

## جذب بیولوژیکی اورانیوم در حضور یون های کلسیم، منیزیم و کروم(VI) توسط مخمر نان تثبیت شده

نسرین خدایانه<sup>۱</sup>، علیرضا کشتکار<sup>۲\*</sup>، محمد مهدی منتظر رحمتی<sup>۱</sup>

۱- دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی، صندوق پستی ۴۵۶۳-۱۱۳۶۵

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، معاونت تحقیقات و فن آوری، مرکز فن آوری

هسته‌ای، صندوق پستی ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵

### چکیده

جذب بیولوژیکی فلزات سنگین یک روش مؤثر برای جداسازی و بازیابی فلزات سنگین از محلول های آبی می باشد. پساب های معدنی و هسته ای مقادیر زیادی اورانیوم وارد محیط زیست می کنند. وجود مقادیر کمی از اورانیوم طبیعی در آب های سطحی علی رغم رادیواکتیویته ضعیف آن به خاطر مسمومیت زایی بالا خطرات زیادی به همراه دارد. در این کار، جذب بیولوژیکی اورانیوم توسط مخمر نان تثبیت شده، مخمر نان و آلزینات کلسیم بررسی شد. تأثیر pH بر میزان جذب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که ماکزیمم میزان جذب اورانیوم توسط مخمر نان تثبیت شده در غلظت اولیه  $50 \text{ mg/l}$  برابر  $36 \text{ mg/g}$  و pH بهینه ۵ می باشد. تأثیر حضور یون های کلسیم، منیزیم و کروم (VI) نیز بر میزان جذب بررسی شد و کروم (VI) بیشترین تأثیر را بر میزان جذب اورانیوم داشت. کمترین تأثیر نیز مربوط به یون های منیزیم بود.

کلمات کلیدی: جذب بیولوژیکی، اورانیوم، مخمر تثبیت شده، سختی آب، کروم(VI).

### مقدمه

از آنجایی که فلزات سنگین سمی می باشند، رها کردن آنها در محیط بدلیل فعالیتهای صنعتی یک خطر جدی برای زندگی موجودات زنده محسوب می شود [۱]. فلزات سنگین از صنایع مختلفی نظیر استخراج فلزات از معادن، آب کاری، روکش کردن فلزات، باطری سازی و صنایع هسته ای و تولید انرژی هسته ای وارد آب می شوند [۲، ۳]. صنایع هسته ای و معادن اورانیوم مقادیر زیادی اورانیوم وارد محیط زیست می کنند. اورانیوم از خطرناکترین فلزات آلاینده می باشد که علاوه بر خاصیت رادیواکتیویته که تهدیدی برای محیط زیست می باشد، بسیار سمی است [۴].

در مورد پساب های رقیق استفاده از روش هایی نظیر اسمز معکوس، تبادل یونی، تبخیر، جداسازی با غشاء... پرهزینه و ناکارآمد می باشند. روش جذب بیولوژیکی فلزات برتری های متعددی نسبت به روش

\* keshtkar11148@yahoo.com

های معمول دارد. برای مثال این فرایند لجن شیمیایی تولید نمی کند، انتخاب پذیر می باشد، بازدهی بالا دارد و بدلیل سادگی عملیات برای تصفیه حجم زیادی از فاضلاب ها بسیار کم هزینه می باشد [۱، ۵، ۶]. سطوح سلولی همه میکرواورگانسیم ها بدلیل ساختار آنیونی، بار منفی دارد. این خاصیت به میکرواورگانسیم ها توانایی پیوند با کاتیون های فلزی را می دهد [۳]. بدلیل ناهمگنی فرایندهای تولید کمتر اتفاق می افتد که گونه های فلزات سنگین به تنهایی در پساب ها وجود داشته باشند. در چنین شرایطی یافتن یک بیوجاذب انتخاب پذیر بسیار ضروری به نظر می رسد.

