس، سرب و کادمیوم از محلول‌های آبی هستند. با توجه به معادله لانگمویر، حداکثر ظرفیت جذب کادمیوم توسط دیاتومیت خام ۱۶/۰۸ mg/g و برای دیاتومیت اصلاح‌شده



شکل ۱۴: نمودار جذب کادمیوم توسط سیلت
Fig. 14. Cadmium adsorption by silt

است. با افزایش غلظت اولیه و در غلظت ۱۰۰ ppm بیشترین و کمترین راندمان جذب به ترتیب در سیمان و دیاتومیت مشاهده گردید. بنابراین در محیط‌های که غلظت کادمیوم بسیار زیاد باشد استفاده از مواد سیمانی توصیه می‌گردد. تفاوت در کارایی حذف کادمیوم توسط جاذب‌های مختلف در شرایط آزمایشگاهی یکسان می‌تواند ناشی از ساختار شیمیایی متفاوت جاذب‌ها و برهم کنش آن‌ها با جذب شونده‌های مختلف باشد [۵۳].

جدول ۴: مقایسه حداکثر جذب جاذبهای مختلف
Table 4. Comparison of maximum adsorption of different adsorbents

نوع جاذب	فلز سنگین	حداکثر ظرفیت جذب (میلی گرم بر گرم)	مرجع
ساقه آفتابگردان	کادمیوم	۸/۹۰۵	سپهر و توسن [۳۱]
بقایای هرس سیب	کادمیوم	۸/۱۵۵	سپهر و توسن [۳۱]
بقایای هرس انگور	کادمیوم	۷/۸۹۵	سپهر و توسن [۳۱]
ساقه آفتابگردان	کادمیوم	۶/۲۲۵	مطالعه حاضر
پوسته فندق	نیکل	۷/۶۸	محمدی گلهزن [۶۸]
پوسته بادام	نیکل	۵/۳۴	محمدی گلهزن [۶۸]
ساقه آفتابگردان	نیکل	۱۸/۵۴	مطالعه حاضر
دیاتومیت اصلاح شده با EDTA	نیکل	۳/۶۴	شا ^۱ و همکاران [۶۹]
دیاتومیت	کادمیوم	۱۶	الدقس ^۲ و همکاران [۷۰]
دیاتومیت	کادمیوم	۱/۸۸	مطالعه حاضر
دیاتومیت	نیکل	۲/۸۵	مطالعه حاضر

در نتیجه معادله لانگمویر جذب سطحی کادمیوم توسط سیلت را بهتر توصیف می‌کند. بر اساس معادله لانگمویر، حداکثر میزان جذب کادمیوم (q_{max}) به ازای واحد جرم سیلت ۲/۲۶۴ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد (جدول ۳).

ج) ساقه آفتابگردان

نمودار جذب کادمیوم توسط آفتابگردان در کلاس L قرار دارد (شکل ۱۵). اما هرچند با افزایش غلظت، تمایل جذب (شیب نمودار) کاهش یافته است، اما هنوز این تمایل به صفر نرسیده است و آفتابگردان در غلظتهایی بالاتر از ۱۰۰ ppm نیز قادر به جذب میزان قابل توجهی کادمیوم خواهد بود. آفتابگردان تمایل جذب بالاتری در غلظت‌های بالای کادمیوم نسبت به جاذب‌های قبلی

۲۷/۸۶ mg/g بود. دلیل جذب بالاتر دیاتومیت اصلاح شده با اکسید منگنز سطح ویژه بیشتر آن نسبت به دیاتومیت خام بود [۶۲]. با توجه به وجود پیک مربوط به کلسیت در آنالیز XRD می‌توان یکی از دلایل احتمالی جذب فلزات سنگین همچون کادمیوم را به تشکیل رسوبات هیدروکسیدی و کربناته فلزات سنگین نسبت داد [۶۳].

