

Heavy Metal Contamination in the Effluent and Sludges of Wastewater Treatment Plant in Gorgan, Iran

Yousef Dadban Shahamat¹,
Nasrin Sangbari²,
Ali Zafarzadeh¹,
Somayeh Beirami³

¹ Assistant Professor, Environmental Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

² MSc in Civil Engineering, water and wastewater, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Gorgan, Iran

³ MSc in Analytical Chemistry, Environmental Health Research Center, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

(Received Jan 9, 2017 Accepted April 24, 2017)

Abstract

Background and purpose: Environmental pollution by heavy metals and their transfer to soil and crops are a growing global problem. This study aimed to measure the concentrations of heavy metals in wastewater and sludge wastewater treatment plant in Gorgan, Iran.

Materials and methods: In this cross-sectional study, 176 samples of effluent, and returned and dried sludges were analyzed in wastewater treatment plant in Gorgan, during six months in 2016. The concentration of Pb, Cd, Ni, and Cr were determined using polarography (Metrohm797 AV) and furnace atomic adsorption spectroscopy (AA 240 Varian Co.) in the laboratory of Health Faculty in Golestan University of Medical Sciences.

Results: The average concentrations of Pb, Cd, Ni, and Cr in the effluent were 0.105 ± 0.06 , 0.0089 ± 0.008 , 0.095 ± 0.108 , and 0.102 ± 0.175 mg /L, respectively. The concentrations of Pb, Cd, Ni, and Cr in returned sludge were 323.48 ± 217.65 , 2.44 ± 3.3 , 354.14 ± 322.79 , and 388.53 ± 252.59 mg /kg of dry weight, respectively. Also, in dried sludge, the average concentrations of lead, cadmium, nickel, and chromium were 58.48 ± 2.67 , N.D., 30.31 ± 1.98 , and 506.25 ± 813.81 mg/kg of dry weight, respectively.

Conclusion: The concentrations of heavy metals in wastewater effluent and dried sludge, except in returned sludge, were below the standards. Due to long-term use of effluents, necessity of treatment of other parameters, and the effect of bioaccumulation of metals in sludge, caution should be taken for their agricultural application. Also, because of importance of this type of contaminants in soil and food products, continuous monitoring by water companies is highly necessary.

Keywords: heavy metals, wastewater, sludge, Gorgan

بررسی فلزات سنگین در پساب و لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری گرگان

یوسف دادبان شهامت¹

نسرین سنگ بری²

علی ظفرزاده¹

سمیه بیرامی³

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی محیط زیست با فلزات سنگین و انتقال آن به محصولات به عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش، مطرح می‌باشد. این مطالعه با هدف سنجش فلزات سنگین در پساب و لجن تصفیه خانه فاضلاب شهر گرگان انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه از نوع توصیفی - تحلیلی است که تعداد 176 نمونه پساب و لجن برگشتی و خشک شده از محل تصفیه خانه فاضلاب گرگان طی 6 ماه در سال 95 نمونه برداری و غلظت فلزات سرب، کادمیم، نیکل و کروم توسط دستگاه پلاروگراف مدل متروم ساخت کشور سوئیس و جذب اتمی کوره مدل 240 واریان در محل آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی گلستان سنجش شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت سرب در پساب $0/105 \pm 0/06$ mg/L بوده که این مقدار برای کادمیم $0/0089 \pm 0/008$ ، نیکل $0/095 \pm 0/108$ و برای کروم $0/102 \pm 0/175$ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شده است. در لجن برگشتی فاضلاب شهری میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم، نیکل و کروم به ترتیب $323/48 \pm 217/65$ ، $2/44 \pm 3/3$ ، $354/14 \pm 322/79$ و $388/53 \pm 252/59$ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک سنجش شد. همچنین در لجن خشک شده دفعی نیز میانگین غلظت سرب $58/48 \pm 2/67$ ، کادمیم N.D، نیکل $30/31 \pm 1/98$ و کروم $506/25 \pm 813/81$ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک به دست آمده است.