اگر چه در مطالعات پیشین جذب اورانیوم توسط بیوماس های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۷-۱۰]، اما در این مطالعات، اثر حضور فلزات دیگر یا در نظر گرفته نشده یا بصورت اجمالی و در غلظتی مشخص بررسی شده است. هدف از کار حاضر ارزیابی توان و ظرفیت مخمرنان تثبیت شده در جذب بیولوژیکی اورانیوم و بررسی عواملی نظیر pH، دما، زمان تعادل، غلظت اولیه فلز و حضور فلزاتی نظیر کروم (شش ظرفیتی)، کلسیم و منیزیم در میزان جذب اورانیوم بر روی مخمرنان می باشد.

## روش کار

### جاذب مورد استفاده و آماده سازی آن:

در آزمایش ها مخمرنان به فرم تجاری و غیرزنده به عنوان جاذب بیولوژیکی استفاده شده است. برای تثبیت مخمر از پایه آلزینات کلسیم استفاده شده است. آلزینات یک پلیمر طبیعی است و برخی خواص آن نظیر آب دوستی، تخریب پذیری بیولوژیکی، چگالی پایین و پایداری مکانیکی در pH ۳ تا ۸ سبب شده است که برای تثبیت استفاده شود [۱۱، ۱۲].

برای تثبیت مخمرنان از شیوه مورد استفاده در مطالعات قبلی کمک گرفته شده است [۱۱]. برای بدست آوردن جاذب هایی باندازه مشخص از دستگاه هاون جهت خرد کردن و از مش های با قطر مشخص جهت دانه بندی استفاده شده است. در تمام آزمایش ها از دانه های مخمرنان تثبیت شده باندازه مش ۰/۸-۰/۵ میلی متر استفاده شده است.

### مواد مورد نیاز:

در آزمایش ها از مواد شیمیایی ساخت شرکت مرک آلمان که شامل پودر اورانیل نترات جهت تهیه محلول های حاوی یون اورانیوم، آلزینات سدیم جهت تثبیت مخمر، کلرید کلسیم  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، کلرید منیزیم  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  و دی کرومات پتاسیم  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  جهت بررسی تأثیر یون ثانویه بر میزان جذب اورانیوم و اسید کلریدریک و سود ۰/۱ نرمال جهت تنظیم pH استفاده شده است.

### مطالعات جذب:

ساده ترین سیستم جذب بیولوژیکی سیستمی شامل یک یون فلزی است. با نوشتن موازنه جرمی روی فلز موجود بین محلول و سطح جاذب رابطه زیر بدست می آید [۱]:

$$S_q + C_f = C_i \quad (1)$$

که در این رابطه  $C_i$  و  $C_f$  به ترتیب غلظت اولیه و نهایی یا تعادلی فلز در محلول و واحد آن میلی گرم فلز بر لیتر می باشد.  $S$  غلظت بیوماس بر حسب گرم بر لیتر و  $q$  میزان جذب فلز مورد بررسی بر حسب میلی گرم فلز بر گرم بیوماس می باشد.

برای بررسی اثر یون های رقیب بر میزان جذب اورانیوم، غلظت های مورد نظر از این یون ها به محلول حاوی یون اورانیوم افزوده گردید.

غلظت یون های کلسیم و منیزیم در این آزمایش ها معادل غلظت این یون ها در آب های نرم، سخت و آب شهری انتخاب گردید. غلظت کلسیم در این آب ها به ترتیب حدود ۱۰۰، ۱۰۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر و در مورد منیزیم به ترتیب حدود ۳۰، ۳۰۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشد. غلظت یون کروم با توجه به ساختار پساب های حاصل از واحد های صنعتی فراوری شیمیایی در محدوده ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر انتخاب شد.

تمام آزمایش ها در ارلن مایر های ۲۵۰ میلی لیتری که حاوی ۱۰۰ میلی لیتر محلول فلزات مورد نظر با غلظت مشخص و ۰/۱ گرم بیو جاذب بود، در دستگاه شیکر انکوباتور<sup>۱</sup> و در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و سرعت ۱۵۰ rpm انجام گرفت. در طول آزمایش ها به منظور تنظیم pH از محلول های اسید کلریدریک و سود ۰/۱ نرمال استفاده شد. آنالیز فلزات مورد نظر و تنظیم pH به ترتیب توسط دستگاه های ICP- AES<sup>۲</sup> و pH متر دیجیتالی صورت گرفت.