ب) سیلت

نمودار جذب کادمیوم توسط سیلت نیز در کلاس L قرار گرفت (شکل ۱۴). یعنی سیلت در غلظتی کمتر از ۱۰۰ ppm (ماکزیمم غلظت مورد آزمایش) اشباع شد (شیب نمودار در غلظت‌های بالا تقریباً صفر است). مدل لانگمویر برای جذب کادمیوم توسط سیلت دارای ضریب همبستگی بالاتری نسبت به مدل فروندلیچ می‌باشد،

جدول ۵: مقاومت فشاری، کششی و جذب نیکل و کادمیوم توسط نمونه بتنی شاهد و نمونه بتنی جاذب

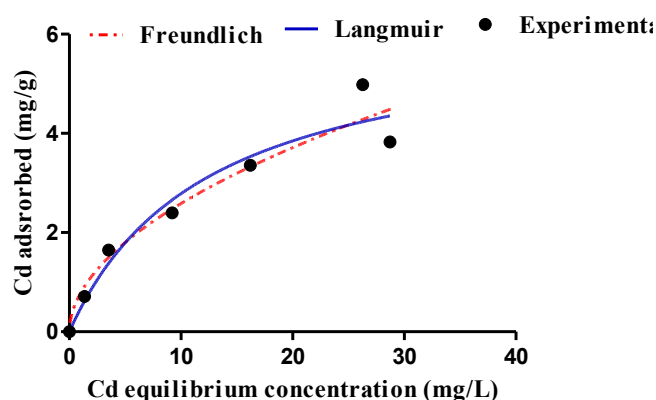
Table 5. Compressive strength, tensile strength, and adsorption of nickel and cadmium by control and adsorbent concrete sample

نمونه	نسبت آب به ریزدانه	سیمان Kg/m ³	دیاتومیت Kg/m ³	آفتابگردان Kg/m ³	سیلت Kg/ m ³	سنگدانه Kg/m ³	مقاومت فشاری Mpa	مقاومت کششی Mpa	جذب نیکل mg/kg	جذب کادمیوم mg/kg
۰A-۰D	۰/۹۴	۲۲۰	۰	۰	۲۲۵	۱۶۰۰	۵/۳	۰/۴۷	۷/۳۳	۸/۲
۵A-۲۰D	۱/۱	۱۷۶	۴۴	۲۳/۹	۲۲۵	۱۵۲۰	۴/۹	۰/۵	۷	۸/۹

در نهایت بررسی‌ها نشان داد بیشترین درصد حذف کادمیوم ۹۹/۲٪ و حداکثر ظرفیت جذب جاذب ۲۲/۷ mg/g بود [۶۴]. بنیاسا^۲ (۲۰۰۶)، از پوست باقلا خشک‌شده به‌عنوان جاذب برای حذف کادمیوم از محلول‌های آبی استفاده کرد. نتایج آزمایشات جذب با معادله فروندلیچ مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد پوست باقلا دارای جذب بسیار بالایی از کادمیوم است، به‌طوری‌که حداکثر ظرفیت جذب برای پوست باقلا ۱۴۷/۷ mg/g گزارش شد [۶۵]. اوزر و پیرینسی^۳ (۲۰۰۶)، جذب کادمیوم توسط سبوس گندم اصلاح‌شده با سولفوریک اسید را بررسی کردند و حداکثر جذب این جاذب برای یون کادمیوم را ۱۰۱ mg/g گزارش کردند [۶۶].

(د) سیمان

سیمان توانست تقریباً در همه غلظت‌های فلز سنگین کادمیوم، حذف ۱۰۰ درصدی داشته باشد. سیمان به دلیل pH بالا و سطح ویژه زیاد همواره به‌عنوان یک جاذب خوب برای فلزات سنگین عمل می‌کند. اوکی^۴ و همکاران (۲۰۰۷)، از ترکیب ژئولیت و سیمان پرتلند برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب استفاده کردند و ظرفیت جذب آن را با کربن فعال مقایسه کردند. حداکثر ظرفیت جذب ترکیب ژئولیت و سیمان برای روی ۱۲/۸۵ mg/g و برای کادمیوم ۱۰/۸۷ mg/g بود. ظرفیت جذب ترکیب ژئولیت و سیمان برای روی و کادمیوم تقریباً دو برابر کربن فعال بود [۶۷]. جذب کادمیوم توسط سیمان بسیار زیاد بود به‌طوری‌که تمامی کادمیوم محلول در تمامی غلظت‌ها توسط مکانیسم جذب سطحی و رسوب (به دلیل pH بالای سیمان) حذف گردید.