استنتاج: غلظت فلزات سنگین در پساب و لجن خشک شده، به استثناء لجن برگشتی، در زیر حد استاندارد بود. با توجه به مصرف طولانی، لزوم تثبیت سایر پارامترها و اثر تجمع پذیری فلزات در لجن، باید در کاربرد آن‌ها برای مصارف کشاورزی دقت و احتیاط لازم به عمل آید. به همین دلیل و به لحاظ اهمیت حضور این نوع از آلاینده‌ها در خاک و محصولات غذایی، پایش مستمر آن‌ها توسط شرکت‌های آب و فاضلاب ضروری است.

واژه های کلیدی: پساب، فلزات سنگین، لجن، گرگان

مقدمه

نظارتی و افزایش حساسیت به مسائل زیست محیطی و حفاظت از منابع آب بوده است. آبیاری با فاضلاب

در طول سی سال گذشته، هدف از تصفیه فاضلاب بهبود کیفیت پساب تصفیه شده، با توجه به تحولات

Email: nsarin.sb@gmail

مؤلف مسئول: نسرین سنگبری - گرگان: موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی لامعی گرگان، گروه مهندسی عمران

1. استاد یار، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

2. کارشناس ارشد مهندسی عمران - آب و فاضلاب، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی لامعی گرگان، گرگان، ایران

3. کارشناس ارشد شیمی تجزیه، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

© تاریخ دریافت: 1395/10/20 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1395/10/26 تاریخ تصویب: 1396/2/4

است (12). در حال حاضر آلودگی به این آلاینده‌ها رو به افزایش بوده و در نتیجه تجمع این فلزات در گیاهان و حیوانات علاوه بر آسیب‌های جدی بر این موجودات، مصرف فرآورده‌های آن‌ها برای سلامت مصرف‌کنندگان نهایی یعنی انسان را بسیار مخاطره آمیز کرده است (13). یکی از راه‌های اصلی مواجهه انسان به فلزات سنگین، مسیر خاک - سبزیجات - مواد غذایی است؛ در نتیجه حضور فلزات سنگین در پساب و لجن فاضلاب تصفیه‌خانه‌ها همواره به عنوان یک منبع قابل توجه از آلاینده‌های آب و خاک مطرح می‌باشد (14). به طور کلی روش‌های مختلفی برای دفع نهایی لجن وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها سوزاندن، دفع در محل‌های دفن بهداشتی و استفاده به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی است. با وجود این، استفاده در زمین، هم‌چنان یکی از متداول‌ترین روش‌های موجود دفع لجن در بسیاری از کشورها محسوب می‌شود. بر این اساس برای به کارگیری لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در کشاورزی، عوامل آلاینده موجود در آن‌ها باید به دقت مورد مطالعه دقیق قرار بگیرد، تا حتی‌الامکان از بروز مسایل بهداشتی و زیست‌محیطی جلوگیری شود (15).

هم‌چنین درک جامع از منابع این نوع از آلودگی‌ها و روند تغییرات و حذف آن‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب جهت به حداقل رساندن اثر آن‌ها بر محیط زیست آبی و خاکی و استفاده مجدد ضروری است. با این حال، ارزیابی و شناسایی منابع فلزات سنگین در فاضلاب شهری به دلیل تغییرات زمانی کیفیت فاضلاب، پراکنندگی جمعیت و مکان منابع ورود آلاینده‌ها، کار پیچیده‌ای است و نیاز به پایش مستمر دارد (14). به طوری که فقدان نظارت کافی بر کیفیت پساب و لجن‌های دفعی از تصفیه‌خانه‌های کشور موجب شده که در بیش‌تر موارد این مواد به صورت تجمع یافته به محیط راه پیدا نموده و خسارات زیادی را بر منابع طبیعی وارد نمایند و آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی و

