

بررسی عملکرد تالاب مصنوعی در حذف کروم توسط گیاه نی (مطالعه موردی: شهر بیرجند)

محمد حسین صیادی^{1*}، فرزانه ارثیا²، فهیمه نصرت آبادی³

1- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

2- دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند

* بیرجند، صندوق پستی 331

mh_sayadi@birjand.ac.ir

(دریافت مقاله: 94/11/5 پذیرش مقاله: 95/1/31)

چکیده- هدف از انجام این تحقیق بررسی عملکرد سیستم تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی در حذف فلز سنگین و سمی کروم توسط گیاه فراگمتیس استرالیس و بررسی اثر گیاه، ماده بستر، آهنگ بارگذاری هیدرولیکی و زمان ماند هیدرولیکی بر عملکرد سیستم بوده است. برای انجام این مطالعه تعداد 12 سلول از سیستم پایلوت به صورت موازی و در ابعاد $200 \times 75 \times 50$ سانتی متر در محل تصفیه خانه دانشگاه بیرجند ساخته شد. دما و pH در همه سلول ها ثابت بود. نتایج نشان داد که بازده حذف کروم در سلول های حاوی گیاه فراگمتیس استرالیس بیشتر از سلول های فاقد گیاه است. تغییر ماده بستر از بافت درشت دانه به بافت ریز دانه باعث افزایش قابل توجه میانگین درصد حذف کروم شد (درصد حذف در دبی مشابه 100 l/d در سلول های دارای گیاه با بافت ریز دانه و درشت دانه به ترتیب $31/87\%$ و $24/61\%$ و در سلول های فاقد گیاه با بافت ریز دانه و درشت دانه به ترتیب $31/25\%$ و $14/92\%$). همچنین با افزایش زمان ماند از 1 روز به 5 روز غلظت کروم خروجی کاهش و به تبع آن درصد حذف افزایش یافت. این نتایج نشان دهنده اثر مثبت سیستم تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی با حضور گیاه فراگمتیس استرالیس در حذف فلزات سنگین از جمله کروم می باشد و بنابراین برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب، استفاده از کشت گیاه فراگمتیس استرالیس و بافت ریز دانه پیشنهاد می شود.

کلیدواژگان: تالاب های مصنوعی، فلز سنگین کروم، گیاه *PhragmitisAustralis*، نرخ بار هیدرولیکی، زمان ماند هیدرولیکی.

1- مقدمه

تالاب ها اکوسیستم های پیچیده و یکپارچه ای هستند که در طی سال سطح آب در بالا یا در نزدیکی سطح زمین قرار داشته و می تواند شرایط خاک اشباع شده و پوشش گیاهی

را حفظ نماید [1]. از جمله تالاب های طبیعی می توان به مارش ها، باتلاق، مرداب و لجنزارها اشاره کرد [2]. در تالاب های طبیعی، آب، گیاهان، میکروارگانیسم ها و محیط زیست بر یکدیگر تأثیر متقابل دارند تا کیفیت آب را

بهبود بخشند [3]. این سیستم‌ها به منظور تغذیه آب‌های زیرزمینی، تامین آب برای کاربری‌های گوناگون، نگهداری مواد مغذی، مهار سیلاب، تولید انرژی حمل و نقل آبی و رسوب‌گیری مؤثر می‌باشند [4].

تالاب‌های مصنوعی، سیستم‌های انسان ساختی هستند که از یک زیست بوم خشکی قدیمی، عمدتاً به منظور حذف آلاینده‌ها از پساب به منظور کنترل آلودگی، کنترل و بازیافت پساب‌ها و مدیریت فاضلاب‌ها، توسعه چشم اندازهای اکولوژیکی و غیره ایجاد می‌شوند. مکانیسم‌های مورد استفاده در این تالاب‌ها شامل مکانیسم فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشند که برای تصفیه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد [5]. این نوع تالاب متشکل از ماده بستر، گیاه، عایق آب‌بند و قسمت‌های ورودی و خروجی می‌باشد [6]. در این نوع سیستم، پساب از یک طرف وارد و از میان بستر نفوذپذیر که مخلوطی از خاک و شن یا سنگریزه می‌باشد، عبور کرده و از طرف دیگر خارج می‌شود [7، 8].

سیستم‌های تصفیه تالاب‌های مصنوعی¹ (CWS) در 3 گروه، تالاب‌ها با جریان آب سطحی² (FWS)، تالاب‌ها با جریان آب زیرسطحی³ (SSF) و تالاب‌ها با جریان مخلوط طبقه‌بندی می‌شوند [9] که مراحل تصفیه SSF و FWS شامل چهار مرحله جذب سطحی، اختلاط، رسوب شیمیایی و جذب ریشه‌ای می‌باشد [3، 10]. اجزای اصلی این سیستم‌ها که ممکن است در روند تصفیه فاضلاب در تالاب‌های مصنوعی تأثیر بگذارند، شامل پوشش گیاهی، سنگریزه، خاک و میکروارگانیسم‌ها می‌باشد [11].