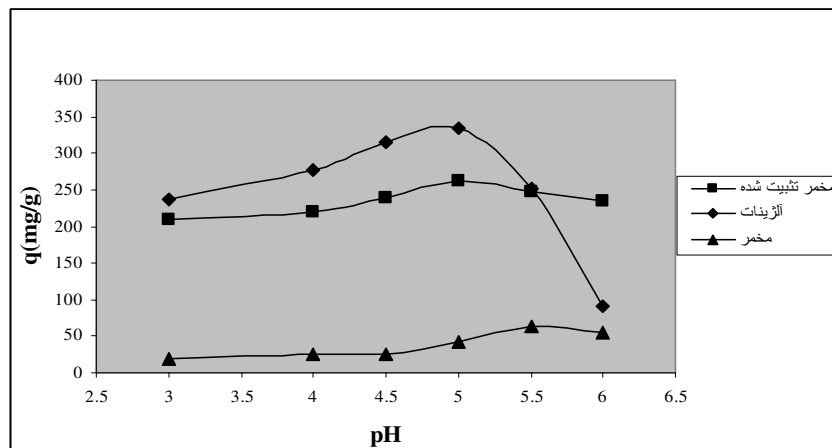
## نتایج

### اثر pH

pH اولیه محلول نقش قابل توجهی در میزان جذب فلزات هم از طریق تأثیر بر شیمی سطح بیوجاذب و هم از طریق تأثیر بر شیمی محلول حاوی یون فلزی دارد [۸]. جذب اورانیوم توسط مخمرنان تثبیت شده، مخمرنان به تنهایی و آلژینات کلسیم در محدوده pH بین ۳ تا ۶ در شکل (۱) بررسی شد. میزان pH بهینه به ترتیب ۵، ۵/۵ و ۵ می باشد. در pH بالای ۶ یون های اورانیوم رسوب می نماید و امکان بررسی وجود ندارد. در مورد اورانیوم می توان گفت دلیل تشکیل یونهای تک ظرفیتی  $(UO_2)_3(OH)_5^+$  و  $UO_2OH^+$  به جای یون دو ظرفیتی  $UO_2^{2+}$  در pH های بالاتر (۴ تا ۵) که میل ترکیبی بیشتری دارند جذب بیشتری نسبت به pH های پایین صورت می گیرد [۸].

<sup>۱</sup> Shaker Incubator

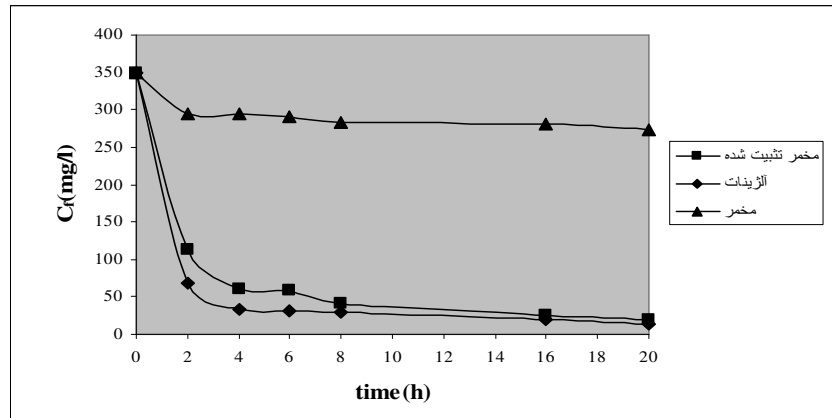
<sup>۲</sup> Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer



شکل ۱- اثر pH اولیه بر میزان جذب اورانیوم توسط مخمر نان تثبیت شده، مخمر نان و آلژینات کلسیم  
( $S=1\text{ g/l}$ ,  $C_i=350\text{ mg/l}$ ,  $T=30^\circ\text{C}$ )