شکل ۱۵: جذب کادمیوم توسط ساقه آفتابگردان
Fig. 15. Cadmium adsorption by sunflower

دارد. برای جاذب آفتابگردان مدل فروندلیچ دارای ضریب هم‌بستگی بالاتری نسبت به مدل لانگمویر می‌باشد، در نتیجه معادله فروندلیچ جذب سطحی کادمیوم توسط آفتابگردان را بهتر توصیف می‌کند. بر اساس معادله لانگمویر، حداکثر میزان جذب کادمیوم (q_{max}) به ازای واحد جرم آفتابگردان ۶/۲۲۵ میلی‌گرم بر گرم محاسبه شد (جدول ۳). سپهر و توسن (۱۳۹۴) ظرفیت جذب سه جاذب ساقه آفتابگردان، بقایای هرس سیب و بقایای هرس انگور را در جذب کادمیوم بررسی کردند و توانایی بیشتر ساقه آفتابگردان در جذب کادمیوم را به سلولز و همی سلولز بیشتر این ترکیب نسبت دادند [۳۱].

ژنگ^۱ و همکاران (۲۰۱۰)، از ساقه ذرت برای جذب کادمیوم استفاده کردند. آزمایشات در محدوده pH بین ۳ تا ۷ انجام شد و اثر پارامترهایی چون pH و دوز جاذب مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌سازی ایزوترم جذب از طریق برازش معادله لانگمویر انجام شد.

2 Benaïssa
3 Özer and Pirincci
4 Ok

1 Zheng

۶-۲-۳- مقایسه جذب کادمیوم توسط سه جاذب دیاتومیت، سیلت و آفتابگردان

از مقایسه ضرایب همبستگی و خطای به دست آمده از برازش مدل‌های لانگمویر و فروندلیچ با توجه به جدول ۳ نتیجه می‌شود که جذب کادمیوم توسط هر سه جاذب دیاتومیت، آفتابگردان و سیلت از هر دو هم‌دما تبعیت می‌کند. از میان سه جاذب دیاتومیت، آفتابگردان و سیلت، آفتابگردان دارای q_{max} بیشتر و سیلت دارای بیشترین ثابت تمایل است.

۷-۲-۳- مقایسه حداکثر ظرفیت جذب جاذب های مورد بررسی در این مطالعه با دیگر جاذب ها

تحقیقات زیادی در مورد مقایسه ظرفیت جذب فلزات سنگین توسط جاذب های مختلف انجام شده است، اما به دلیل شرایط شیمیایی مختلف مورد استفاده در مطالعات مختلف، مقایسه حداکثر ظرفیت جذب جاذب ها و مقایسه آن ها با جاذب های مورد استفاده در این مطالعه مشکل است. برخی از مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از بقایای گیاهی در حذف دو فلز سنگین کادمیوم و نیکل در جدول ۴ آورده شده است. ظرفیت جذب کادمیوم توسط ساقه آفتابگردان و سایر ضایعات گیاهی در مطالعات مختلف ۹-۶ میلی گرم بر گرم گزارش شده است. حداکثر ظرفیت جذب کادمیوم توسط ساقه آفتابگردان مورد استفاده در این مطالعه نیز ۶/۲ میلی گرم بر گرم حاصل شد. حداکثر ظرفیت جذب نیکل توسط ساقه آفتابگردان مورد بررسی در این مطالعه نیز ۱۸/۵ میلی گرم بر گرم بود که نسبت به سایر جاذب های گیاهی مورد بررسی در مطالعات مختلف بسیار بیشتر بود. ظرفیت جذب دیاتومیت نیز برای هر دو عنصر نیکل و کادمیوم کمتر از دیگر مطالعات به دست آمد که احتمالاً ناشی از سطح ویژه کمتر و ناخالصی بیشتر دیاتومیت مورد استفاده در این مطالعه است.

۳-۳- جذب نیکل و کادمیوم توسط تکه های منظم بتن

قابلیت جذب دو فلز سنگین نیکل و کادمیوم توسط دو نمونه بتنی شاهد و بتن جاذب همراه با مقدار مقاومت فشاری و کششی آن ها با توجه به مقادیر سیمان، سیلت و سنگدانه در نظر گرفته شده برای بتن پلاستیک در جدول ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود بین توانایی جذب فلز نیکل توسط بتن شاهد و

بتن جاذب تفاوت معنی داری وجود ندارد، اما از نظر جذب کادمیوم، نمونه بتن جاذب توانست مقادیر بیشتری از کادمیوم را نسبت به بتن شاهد جذب کند. با توجه به اینکه جایگزینی سیمان و سنگدانه توسط دیاتومیت و ساقه آفتابگردان تاثیر منفی بر مقاومت فشاری و کششی بتن ایجاد نکرده است و بر اساس اینکه آلودگی ناشی از تولید و مصرف دیاتومیت نسبت به سیمان بسیار کمتر است می توان عنوان کرد استفاده از دیاتومیت به عنوان ماده جایگزین کننده سیمان که توانایی جذب فلزات سنگین را نیز داراست، توجیه پذیر است. ساقه آفتابگردان نیز یکی از ضایعات کشاورزی رایج است که معمولاً سوزانده می شود و آلودگی هوا را به دنبال دارد که با بازیافت و مصرف آن در بتن، می توان آلودگی های زیست محیطی ناشی از آن را کاهش داد.