تالاب‌ها با جریان آب آزاد سطحی به منظور شبیه‌سازی تالاب‌های طبیعی طراحی می‌شوند که جریان فاضلاب در تماس مستقیم با هوا قرار داشته و از خاک مناسب برای رشد گیاهان ایستا استفاده می‌شود [12]. تالاب‌ها با جریان

آب سطحی مواد زیست تخریب‌پذیر و مواد آلی را باروش‌های میکروبی توسط میکروارگانیسم‌های موجود در سطح گیاهان آبی و خاک، و مواد جامد معلق را توسط فیلتراسیون و رسوب‌گذاری حذف می‌کنند [13]. به‌طور کلی، در این سیستم‌ها، راندمان حذف⁴ TSS،⁵ BOD،⁶ COD و پاتوژن بالای 70 درصد می‌باشد. در سیستم‌های با جریان آب سطحی، فرایند تصفیه توسط برخی از فعل‌وانفعالات پیچیده بین پوشش گیاهی و بیوفیلم موجود در فاز آبی واقع در حوضچه‌های کم عمق انجام می‌شود که در آن آب در سطح جریان دارد. در این سیستم، لایه نزدیک سطح هوازی می‌باشد و عمق آب معمولاً کمتر از 0/4 متر و نرخ بارگذاری هیدرولیک (HLR)⁷ بین 0/7-5 cm/d می‌باشد [9 و 14].

اما سیستم‌های جریان زیرسطحی نیز به دو دسته جریان افقی⁸ (HSSF) و عمودی⁹ (VSSF) به منظور ایجاد جریان زیرسطحی از میان یک محیط نفوذپذیر که معمولاً از شن و ماسه و قلوه تشکیل شده است، طراحی می‌شوند، که با نگر داشتن آب در زیر سطح خاک در عمق کم، فاضلاب را تصفیه می‌کنند [15، 16].

پوشش گیاهی، به دلیل تأمین اکسیژن بستر، ایجاد محیطی مناسب و متراکم برای فعالیت و تجمع میکروارگانیسم‌ها بر روی ریشه‌ها و همیاری برای از بین بردن مواد معلق، انتشار ترکیبات کربن‌دار از ریشه و جذب مواد مغذی از فاضلاب مهم می‌باشد [9]. گیاهان تالاب‌ها این توانایی را دارند که آرسنیک و فلزات سنگین را در خود ذخیره کنند. بنابراین جذب فلزات و تجمع آنها در گیاهان نقش کوچکی را در تصفیه آب تالاب‌ها بازی می‌کند [17].

از جمله پارامترهای هیدرولیکی که بر عملکرد جریان زیر سطحی افقی تالاب‌های مصنوعی تأثیر می‌گذارد، آهنگ

⁴ Total Suspended Solids

⁵ Biological Oxygen Demand

⁶ Chemical Oxygen Demand

⁷ Hydraulic Loading Rate

⁸ Horizontal Sub-Surface Flow

⁹ Vertical Sub-Surface Flow

¹ Constructed Wetlands

² Free Water Surface

³ Sub-Surface Flow

بارگذاری هیدرولیکی (HLR) و زمان ماند هیدرولیکی¹ (HRT) است. بازده تصفیه فاضلاب در این نوع سیستم با کاهش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی و افزایش زمان ماند هیدرولیکی بهبود می‌یابد [18]. در جهان، تحقیقات زیادی برای حذف فلزات سنگین صورت گرفته است به صورتی که در مطالعات مختلف حذف فلزات سنگین در تالاب‌های مصنوعی از جمله آرسنیک، کادمیوم، روی، مس، جیوه و نیکل مورد بررسی قرار گرفته است [17]. در مطالعه‌ای که توسط خالدی و همکاران در واحدهای افیولیتی جنوب بیرجند انجام گرفت، نشان داده شد که شدت آلودگی عنصر کروم با درجه آلودگی شدید می‌باشد، به طوری که این میزان در سنگ‌ها و رسوبات به ترتیب 881 و 627 ppm مشاهده شد [19]. همچنین مطالعه‌ای دیگر، غلظت کروم را در منابع آب دشت بیرجند (چاه، چشمه، قنات و آب باران) بیشتر از استاندارد WHO نشان داد [20]. شهریاری و همکاران نیز در مطالعه خود با در نظر گرفتن شرایطی محیطی منطقه، منشأ این آلودگی را زمین‌شناختی دانستند که نیازمند تلاش‌هایی برای رفع این آلودگی می‌باشد [21].