تصفیه‌شده یکی از جایگزین‌های عمده برای حفظ منابع آب موجود و بهبود منابع آب شهری در بسیاری از شهر است (1). در استفاده مجدد از پساب، اگر به کیفیت میکروبی پساب و جنبه‌های بهداشتی آن توجهی نشود، خطر جدی برای بهداشت و سلامتی انسان و محیط زیست به همراه خواهد داشت، این موضوع زمانی با اهمیت‌تر خواهد بود که از پساب برای آبیاری فضای سبز عمومی و پارک‌ها و محصولات خوراکی از جمله صیفی‌جات و سبزیجات استفاده شود (2). به علاوه، فاضلاب‌ها دارای مقدار زیادی از عناصر مغذی شامل فسفر و نیتروژن، مواد آلی و سایر مواد ضروری گیاه است (3، 4). با این حال ممکن است فاضلاب حاوی مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین و دیگر مواد آلی سمی صنعتی باشد که می‌تواند تهدید جدی زیست‌محیطی برای کیفیت شیمیایی خاک و محصولات کشاورزی و هم‌چنین بهداشتی باشد (5، 6)، به طوری که تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک سبب کاهش کیفیت مواد غذایی، سلامت و بهداشت گردد (7). پساب و لجن فاضلاب شهری شامل فلزات سنگین، مواد مغذی اصلی و ریز مغذی‌ها و آلاینده‌های آلی بوده (8) و انواع میکروارگانیسم‌ها و تخم انگل‌ها، که در برابر مقادیر مرسوم گندزدا مقاومت می‌کنند، در آن وجود دارند (9). به طور کلی، فلزات سنگین، مانند کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، جیوه (Hg)، سرب (Pb)، مس (Cu)، روی (Zn) و نیکل (Ni) به فلزات با چگالی بیش‌تر از 5 g/cm^3 اشاره دارد. این مواد و ترکیبات آن‌ها به طور طبیعی در سراسر محیط خاک و در همه جا یافت می‌شوند (10). حضور و پایداری فلزات سنگین در محیط، خاصیت تجمع آن‌ها در بدن موجودات و عدم تجزیه آن‌ها مانند سایر ترکیبات آلی، مشکلات قابل ملاحظه زیست‌محیطی و بهداشتی را ایجاد می‌نماید (11).

این در حالی است که سمیت این آلاینده‌ها و خطر تجمع بیولوژیکی آن‌ها در زنجیره غذایی، اهمیت بهداشتی آن‌ها را در جوامع امروزی بیش‌تر کرده

درصد درصد هضم اسیدی تر شدند. جهت هضم نمونه‌های لجن، 5 میلی لیتر از نمونه لجن را برداشته در یک بشر 50 میلی لیتری ریخته، سپس 5 میلی لیتر اسید نیتریک 65 درصد به نمونه اضافه شده و به مدت 24 ساعت زیر هود قرار داده شد. بعد از 24 ساعت، نمونه به مدت حدود 3 ساعت در بن ماری در دمای 95 درجه سانتی گراد قرار گرفت تا حجم آن به 10 تا 15 میلی لیتر کاهش یابد. برای جلوگیری از تبخیر و نیز افزایش pH، به طور متوالی به نمونه آب مقطر اضافه می شد. پس از سپری شدن این زمان و خنک شدن، نمونه توسط کاغذ صافی واتمن شماره 42 صاف شده و با آب مقطر در بالن ژوژه 50 میلی لیتری به حجم رسانده شد و در نهایت آماده سنجش توسط دستگاه شد، سپس برای محاسبه غلظت فلزات سنگین از معادله 1 استفاده شد (18):

یافته ها

نتایج جدول شماره 1 نشان داد میزان میانگین غلظت فلزات سنگین سرب در پساب برابر $0/105 \pm 0/06$ mg/L بوده که این مقدار برای کادمیم برابر $0/0089 \pm 0/008$ mg/L، نیکل برابر $0/095 \pm 0/108$ mg/L و کروم برابر $0/102 \pm 0/175$ mg/L اندازه گیری شد.

$N.D =$ غیر قابل تشخیص

میزان غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم، نیکل و کروم در لجن برگشتی فاضلاب شهری با توجه به جدول شماره 2 به ترتیب $323/48 \pm 217/65$ mg/kg، $2/44 \pm 3/3$ mg/kg، $35/14 \pm 322/79$ mg/kg و $388/45 \pm 252/59$ mg/kg سنجش شد. همچنین میزان غلظت سرب، کادمیم، نیکل و کروم در لجن خشک شده به ترتیب برابر $58/48 \pm 2/67$ ، غیر قابل تشخیص، $30/31 \pm 1/98$ و $506/25 \pm 813/81$ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک سنجش شده که این مقادیر از استانداردهای EPA DWAF guidelines، آمریکا و

شیوع بیماری‌های مزمن را به وجود آورند (16). لذا این تحقیق با هدف ارزیابی غلظت فلزات سنگین مهم در پساب دفعی، لجن برگشتی و لجن خشک شده دفعی و مقایسه آن‌ها با مقادیر استاندارد در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر گرگان انجام شد.