### اثر زمان تعادل

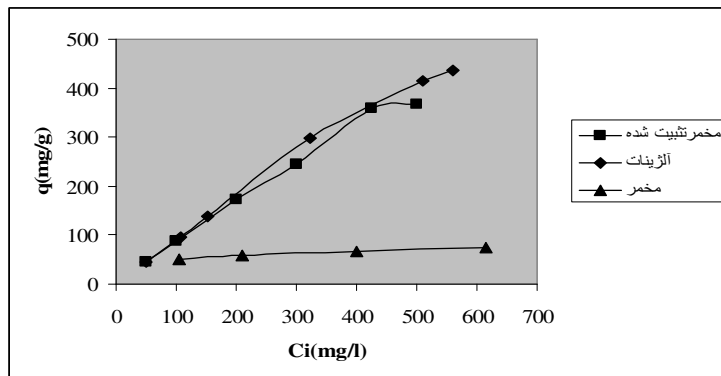
برای انجام آزمایش های تعادلی ابتدا باید دریافت که آزمایش مورد نظر طی چه مدت زمانی به حالت تعادل می رسد. در شکل (۲) تغییرات میزان غلظت اورانیوم با زمان به ازای غلظت اولیه اورانیوم  $350\text{ mg/l}$  در pH بهینه برای مخمر نان تثبیت شده و آلژینات کلسیم و مخمر نان ارائه شده است. با توجه به نمودار می توان دریافت که در زمانی معادل ۴ ساعت میزان غلظت اورانیوم در محلول تقریباً به یک مقدار ثابتی رسیده است.



شکل ۲- نمودار زمان تعادل جذب اورانیوم توسط مخمر نان تثبیت شده، مخمر نان و آلژینات کلسیم در pH بهینه  
( $S=1\text{ g/l}$ ,  $T=30^\circ\text{C}$ ,  $C_i=350\text{ mg/l}$ )

### اثر غلظت اولیه یون اورانیوم

باتغییر غلظت اولیه اورانیوم میزان جذب تغییر می کند. هر چه مقدار غلظت اولیه اورانیوم افزایش یابد، میزان جذب نیز افزایش می یابد تا به میزان ثابتی می رسد که نشان از پر شدن سایت های جذب روی بیوجاذب دارد. در غلظت های پایین تفاوت چندانی بین مخمر نان تثبیت شده و آلژینات کلسیم مشاهده نمی شود. این نتایج در شکل (۳) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود میزان جذب مخمر نان زمانیکه تثبیت می-شود، به شدت بهبود می یابد و علاوه بر پایداری مکانیکی، بر نحوه عملکرد بیوجاذب تأثیر مثبت دارد.

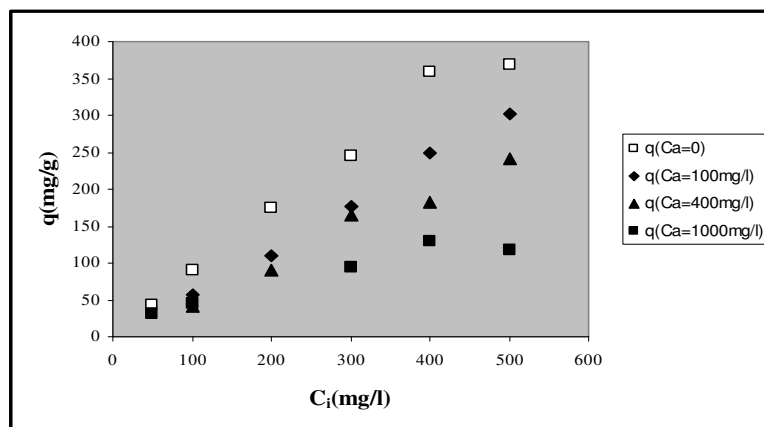


شکل ۳- نمودار اثر غلظت اولیه بر میزان جذب اورانیوم توسط مخمرنان تثبیت شده، مخمرنان و آلژینات کلسیم در pH بهینه  
(S=1g/l, T=30°C)

همانطور که از نمودار پیدا می باشد، حداکثر میزان جذب اورانیوم توسط مخمرنان تثبیت شده در غلظت اولیه ۵۰۰ mg/l برابر ۳۶۰ mg/g می باشد.