هدف اصلی از انجام این طرح تحقیقاتی، بررسی عملکرد تالاب مصنوعی جریان زیر سطحی افقی، بررسی اثر دانه‌بندی ماده بستر، نرخ بار هیدرولیکی و حضور گیاه در تصفیه فلز سنگین کروم در اقلیم سرد و خشک و به صورت موردی در شهر بیرجند می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- محدوده مورد مطالعه و شرایط تحقیق

شهرستان بیرجند بین 31 درجه و 20 دقیقه تا 33 درجه و 31 دقیقه عرض شمالی و 57 درجه و 57 دقیقه تا 59 درجه و 40 دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهرستان بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم سرد و

خشک است. برای انجام این مطالعه تعداد 12 سلول از سیستم پایلوت با نام‌های C₁، C₂، C₃، C₄، C₅، C₆، C₇، C₈، C₉، C₁₀، C₁₁ و C₁₂ به صورت موازی با استفاده از بلوک سیمانی در محل تصفیه خانه دانشگاه بیرجند ساخته شد و به منظور عایق بندی بستر سلول‌ها از پلی اتیلن با چگالی پایین² (LDPE) استفاده شد. سلول‌های C₁، C₂، C₇ و C₈ بدون گیاه و مابقی سلول‌ها دارای گیاه و با تراکم 9 گیاه فراگمیتیس استرالیس در هر مترمربع در نظر گرفته شدند. طول، عرض و ارتفاع هر سلول به ترتیب 200، 75، 50 سانتی‌متر و شیب بستر نیز 1/5% در نظر گرفته شد. در ابتدا و انتهای هر سلول فضایی به طول 20 سانتی‌متر توسط سنگدانه‌های درشت دانه با قطر متوسط 5 سانتی‌متر و فضای باقیمانده بستر نیز توسط دو لایه 22/5 سانتی‌متری از شن و ماسه مخصوص هر سیستم (سلول‌های C₁ تا C₆ حاوی شن درشت دانه و سلول‌های C₇ تا C₁₂ حاوی شن ریز دانه) تا ارتفاع 45 سانتی‌متری پر شد. طبق طراحی انجام شده در همه سلول‌ها سطح پساب در فاصله 5 سانتی‌متری از سطح بستر خاک نگه داشته شد. میزان pH، دمای میانگین، EC، TDS³ و اکسیژن محلول تمام سلول‌ها در جدول 1 نشان داده شده است. جدول 2 مشخصات ماده بستر مورد استفاده و جدول 3 مشخصات هیدرولیکی هر سلول را نشان می‌دهد.

3- نتایج و بحث

جدول 4 غلظت ورودی و خروجی و درصد حذف کروم در هر سلول را نشان می‌دهد که غلظت کروم ورودی برای همه سلول‌ها 12/8 میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته شده است. بیشترین درصد حذف مربوط به سلول C₉ که حاوی گیاه، کمترین HLR و بافت ریزدانه بوده و کمترین درصد حذف مربوط به سلول C₂ که فاقد گیاه، بیشترین HLR و دارای بافت درشت دانه می‌باشد، بنابراین در

² Low-Density Poly Ethylene

³ Total Dissolved Solids

¹ Hydraulic Retention Time

ادامه، به بحث در نقش گیاه، نوع بافت و میزان HLR و HRT در فرایند حذف کروم پرداخته می‌شود.