۴- نتیجه گیری

مطالعات ریزساختاری پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان دهنده امکان استفاده از جاذب های دیاتومیت و ساقه آفتابگردان به دلیل دارا بودن ترکیبات سیلیسی و ساختار متخلخل به عنوان جاذب های مؤثر در تهیه بتن جاذب زیست سازگار بودند. در آزمایشات جذب اجزا تشکیل دهنده بتن، سیمان توانست نیکل و کادمیوم را در تمام غلظت-های مورد آزمایش (۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ppm) به طور کامل حذف کند. بعد از آن، آفتابگردان بهترین عملکرد را در جذب نیکل و کادمیوم داشت. دیاتومیت و سیلت به ترتیب در رده های بعدی جذب نیکل و کادمیوم قرار گرفتند. به طور کلی نتایج نشان دادند که می توان از ترکیبات طبیعی مانند دیاتومیت و ضایعات گیاهی مانند ساقه آفتابگردان به عنوان مواد جاذب در حوضچه ها و کانال های بتنی فاضلاب استفاده کرد.

۵- مراجع

- [1] C.F. Carolin, P.S. Kumar, A. Saravanan, G.J. Joshiba, M. Naushad, Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review, Journal of environmental chemical engineering, -2782 (2017) (3)5 2799.
- [2] Calzadilla, K. Rehdanz, R.S. Tol, Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis, Agricultural Economics, 323-305 (2011) (3)42.

- Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from coirpith, *Separation and Purification Technology*, 505-497 (2001) (3)24.
- [13] M. Visa, A. Duta, Cadmium and nickel removal from wastewater using modified fly ash: Thermodynamic and kinetic study, *Scientific Study and Research*, (2008) (1)9 77-73.
- [14] M. Tajik, Removal of Heavy Metals from Wastewater by Bio-Absorption Method, Master of Science thesis, Institute of Chemistry and Chemical Engineering of Iran, (2011). (in Persian)
- [15] U.K. Garg, M. Kaur, V. Garg, D. Sud, Removal of nickel (II) from aqueous solution by adsorption on agricultural waste biomass using a response surface methodological approach, *Bioresource technology*, -1325 (2008) (5)99 1331.
- [16] T. Aman, A.A. Kazi, M.U. Sabri, Q. Bano, Potato peels as solid waste for the removal of heavy metal copper (II) from waste water/industrial effluent, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 121-116 (2008) (1)63.
- [17] S.-C. Pan, C.-C. Lin, D.-H. Tseng, Reusing sewage sludge ash as adsorbent for copper removal from wastewater, *Resources, Conservation and Recycling*, -79 (2003) (1)39 90.
- [18] M. Malakootian, J. Nouri, H. Hossaini, Removal of heavy metals from paint industry's wastewater using Leca as an available adsorbent, *International Journal of Environmental Science and Technology*, -183 (2009) (2)6 190.
- [19] E. Malkoc, Y. Nuhoglu, Removal of Ni (II) ions from aqueous solutions using waste of tea factory: Adsorption on a fixed-bed column, *Journal of Hazardous Materials*, 336-328 (2006) (3-1)135.
- [20] B. Amarasinghe, R. Williams, Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 309-299 (2007) (3-1)132.
- [21] M. Mondal, Removal of Pb (II) ions from aqueous solution using activated tea waste: Adsorption on a fixed-bed column, *Journal of environmental management*, 3271-3266 (2009) (11)90.
- [3] M. Moslehi, M. Rafati, N. Moghimian, Urban Forestry, a low-cost method for removal of atmospheric pollution, in: *First Conference on Air and Sound Pollution Management*, Tehran, Iran, (2012). (in Persian)
- [4] P.S. Pirooz, Kh. Kalantari, F. Nasibi, Physiological Investigation of Sunflower Plant under Chromium Stress: Effect on Growth, Aggregation and Induction of Oxidative Stress in Sunflower Root (*Helianthus annuus*), *Iranian Journal of Plant Biology*, 86-73 (2012) (11)4. (in Persian)
- [5] M. Ulmanu, E. Marañón, Y. Fernández, L. Castrillón, I. Anger, D. Dumitriu, Removal of copper and cadmium ions from diluted aqueous solutions by low cost and waste material adsorbents, *Water, air, and soil pollution*, -1)142 373-357 (2003) (4).
- [6] M. Bazrafkan, A. Asrari, N. Moghimian, Investigation of chromium (VI) removal from sewage using modified concrete with the cayenne adsorbent, in: *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban development of Contemporary Iran*, Tehran, Iran, (2017). (in Persian)
- [7] T.A. Kurniawan, G.Y. Chan, W.-H. Lo, S. Babel, Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals, *Chemical Engineering Journal*, (2-1)118 98-83 (2006).
- [8] H.Z. Mousavi, S. Seyedi, Nettle ash as a low cost adsorbent for the removal of nickel and cadmium from wastewater, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 202-195 (2011) (1)8.
- [9] S.J. Kulkarni, D.J.P. Kaware, A review on research for cadmium removal from effluent, *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, (4)2 469-465 (2013).
- [10] F. Thévenod, W.-K. Lee, Toxicology of cadmium and its damage to mammalian organs, in: *Cadmium: From toxicity to essentiality*, Springer, (490-415 (2013
- [11] M. Jain, V. Garg, K. Kadirvelu, Cadmium (II) sorption and desorption in a fixed bed column using sunflower waste carbon calcium-alginate beads, *Bioresource technology*, 248-242 (2013) 129.
- [12] K. Kadirvelu, K. Thamaraiselvi, C. Namasivayam,