مواد و روش ها

این مطالعه از نوع مطالعه توصیفی - تحلیلی می‌باشد که در آن غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیم، نیکل و کروم در پساب و لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهری گرگان به مدت 6 ماه و با سه تکرار در ماه، در سال 1395 سنجش شد. سیستم تصفیه فاضلاب گرگان از نوع لجن فعال هوادهی گسترده می‌باشد که شامل 4 مرحله تصفیه مقدماتی آشغالگیری، دانه‌گیری، تصفیه بیولوژیکی، ته‌نشینی و ضد عفونی می‌باشد. در کل مراحل تحقیق، تعداد 176 نمونه فلز سنگین در طی 6 ماه، به صورت ماهیانه 3 نمونه از هر فلز، در دو دوره معرف فصل پرآبی و کم‌آبی از فروردین تا شهریور ماه سال 1395 مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت؛ برای سنجش حدود استاندارد پساب مورد استفاده برای آبیاری مناطق کشاورزی پائین دست، نمونه‌های پساب از محل پساب کلرزی شده خروجی و برای سنجش تغلیظ این فلزات در لجن در گردش و لجن دفعی مورد استفاده به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی، نمونه لجن برگشتی از حوض لجن برگشتی و لجن خشک شده نیز از بسترهای لجن خشک کن مطابق روش استاندارد برداشت شده و به آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی گلستان منتقل شد. جهت آنالیز فلزات سنگین از دستگاه‌های دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی مدل FS 240 ساخت کمپانی واریان و پلاروگراف مدل 797 متروم سوئیس به روش ولتامتری استفاده شد (15، 17). دستگاه‌ها ابتدا با محلول‌های استوک 4 فلز کالیبره شد و سپس نمونه‌ها بر اساس روش کتاب استاندارد متد توسط اسید نیتریک 65

جدول شماره 1: غلظت فلزات سنگین در پساب تصفیه خانه فاضلاب و استاندارد های داخلی و خارجی

pH	EC (μ s/cm)	کروم (mg/L)	نیکل (mg/L)	کادمیوم (mg/L)	سرب (mg/L)	تاریخ نمونه برداری / پارامتر مورد بررسی
7/42	1205	0/0102	0/0973	0/0082	0/0412	95/01/16
7/77	1260	0/00825	0/0441	N.D	0/0652	95/01/24
7/53	1082	0/0068	0/0585	N.D	0/0753	95/01/30
7/69	1211	0/0068	0/0495	0/0111	0/0934	95/02/05
7/69	1195	0/0102	0/0364	0/0037	0/0703	95/02/13
7/81	1227	0/00495	0/0357	0/0026	0/0715	95/02/25
7/89	1232	0/00825	0/0966	0/0203	0/1367	95/03/04
8	1275	0/00825	0/1021	0/0218	0/1383	95/03/16
7/9	1293	0/216	0/0134 _m	0/0048	0/09705	95/03/31
7/99	1261	0/216	0/0972	0/004	0/0294	95/04/02
7/73	1252	0/104	0/5117	0/0096	0/1089	95/04/12
7/88	1263	0/088	0/1159	0/0112	0/0415	95/04/27
7/91	1307	0/754	0/042	0/0269	0/1271	95/05/04
7/98	1234	0/08	0/0659	0/0195	0/1172	95/05/16
8/11	1237	0/1066	0/0473	0/0092	0/0614	95/05/23
7/85	1265	0/1054	0/1316	0/0082	0/1277	95/06/01
7/87	1317	0/052	0/0871	N.D	0/358	95/06/24
7/96	1322	0/063	0/0875	N.D	0/2585	95/06/30
7/83	1242	0/102706	0/095544	0/00895	0/105	میانگین غلظت
-	-	1	2	0/05	1	استاندارد حفاظت محیط زیست ایران - آبیاری (19)
-	-	0/1	0/2	0/01	5	استاندارد سازمان جهانی بهداشت (19)
-	-	0/1	0/2	0/01	5	استاندارد حفاظت محیط زیست آمریکا (19)
-	-	0/1	0/2	0/2	5	(20)FAO
-	-	0/1	0/2	0/01	0/1	Food and Agriculture Organization (20)MVE Ministry of Waters and Electricity