جدول 1 مشخصات فاضلاب استفاده شده در تمام سلول‌ها

DO (mg/L)	TDS (mg/L)	EC (ms/cm)	دما (°C)	pH	مشخصات فاضلاب
0/95	1/7	2/63	17/8	7/4	

جدول 2 مشخصات ماده بستر سیستم پایلوت

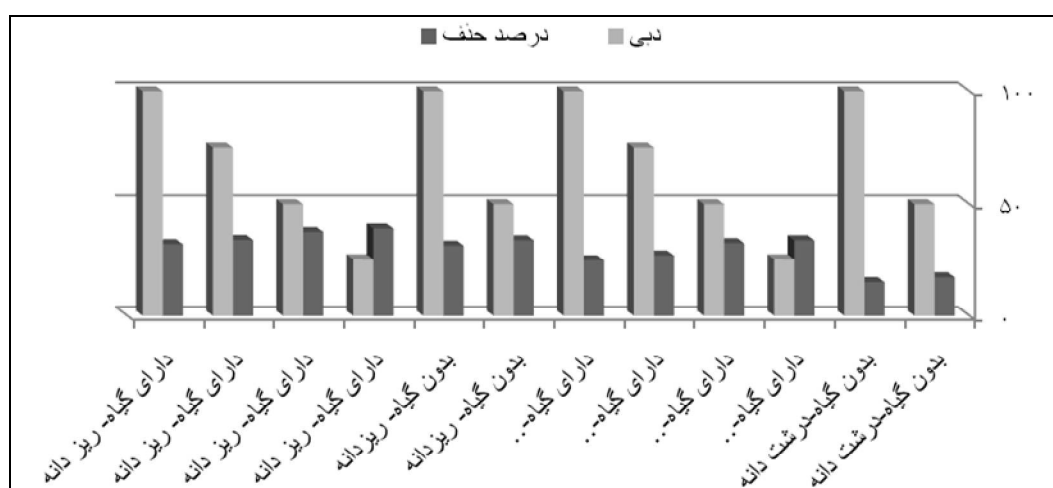
لایه بالایی			لایه زیرین			نام سلول
D(mm)	UC	n	D(mm)	UC	n	
10-18	1/52	0/37	16-24	1/45	0/39	C ₁
10-18	1/52	0/37	16-24	1/45	0/39	C ₂
10-18	1/52	0/37	16-24	1/45	0/39	C ₃
10-18	1/52	0/37	16-24	1/45	0/39	C ₄
10-18	1/52	0/37	16-24	1/45	0/39	C ₅
10-18	1/52	0/37	16-24	1/45	0/39	C ₆
4-8	1/6	0/33	6-12	1/74	0/35	C ₇
4-8	1/6	0/33	6-12	1/74	0/35	C ₈
4-8	1/6	0/33	6-12	1/74	0/35	C ₉
4-8	1/6	0/33	6-12	1/74	0/35	C ₁₀
4-8	1/6	0/33	6-12	1/74	0/35	C ₁₁
4-8	1/6	0/33	6-12	1/74	0/35	C ₁₂

جدول 3 مشخصات هیدرولیکی

سلول	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂
Q (l/d)	50	100	25	50	75	100	50	100	25	50	75	100
HLR (mm/d)	37	74	18	37	55	74	37	74	18	37	55	74
HRT (d)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

جدول 4 غلظت ورودی و خروجی و درصد حذف کروم در سلول‌های مختلف

خروجی												ورودی	
C ₁₂	C ₁₁	C ₁₀	C ₉	C ₈	C ₇	C ₆	C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁		
8/72	8/48	8	7/8	8/8	8/49	9/64	9/37	8/66	8/5	10/89	10/62	12/8	غلظت (mg/l)
31/9	33/75	37/34	38/9	31/25	33/67	24/61	26/72	32/34	33/59	14/92	17/03	-	درصد حذف



شکل 1 درصد حذف فلز سنگین کروم با دبی‌های متفاوت در 12 سلول

آلاینده‌ها داشته و یکی از پارامترهای مهم طراحی در راندمان حذف به شمار می‌رود، به طوری که با افزایش نرخ بار هیدرولیکی جهت حذف آلاینده‌ها راندمان حذف کاهش می‌یابد [22].

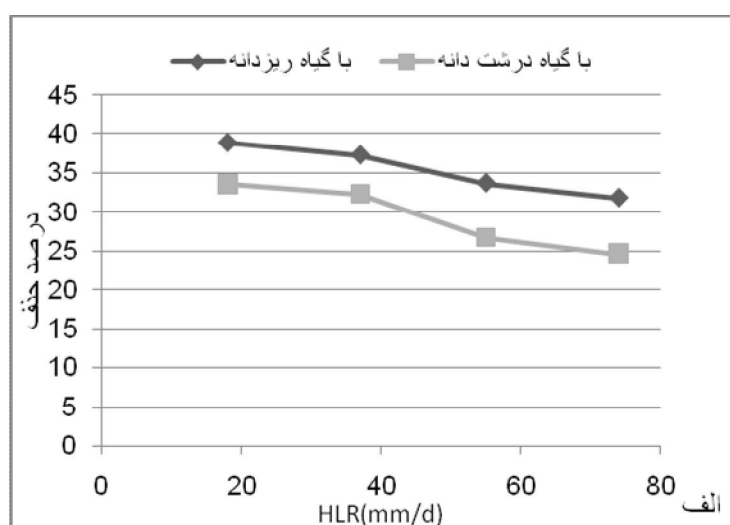
3-2- اثر HRT

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که افزایش زمان ماند در روند حذف کروم مؤثر است، به طوری که با افزایش زمان ماند درصد حذف افزایش می‌یابد. این امر در نمودار شکل 3 در بافت ریز دانه و درشت دانه نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار مشخص است با افزایش زمان ماند از 1 به 5 روز غلظت کروم خروجی کاهش یافته و به تبع آن درصد حذف افزایش می‌یابد که به طور میانگین افزایش درصد حذف در روز پنجم نسبت به روز اول در بافت ریزدانه 29/83 درصد و در بافت درشت دانه 18/56 درصد می‌باشد. با مقایسه دو نمودار درشت دانه و ریزدانه مشاهده می‌شود که این تغییر غلظت و درصد حذف در بافت ریزدانه با شیب بیشتری نسبت به درشت دانه اتفاق می‌افتد که دلیل محکم دیگری بر تأثیر نوع بافت بستر بر درصد حذف فلز کروم می‌باشد.