- removal of metal ions from wastewater, *Industrial & engineering chemistry research*, 1324–1238 (1998) (4)37.
- [33] M. Hossein Abadi, P. Sattari, Attitudes toward usage of diatomite minerals in the building industry, in: 2nd International Conference and 4th National Conference on Architecture, Restoration, Urbanism and Sustainable Environment, Hamedan, Iran, (2016). (in Persian)
- [34] E.L. de Godoi, M.C. Monje, N. Ortiz, Diatomite pellets to remove organic dye and lead ions from wastewater discharge, in: *Environmental and Health World Congress*, Santos, Brazil, (2006).
- [35] M. Šljivić, I. Smičiklas, S. Pejanović, I. Plećaš, Comparative study of Cu+2 adsorption on a zeolite, a clay and a diatomite from Serbia, *Applied Clay Science*, (1)43 40-33 (2009).
- [36] P. Miretzky, C. Munoz, E. Cantoral-Uriza, Cd+2 adsorption on alkaline-pretreated diatomaceous earth: equilibrium and thermodynamic studies, *Environmental Chemistry Letters*, 63-55 (2011) (1)9.
- [37] G. Sheng, S. Yang, J. Sheng, J. Hu, X. Tan, X. Wang, Macroscopic and microscopic investigation of Ni (II) sequestration on diatomite by batch, XPS, and EXAFS techniques, *Environmental science and technology*, 7726-7718 (2011) (18)45.
- [38] G. Sheng, H. Dong, Y. Li, Characterization of diatomite and its application for the retention of radiocobalt: role of environmental parameters, *Journal of environmental radioactivity*, 115-108 (2012) 113.
- [39] M. Aslam, P. Shafiqh, M.Z. Jumaat, M. Lachemi, Benefits of using blended waste coarse lightweight aggregates in structural lightweight aggregate concrete, *Journal of Cleaner Production*, 117-108 (2016) 119.
- [40] Oancea, C. Bujoreanu, M. Budescu, M. Benchea, C.M. Grădinaru, Considerations on sound absorption coefficient of sustainable concrete with different waste replacements, *Journal of Cleaner Production*, (2018) 203 312-301.
- [41] C.M. Helepciuc, M. Barbuta, A.A. Serbanoiu, Characterization of a lightweight concrete with sunflower aggregates, *Procedia Manufacturing*, 159-154 (2018) 22.
- [22] G. Annadurai, R. Juang, D. Lee, Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels, *Water science and technology*, 190-185 (2003) (1)47.
- [23] J. Anwar, U. Shafique, M. Salman, A. Dar, S. Anwar, Removal of Pb (II) and Cd (II) from water by adsorption on peels of banana, *Bioresource technology*, (2010) (6)101 1755-1752.
- [24] K.K. Krishnani, X. Meng, C. Christodoulatos, V.M. Boddu, Biosorption mechanism of nine different heavy metals onto biomatrix from rice husk, *Journal of Hazardous Materials*, 1234-1222 (2008) (3)153.
- [25] O. Olorundare, R. Krause, J. Okonkwo, B. Mamba, Potential application of activated carbon from maize tassel for the removal of heavy metals in water, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110-104 (2012) 50.
- [26] M. Abbas, S. Kaddour, M. Trari, Kinetic and equilibrium studies of cobalt adsorption on apricot stone activated carbon, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 751-745 (2014) (3)20.
- [27] K. Kadirvelu, C. Namasivayam, Activated carbon from coconut coirpith as metal adsorbent: adsorption of Cd (II) from aqueous solution, *Advances in Environmental Research*, 478-471 (2003) (2)7.
- [28] D. Mohan, K.P. Singh, Single-and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse—an agricultural waste, *Water research*, 2318-2304 (2002) (9)36.
- [29] H. Demiral, C. Güngör, Adsorption of copper (II) from aqueous solutions on activated carbon prepared from grape bagasse, *Journal of Cleaner Production*, (2016) 124 113-103.
- [30] T. Bohli, A. Ouederni, N. Fiol, I. Villaescusa, Evaluation of an activated carbon from olive stones used as an adsorbent for heavy metal removal from aqueous phases, *Comptes rendus chimie*, 99-88 (2015) (1)18.
- [31] Sepehr, A. Tosan, Removal efficiency of some organic sorbents in removing of cadmium from aqueous solution, *Journal of natural environment (Iranian journal of natural resources)*, 594-583 (2016) (4)68. (in Persian)
- [32] G. Sun, W. Shi, Sunflower stalks as adsorbents for the