جدول شماره 2: غلظت فلزات سنگین در لجن برگشتی تصفیه خانه فاضلاب (بر حسب mg/kg وزن خشک) و استانداردها

pH	EC μ s/cm	TSS mg/L	Cr	Ni	Cd	Pb	تاریخ نمونه برداری / پارامتر مورد بررسی
7/35	1229	10890	890/72	542/51	N.D	97/199	95/01/16
7/38	1225	6940	374/63	563/11	5/33	389/4	95/01/24
7/44 _m	1041	6100	508/19	600	5/32	514/75	95/01/30
7/48	1175	2900	655/17	678/96	5/86	686/2	95/02/05
7/48	1137	6100	573/71	350/98	N.D	332/95	95/02/13
7/52	1198	5060	573/12	349/6	N.D	387/94	95/02/25
7/46	1292	6600	303/03	446/21	N.D	278/47	95/03/04
7/61	1222	5540	685/92	391/87	N.D	452/79	95/03/16
7/71	1246	4300	95/454	55/11	N.D	424/41	95/03/31
7/81	1228	3340	377/272	1307/48	N.D	817/81	95/04/02
7/73	1215	4210	172/727	464/84	N.D	505/93	95/04/12
7/81	1207	2740	768/1818	103/954	2/159	173/409	95/04/27
7/80	1244	3480	131/8181	81/409	7	199/613	95/05/04
7/90	1438	4300	131/8181	168/045	2/181	115/704	95/05/16
7/93	1273	2800	104/545	67/59	11/25	85/545	95/05/23
7/80	126	2700	259/0909	20/409	2/5454	97/8181	95/06/01
7/69	1265	3240	209/0909	126/2272	N.D	66/3636	95/06/02
7/93	1297	2820	177/727	56/2272	N.D	196/3636	95/06/03
7/66	1167	4670	388/45	354/140	2/31	323/48	میانگین غلظت
-	-	-	1200	420	39	300	(15) EPA-503
-	-	-	450	200	5	150	(22) DWAF guidelines
-	-	-	1200	420	10	300	American (23)
-	-	-	1000	100	10	200	Canada(23)

شماره 3، در خصوص غلظت فلزات سنگین در لجن خشک شده تصفیه خانه فاضلاب، بیشترین غلظت مربوط به فلز کروم و کمترین مربوط به فلز کادمیوم مشاهده گردید.

کانادا پایینتر مشاهده شد. همبستگی درون گروهی فلزات سنگین با یکدیگر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی EC، TSS و pH در پساب و لجن برگشتی نیز به ترتیب در جداول شماره 5 و 6 نشان داده شده اند. مطابق جدول

جدول شماره 4: مقایسه میانگین Cr و Ni، Cd، Pb در لجن خشک شده و لجن برگشتی بر اساس نرمال بودن داده ها

متغیر	نوع لجن	انحراف از معیار میانگین	P value	نوع آزمون
سرب	لجن خشک شده	58/48±2/67	>0/001*	مستقل
	لجن برگشتی	323/48±217/65		
کادمیم	لجن خشک شده	N.D	0/066	من ویتنی
	لجن برگشتی	2/44±3/3		
نیکل	لجن خشک شده	30/31±1/98	>0/001*	من ویتنی
	لجن برگشتی	354/14±322/79		
کروم	لجن خشک شده	220/25±15/54	0/357	من ویتنی
	لجن برگشتی	388/45±252/59		

*حد معنی داری در $p < 0/05$

بحث

مقادیر فلزات سنگین پساب از حد مجاز سازمان حفاظت محیط زیست ایران و استانداردهای WHO، EPA، FAO و MVE بسیار پایین تر بود (5، 21). هم چنین هیچ ارتباط آماری معنی داری بین فلزات نام برده در 18 نمونه پساب دیده نشده است ($p \geq 0/05$).