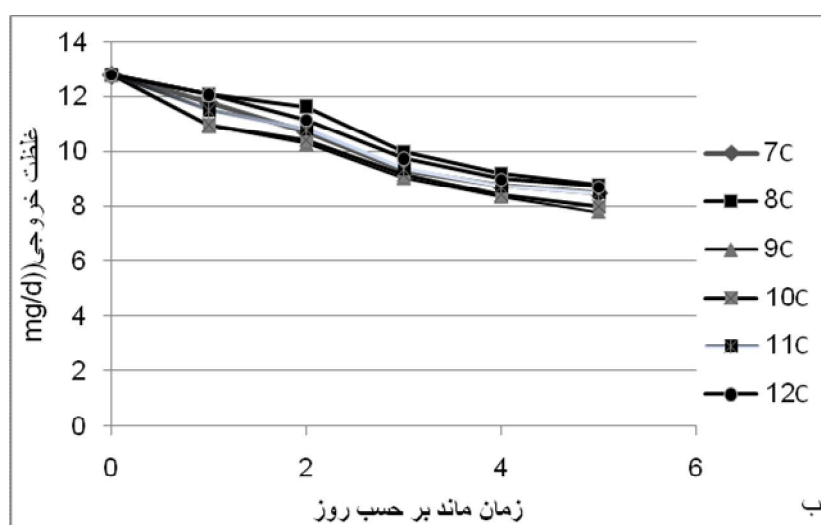
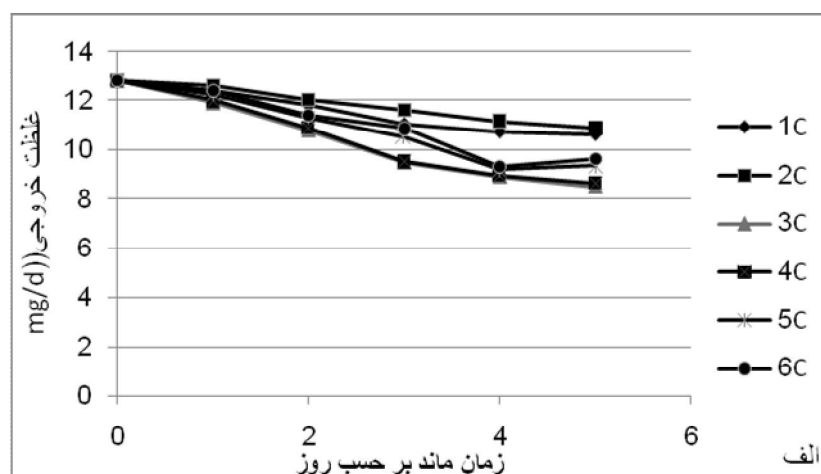
در شکل 1 درصد حذف فلز سنگین کروم در دبی‌های مختلف نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد، درصد حذف این فلز در سلول‌های بدون گیاه و با دبی‌های 50 و 100 متر مکعب بر ثانیه در بافت‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. این نتایج در سلول‌های دارای گیاه، در بافت‌های مختلف نیز مشابه می‌باشد. به صورتی که در دبی‌های مشابه درصد حذف در بافت ریز دانه بیشتر می‌باشد.

3-1- اثر HLR

نمودارهای شکل 2 به بررسی نقش آهنگ بارگذاری هیدرولیکی در درصد حذف کروم در سلول‌های دارای گیاه می‌پردازد. همان‌طور که شکل 2 نشان می‌دهد همواره با افزایش HLR درصد حذف کاهش می‌یابد، این درصد حذف در بافت درشت دانه با شیب نسبتاً بیشتری نسبت به بافت ریزدانه اتفاق می‌افتد. نتایج این شکل نشان دهنده اثر مثبت کاهش HLR بر عملکرد سیستم HSSFCW در حذف کروم می‌باشد، که برای رسیدن به درصد حذف بالاتر فلز کروم، کاهش نرخ بار هیدرولیکی پیشنهاد می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط ویراکون و همکاران برای حذف آلاینده‌ها توسط سیستم تالاب مصنوعی صورت گرفت، نتایج نشان داد که HLR تأثیر حیاتی بر حذف



شکل 2 نقش HLR در درصد حذف کروم در سلول‌های دارای گیاه



شکل 3 الف) نمودار تغییر غلظت بر حسب زمان ماند در بافت درشت دانه ب) نمودار تغییر غلظت بر حسب زمان ماند در بافت ریز دانه

و شولز و همکاران بر روی سیستم‌هایی با ماده بستر شنی انجام شد، نتایج نشان داد که ماده بستر نیز می‌تواند در حذف آلاینده‌ها، به‌ویژه فلزات سنگین نقش مؤثری داشته باشد اما در این مطالعه، میزان حذف توسط گونه گیاهی بیشتر از ماده بستر نشان داده شد [25-27].