- using raw and modified diatomite, *Chemical Engineering Journal*, 184-177 (2004) (2)99.
- [53] Taha, A. Dakrouy, G. El-Sayed, S. El-Salam, Assessment removal of heavy metals ions from wastewater by cement kiln dust (CKD), *Journal of American Science*, (12)6 917-910 (2010).
- [54] M. Farasati, M. Seyedian, S. Boroomandnasab, N. Jaafarzadeh, H. Moazed, H. Ghamarnia, Batch and column studies on the evaluation of micrometer and nanometer *Phragmites australis* for nitrate removal, *Desalination and Water Treatment*, 5872-5863 (2013) (30-28)51.
- [55] M.A. Al-Ghouti, M.A. Khraisheh, M. Tutuji, Flow injection potentiometric stripping analysis for study of adsorption of heavy metal ions onto modified diatomite, *Chemical Engineering Journal*, 91-83 (2004) (3-1)104.
- [56] S. Shukla, R.S. Pai, Adsorption of Cu (II), Ni (II) and Zn (II) on modified jute fibres, *Bioresource Technology*, 1438-1430 (2005) (13)96.
- [57] H. Rahman, M. Shakirullah, I. Ahmad, S. Shah, A. Shah, Removal of copper (II) ions from aqueous medium by sawdust of wood, *JOURNAL-CHEMICAL SOCIETY OF PAKISTAN*, 233 (2005) (3)27.
- [58] A.R. Goodarzi, H.R. Akbari Comparing the performance of cement and smectite in heavy metals removal from lead contaminated soils, *Environmental science and technology*, 156-143 (2017) (5)19. (in Persian)
- [59] A.R. Goodarzi, M. Zamanian, Effect of SiO₂ Nanoparticles and Cement on the Performance of Stabilized Ni-Contaminated Clayey Soils, *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 830-821 (2018) (4)49. (in Persian)
- [60] M. Essington, *Soil and water chemistry: An integrative approach*, CRC Press, Boca Raton, FL, (2004).
- [61] H. Karami, Heavy metal removal from water by magnetite nanorods, *Chemical Engineering Journal*, -209 (2013) 219 216.
- [62] M.A. Khraisheh, Y.S. Al-degs, W.A. McMinn, Remediation of wastewater containing heavy metals using raw and modified diatomite, *Chemical Engineering Journal*, 184-177 (2004) (2)99.
- [63] M.I. Al-Wakeel, Characterization and process [42] Z. Ahmadi, J. Esmaeili, J. Kasaei, R. Hajialioghli, Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite, *Sustainable Materials and Technologies*, 53-47 (2018) 16.
- [43] V. Letelier, E. Tarela, P. Muñoz, G. Moriconi, Assessment of the mechanical properties of a concrete made by reusing both: Brewery spent diatomite and recycled aggregates, *Construction Building Materials*, (2016) 114 498-492.
- [44] Ergün, Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete, *Construction and Building Materials*, 812-806 (2011) (2)25.
- [45] C.M. Helepciuc, M. Barbuta, A.A. Serbanoiu, Characterization of a lightweight concrete with sunflower aggregates, *Procedia Manufacturing*, 159-154 (2018) 22.
- [46] Oancea, C. Bujoreanu, M. Budescu, M. Benchea, C.M. Grădinaru, Considerations on sound absorption coefficient of sustainable concrete with different waste replacements, *Journal of Cleaner Production*, (2018) 203 312-301.
- [47] V. Nozahic, S. Amziane, G. Torrent, K. Saïdi, H. De Baynast, Design of green concrete made of plant-derived aggregates and a pumice-lime binder, *Cement and Concrete Composites*, 241-231 (2012) (2)34.
- [48] G. Limousin, J.-P. Gaudet, L. Charlet, S. Szenknect, V. Barthes, M. Krimissa, Sorption isotherms: a review on physical bases, modeling and measurement, *Applied Geochemistry*, 275-249 (2007) (2)22.
- [49] M. Ahmaruzzaman, Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: a review, *Advances in colloid and interface science*, 67-48 (2008) (2-1)143.
- [50] Y.-F. Pan, C.T. Chiou, T.-F. Lin, Adsorption of arsenic (V) by iron-oxide-coated diatomite (IOCD), *Environmental Science and Pollution Research*, 1410-1401 (2010) (8)17.
- [51] E.E. ElSayed, Natural diatomite as an effective adsorbent for heavy metals in water and wastewater treatment (a batch study), *Water Science*, 43-32 (2018) (1)32.
- [52] M.A. Khraisheh, Y.S. Al-degs, W.A. McMinn, Remediation of wastewater containing heavy metals