#### اثر حضور یون رقیب بر میزان جذب اورانیوم:

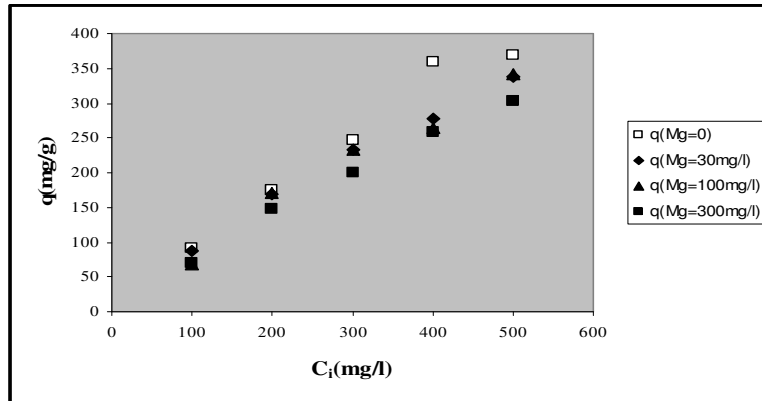
اثر یون های  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$  و  $Cr(VI)$  بر میزان جذب بیولوژیکی اورانیوم توسط مخمرنان تثبیت شده به ترتیب در شکل های (۵)، (۶) و (۷) ارائه شده است. برای بررسی دقیق تر جذب اورانیوم در مخلوط های دو جزئی، غلظت اورانیوم از ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر تغییر داده شد، در حالیکه غلظت یون های رقیب در هر محیط جذب ثابت نگهداشته شد. همانطور که مشاهده می شود حضور یون های ثانویه منجر به کاهش قابل توجه میزان جذب اورانیوم می گردد. به ازای غلظت اولیه ۵۰۰ mg/l جذب اورانیوم در حضور یون کلسیم با غلظت های ۱۰۰، ۴۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب ۳۰۲/۷، ۲۴۰/۲ و ۱۱۷ میلی گرم بر گرم،



شکل ۵- نتایج تجربی میزان جذب اورانیوم در سیستم دو جزئی اورانیوم-کلسیم توسط مخمرنان تثبیت شده

$$(T=30^{\circ}C, pH=5, S=1g/l)$$

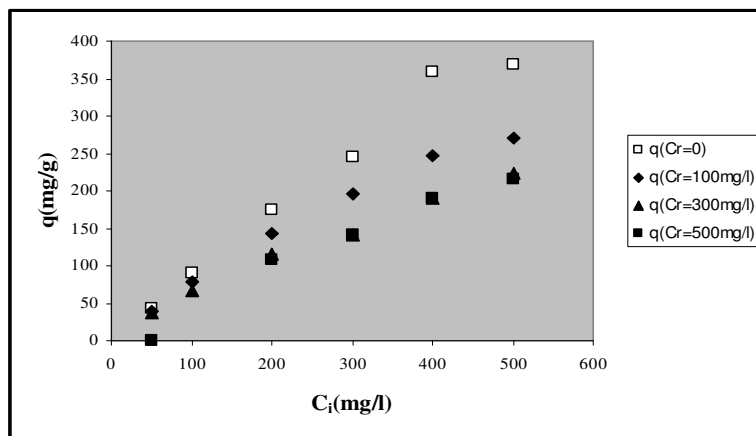
در حضور یون منیزیم با غلظت ۳۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب ۳۳۷/۷، ۳۴۲/۵ و ۳۰۲/۵۶ میلی گرم بر گرم



شکل ۶- نتایج تجربی میزان جذب اورانیوم در سیستم دو جزئی اورانیوم-منیزیم توسط مخمر تثبیت شده

$$(T=30^{\circ}\text{C}, \text{pH}=5, S=1\text{g/l})$$

و در حضور یون کروم (VI) با غلظت ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر به ترتیب ۲۷۰، ۲۲۴ و ۲۱۶ میلی گرم بر گرم می باشد.