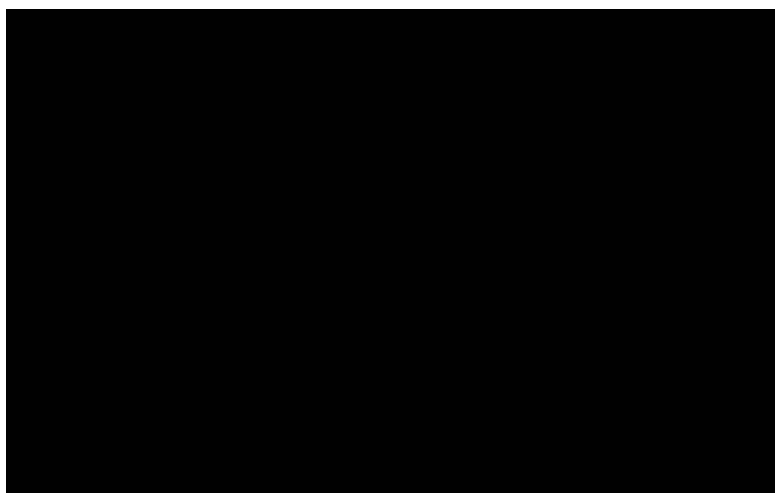
4-3- اثر گیاه

در این مطالعه غلظت کروم در سلول‌های دارای گیاه فراگمیت‌استرالایس و فاقد آن، مورد بررسی قرار گرفت. در دبی‌های مشابه (50 و 100 متر مکعب بر ثانیه) درصد حذف در سلول دارای گیاه، بیشتر از سلول‌های فاقد گیاه مشاهده شد. نتایج این تحقیق و سایر تحقیقات نشان دهنده اثر مثبت گیاه در حذف فلزات سنگین از تالاب‌ها می‌باشد. شکل 4 درصد حذف فلز کروم در دبی‌های 50 و 100 متر مکعب بر ثانیه در سلول‌های با گیاه و فاقد گیاه را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار میانگین درصد حذف در سلول‌های فاقد گیاه 24/31 درصد و در سلول‌های دارای گیاه 31/54 درصد می‌باشد، که نشان دهنده اثر مثبت حضور گیاه در عملکرد سیستم HSSFCW می‌باشد و حضور گیاه فراگمیت‌استرالایس به خصوص در سلول‌های دارای بافت درشت دانه در افزایش درصد حذف کروم بسیار مؤثر است.

سیریان‌تاپیون و همکاران در مطالعه‌ای تأثیر زمان ماند را بر روی تالاب‌های مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که در سه زمان ماند 0/75، 1/5 و 3 روز، میزان حذف نیز متغیر بوده و بیشترین بازده حذف در زمان 3 روز مشاهده شد [23]. در مطالعه دیگری که توسط طاهری قناد و همکاران بر غلظت فلز سنگین سرب در تالاب‌های مصنوعی انجام گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی و کاهش بار سطحی غلظت این فلز در پساب خروجی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [24].

3-3- اثر ماده بستر

تغییر ماده بستر در سلول‌های C₁ تا C₆ از درشت دانه به ریز دانه در سلول‌های C₇ تا C₁₂ به ترتیب باعث افزایش 16/64، 16/33، 5/32، 5/7/03 و 7/26 درصد میانگین حذف کروم شد. شکل 2 نیز به خوبی نشان دهنده این واقعیت می‌باشد که درصد حذف در بافت ریزدانه بسیار بیشتر از بافت درشت دانه می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت که استفاده از بافت ریزدانه به جای بافت درشت دانه باعث افزایش درصد حذف فلز سنگین کروم می‌شود. این امر می‌تواند به دلیل افزایش سطح تماس فلز با ماده بستر باشد. در مطالعه‌ای که توسط چنگ



شکل 4 درصد حذف فلز کروم در سلول‌های دارای گیاه و فاقد گیاه

در مطالعه‌ای که توسط چنگ و همکاران در تالاب دو قلو شکل با جریان عمودی ورودی توسط گیاه *Cyperus alternifolius* و در تالاب با جریان عمودی خروجی توسط گیاه *Villarsia exaltata* برای حذف فلزات سنگین صورت گرفت، نشان داده شد که جریان عمودی با *C. Alternifolius* یک ابزار مؤثر در زدودن فلزات سنگین در آب آلوده می‌باشد [25]. در مطالعه دیگری که توسط میراندا و همکارانش صورت گرفت نشان داده شد که *Lemna Jibba* راندمان مناسبی در جذب کادمیوم و سرب داشته و می‌تواند به سرعت این عناصر را از آب آلوده جذب نماید و در نتیجه این امر، میزان کلروفیل‌های موجود در گیاه بیش از 50 درصد کاهش یافت [28]. صیادی و کارگر نیز در مطالعه خود اثرات مثبت گیاه در حذف فلزات سنگین را بیان نمودند [29].