- cement mixture, *Journal of Hazardous Materials*, (2-1)147 96-91 (2007).
- [68] M. Mohammadi Galehzan, Comparison of Active Carbon, Sawdust, Almond Shell and Hazelnut Shell Absorbent in Removal of Nickel from Aqueous Environment, University of Zabol, 2010. (in Persian)
- [69] H. Sha, Y. Wu, Y. Fan, Utilization of industrial waste as a novel adsorbent: Mono/competitive adsorption of chromium(VI) and nickel(II) using diatomite waste modified by EDTA, *Applied Organometallic Chemistry*, 2018) (1)32) e3977.
- [70] Y.S. Al-Degs, M.F. Tutunju, R.A. Shawabkeh, The feasibility of using diatomite and Mn-diatomite for remediation of Pb+2, Cu+2, and Cd+2 from water, *Separation Science and Technology*, 2310-2299 (2000) (14)35.
- development of the Nile diatomaceous sediment, *International Journal of Mineral Processing*, (2009) (3)92 136-128.
- [64] L. Zheng, Z. Dang, C. Zhu, X. Yi, H. Zhang, C. Liu, Removal of cadmium (II) from aqueous solution by corn stalk graft copolymers, *Bioresource technology*, (15)101 5826-5820 (2010).
- [65] H. Benaïssa, Screening of new sorbent materials for cadmium removal from aqueous solutions, *Journal of Hazardous Materials*, 195-189 (2006) (2)132.
- [66] Özer, H. Pirincci, The adsorption of Cd (II) ions on sulphuric acid-treated wheat bran, *Journal of Hazardous Materials*, 855-849 (2006) (2)137.
- [67] Y.S. Ok, J.E. Yang, Y.-S. Zhang, S.-J. Kim, D.-Y. Chung, Heavy metal adsorption by a formulated zeolite-Portland

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

S. Bakhtiari, F. Sotoodehnia, M. Shahrashoub, T. Amiri, H. Abbaslou, Removal of Nickel and Cadmium using Diatomite, Silt, Sunflower stem and Cement (Green Concrete Components), *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(8) (2020) 1953-1970.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15746.6018](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15746.6018)