شکل ۷- نتایج تجربی میزان جذب اورانیوم در سیستم دو جزئی اورانیوم-کروم (VI) توسط مخمر تثبیت شده

$$(T=30^{\circ}\text{C}, \text{pH}=5, S=1\text{g/l})$$

در مجموع تأثیر یون کروم (VI) بر میزان جذب بیولوژیکی اورانیوم بیشتر از یون های موجود در آب می باشد. همچنین مشاهده شد که منیزیم حتی در غلظت های بالا نیز اثر چندانی بر میزان جذب اورانیوم ندارد.

## بحث و نتیجه گیری

میزان جذب اورانیوم توسط مخمران تثبیت شده به شدت به pH وابسته می باشد. pH بهینه برای جذب اورانیوم توسط مخمران تثبیت شده ۵ می باشد. در مدت زمان ۴ ساعت پس از تماس بین اورانیوم و مخمران تثبیت شده به ۹۰٪ میزان نهایی خود می رسد.

سرعت بالا در جذب و ظرفیت بالای جذب (در غلظت اولیه ۵۰۰ mg/l میزان جذب ۳۶۰ mg/g می باشد)، مخمران تثبیت شده را به یک بیوماس مناسب برای جذب اورانیوم تبدیل می کند. از طرفی حضور یون های رقیبی نظیر کلسیم و منیزیم که به عنوان سختی آب معرفی می شوند، در غلظت های پایین تأثیر اندکی بر میزان جذب اورانیوم دارند. نتایج آزمایش ها نشان می هد که یون کروم (VI) بیشترین تأثیر را بر میزان جذب اورانیوم دارد.

## مراجع

- [1] P. R. Puranik and K. M. Paknikar, Biosorption of Lead, Cadmium, and Zinc by *Citrobacter* Strain MCM B-181: Characterization Studies, *Biotechnol. Prog.*, 15, 228-237, 1999.
- [2] J. Paul Chen and Lei Yang, Chemical Modification of *Sargassum sp.* for Prevention of Organic Leaching and Enhancement of Uptake during Metal Biosorption, *Ind. Eng. Chem. Res.* 44, 9931-9942, 2005.
- [3] M. Gavrilesco, Removal Metals from the Environment by Biosorption, *Eng. Life Sci.*, 3, 219-232, 2004.
- [4] Michael C. Hu, Brendlyn D. Faison, and Mark E. Reeves, Biosorption of Uranium by *Pseudomonas aeruginosa* Strain CSU: Characterization and Comparison Studies, *Biotechnology and Bioengineering*, 51, 237-247, 1996.
- [5] Zhaohui Xu, Weon Bae, Ashok Mulchandani and Wilfred Chen, Heavy Metal Removal by Novel CBD-EC20 Sorbents Immobilized on Cellulose, *Biomacromolecules*, 3, 462-465, 2002.
- [6] K. Chandra Sekhar, N.S. Chary, Y. Anjaneyulu, Removal of Heavy Metals Using a Plant Biomass with Reference to Environmental Control, *Int. J. Miner. Process.*, 68, 37-45, 2003.
- [7] Jinbaiyang and Bohumil Volesky, Modeling Uranium-Proton Ion Exchange in Biosorption, *Environ. Sci. Technol.*, 33, 4079-4085, 1999.
- [8] Pinaki Sar, Sufia K. Kazy, S.F. D'Souza, Radionuclide Remediation Using a Bacterial Biosorbent, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54, 193-202, 2004.
- [9] Peng-Fu Li, Zhi-Yong Mao, Biosorption of Uranium by Lake-harvested Biomass from a Cyanobacterium Bloom, *Bioresource Technology*, 94, 193-195, 2004.
- [10] O. Genc, Y. Yalcinkaya, Uranium Recovery by Immobilized and Dried Powdered Biomass: Characterization and Comparison, *Int. J. Miner. Process.* 68, 93-107, 2003.
- [11] M. yakup, Entrapment of White-rot Fungus *Trametes Versicolor* in Ca-alginate Beads, *Chryseomonas luteola* TEM05 in Alginate Beads *Bioresource technology*, 80, 121-129, 2001.
- [12] Guven Ozdemir, Nur Ceyhan, Utilization of an Exopolysaccharide Produced for Adsorption of Cadmium and Cobalt ions, *Bioresource Technology*, 96, 1677-1682, 2005.