در پژوهشی دیگر که در آن به بررسی حذف فلزات سنگین توسط نی فراگماتیس استرالیس پرداخته شد، نتایج حاصل از آن با نمونه شاهد بدون نی مقایسه گردید. این مطالعه نشان داد که بازده حذف فلز مس با غلظت‌های 2، 5، 10 و 15 میلی‌گرم در لیتر در زمان ماند 2 روز، در سلول شاهد از 99/4 به 93/53 و در سلول دیگر از 100 به 98 درصد رسید و بازده کروم 6 ظرفیتی با غلظت‌های 2، 10، 20، 40 و 100 میلی‌گرم در لیتر، با افزایش زمان ماند افزایش یافت. همچنین در مطالعه‌ای دیگر حذف کروم در تالاب مصنوعی تا 99/99 درصد صورت گرفت که با افزایش زمان ماند، راندمان حذف کروم نیز افزایش یافت [30].

4- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی در حذف فلز سنگین کروم مناسب می‌باشد و با افزایش زمان ماند (کاهش دبی) و کاهش HRT درصد حذف این فلز افزایش می‌یابد.

استفاده از بافت ریز دانه در این نوع سیستم و همچنین کشت گیاه فراگماتیس استرالیس اثرات مثبتی را در حذف این فلز نشان می‌دهد. استفاده از این نوع تالاب در صورت موجود بودن زمینی با مساحت کافی، روشی مناسب جهت حذف فلزات سنگین بخصوص کروم می‌باشد. بنابراین جهت حذف فلز سنگین از پساب، کشت گیاه فراگماتیس استرالیس و بافت ریز دانه تحقیقات میدانی در این زمینه پیشنهاد می‌گردد.

5- سپاسگزاری

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه بیرجند می‌باشد. به همین منظور نویسندگان این مقاله از مساعدت و همکاری حوزه پژوهشی دانشگاه بیرجند و همچنین مسئول محترم آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، سرکار خانم مهندس غفوری که ما را در انجام این طرح تحقیقاتی همراهی نمودند، کمال قدردانی و تشکر را می‌نمایند.

6- منابع

- [1] Crites, R.W., Middlebrooks, J., and Reed, S.C. (2006) Natural Wastewater Treatment Systems. CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742.
- [2] Smith, D., Moore, J.A. (1991) Understanding Natural Wetlands. Water quality, Oregon state university, EC 1407.
- [3] Emeka Eke, P. (2008) Hydrocarbon removal with constructed wetlands. The University of Edinburgh.
- [4] اکبری، ح. حبیبپور، الف. پورچیتساز، الف. تیموری، م. (1391) تالاب‌های مصنوعی فرصتی برای حفظ تنوع زیستی مطالعه موردی: تصفیه‌خانه یزد. فصلنامه علمی محیط زیست (ویژه نامه تالاب‌ها). شماره 53 و 54. صص. 53-57.
- [5] Crites, R. W. (1992) Design criteria and practice for constructed wetlands. Proceedings

- various types of wastewater ecological engineering. *Ecological Engineering*; **35**(1), 1–17.
- [16] Crites, R.W., Reed, S.C., Bastian, R.K. (2000) *Land Treatment Systems for Municipal and Industrial Wastes*. New York. McGraw-Hill. pp:241-253.
- [17] Kamarudzaman, A.N., Abdul Aziz, R., AbJalil, M.F. (2011) Removal of Heavy Metals from Landfill Leachate Using Horizontal and Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland Planted with *Limncharisflava*. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Vol: 11, No: 05.
- [18] کارگر بیده، ر. دوستی، م.ر. صیادی، م.ح. (1391). بررسی عملکرد تالاب مصنوعی جریان زیر سطحی افقی در حذف ترکیبات نیتروژن از فاضلاب در اقلیم سرد و خشک، مطالعه موردی: شهر بیرجند. مجله آب و فاضلاب. شماره 3، صص. 47-38.
- [19] خالدی، ز. محمد زاده، ح. (1390). بررسی پراکنش و پتانسیل آلاینده‌های عناصر کروم، نیکل، کبالت و مس در واحدهای افیولیتی جنوب بیرجند. سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [20] خالدی، ز. محمد زاده، ح. (1391). بررسی هیدرژئوشیمی و کروم آبهای زیرزمینی جنوب شرق بیرجند. شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، شیراز.
- [21] شهریاری، ط. معاشری، ن. شریف‌زاده، غ. (1390). غلظت کروم و مس در آب‌های زیر زمینی و شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر بیرجند در سال 1388-89. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، دوره 18، شماره 1، صص. 67-62.
- [22] Weerakoon, G.M.P.R., Jinadasa, K.B.S.N., Herath, G.B.B., Mowjood, M.I.M., van Bruggen, J.J.A. (2013) Impact of the hydraulic loading rate on pollutants removal in tropical horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, **61**, 154–160.
- [23] Sirianuntapiboon, S., Kongchum, M., Jitmaikasem, W. (2006) Effects of hydraulic IAWQ Wetlands Systems Conference, Sydney, Australia.
- [6] Vymazal, J. (2005) Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering* **25**, 478–490.
- [7] EPI, (2000) guiding principles for constructed treatment wetlands: Providing for Water Quality and Wildlife Habitat. developed by the interagency workgroup on constructed wetland, Environmental Protection Agency, Natural Resources Conservation Service, U.S. Fish and Wildlife Service, National Marine Fisheries Service, U.S. Bureau of Reclamation, U.S. Army Corps of Engineers. EPA 843- B-00- 003.
- [8] ETLANDS, (2003) The use of constructed wetlands for wastewater treatment. *Wetlands International - Malaysia Office*.
- [9] Sayadi, M.H. Kargar, R. Doosti, M.R. Salehi, H. (2012) Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, **2**(4), 204-222.
- [10] Birch, G. F., Taylor, S. E. (1999) Source of heavy metals in sediments of Port Jackson estuary, Australia. *The Science of the Total Environment*, **227**, 123-138.
- [11] Vymazal, J. (2006) Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment* 1-18.
- [12] میرزایی، س.ع. جعفرزاده حقیقی فرد، ن. الف. (1391) بررسی میزان کارایی تالاب مصنوعی زیرسطحی در کاهش ازت آمونیاکی و فسفر از فاضلاب مصنوعی مشابه خانگی در مقیاس آزمایشگاهی. مجله تحقیقات نظام سلامت، سال هشتم، شماره چهارم، صص. 612-600.
- [13] EPA, (1993) *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Wildlife Habitat*. United States Environmental Protection Agency, 832-R-93-005.
- [14] Rahmanisani, A., Dareini, F. (2014) Treatment of hospital wastewater by vetiver and typical reed plants at wetland method. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, ISSN: 2231– 6345.
- [15] Vymazal, J. (2009) The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for

- treating wastewater containing heavy metals. *Journal of chemical technology and biotechnology* **76**, 827- 835.
- [28] Miranda, g., Quiroz, A., Salazar, M. (2000) Cadmium and lead removal from water by the duckweed *Lemnagibba* L. (Lemnaceae). *Hidrobiologica UAM-Iztapalapa. Mexico*. **10(1)**, 7-12.
- [29] صیادی، م.ح. کارگر بیده، ر. (1393). تالاب‌های مصنوعی، گزینه‌ای زیست محیطی برای تصفیه فاضلاب. علوم و مهندسی محیط زیست، سال دوم، شماره 5، صص. 57-65.
- [30] سالاری، ح. حسنی، الف. ح. برقی، م. یزدانبخش، الف. ر. رضایی، ح. (1390). عملکرد سیستم تصفیه فاضلاب روستایی به روش تالاب مصنوعی در حذف ازت و فسفر از فاضلاب (مطالعه موردی: روستای مراد تپه). مجله آب و فاضلاب، شماره 3، صص. 40-47.
- retention time and media of constructed for treatment of domestic wastewater. *African journal of Agricultural Research* **1(2)**, 027-037.
- [24] طاهری قناد، س. معاضد، ه. برومند نسب، س. جعفرزاده، ن. الف. (1393). بررسی اثر گیاه نی و زمان ماند هیدرولیکی در بازده حذف سرب در تالاب مصنوعی افقی زیرسطحی. مجله محیط شناسی. دوره 40، شماره 4، صص. 947-937.
- [25] Cheng, SH., Grosse, W., Karrenbrock, F., Thoennessen, M. (2002) Efficiency of constructed wetlands in decontamination of water polluted by heavy metals. *Ecological Engineering* **18**, 317-325.
- [26] Scholz, M., Xu, J. (2002) Performance comparison of experimental constructed wetlands with different filter media and macrophytes treating industrial wastewater contaminated with lead and copper. *Bioresource Technology* **83**, 71-79.
- [27] Scholz, M., Xu, J., Dodson, H.I. (2001) Comparison of filter media, plant communities and microbiology within constructed wetlands