میزان عناصر یاد شده با مطالعه Ashraf و Balkhair در مورد خطرات تجمع فلزات سنگین در خاک و آبیاری سبزیجات با پساب فاضلاب در منطقه غربی عربستان مطابقت دارد (5).

جدول شماره 3: غلظت فلزات سنگین در لجن خشک شده تصفیه خانه فاضلاب (بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

نام نمونه / پارامتر مورد بررسی	سرب	کادمیم	نیکل	کروم
بستر شماره 1	57/87	N.D	30/49	230
بستر شماره 2	55/01	N.D	28/1	210
بستر شماره 3	56/03	N.D	31/032	200
بستر شماره 4	58/009	N.D	33/46	205
بستر شماره 5	60/1	N.D	27/65	235
بستر شماره 6	63/05	N.D	32/001	240
بستر شماره 7	61/02	N.D	31/03	220

در جدول شماره 4، مقایسه میانگین فلزات در لجن خشک شده و لجن برگشتی مقایسه گردید که معنی داری تفاوت فقط در غلظت نیکل مشاهده گردید. هم چنین مطابق جدول شماره 5 در خصوص همبستگی درون گروهی غلظت فلزات سنگین با یکدیگر و با پارامترهای فیزیکی شیمیایی در پساب، این ارتباط در هیچ یک از فلزات معنی دار نیست. اگر چه روند افزایش pH و EC سبب افزایش غلظت سرب، کادمیم، کروم و کاهش نیکل شده است، ولی در هیچ یک این ارتباط معنی دار نیست. در جدول شماره 6 نیز همبستگی درون گروهی فلزات سنگین با یکدیگر و پارامترهای فیزیکی شیمیایی در لجن برگشتی نشان داده شده است که ارتباط غلظت فلزات با یکدیگر، به استثناء سرب و نیکل، معنی دار نبود.

جدول شماره 5: همبستگی درون گروهی فلزات سنگین با یکدیگر و پارامترهای فیزیکی شیمیایی در پساب

پارامتر مورد بررسی	پارامترهای آماری	pH	Pb	Cd	Ni	Cr	EC
ضریب پیرسون	1	-	-	-	-	-	-
pH	Stig	-	-	-	-	-	-
تعداد نمونه	18	-	-	-	-	-	-
ضریب پیرسون	0/263	1	-	-	-	-	-
Pb	Stig	0/291	-	-	-	-	-
تعداد نمونه	18	18	-	-	-	-	-
ضریب پیرسون	0/308	0/268	1	-	-	-	-
Cd	Stig	0/213	0/283	-	-	-	-
تعداد نمونه	18	18	18	-	-	-	-
ضریب پیرسون	-0/121	0/092	0/063	1	-	-	-
Ni	Stig	0/633	0/716	0/805	-	-	-
تعداد نمونه	18	18	18	18	-	-	-
ضریب پیرسون	0/285	0/109	0/467	0/059	-	-	-
Cr	Stig	0/251	0/667	0/051	0/817	-	-
تعداد نمونه	18	18	18	18	18	-	-
ضریب پیرسون	0/627*	0/262	0/168	0/071	0/405	1	-
EC	Stig	0/005	0/294	0/505	0/096	-	-
تعداد نمونه	18	18	18	18	18	18	-

*حد معنی داری در $P \text{ value} < 0/05$

جدول شماره 6: همبستگی درون گروهی فلزات سنگین با یکدیگر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در لجن برگشتی

Cr	Ni	Cd	Pb	EC	Tss	pH	پارامترهای آماری	پارامتر مورد بررسی
-	-	-	-	-	-	1	ضریب پیروسون	pH
-	-	-	-	-	-	-	Sig	
-	-	-	-	-	-	18	تعداد نمونه	Tss
-	-	-	-	-	1	-0/774*	ضریب پیروسون	
-	-	-	-	-	-	0/000	Sig	EC
-	-	-	-	-	18	18	تعداد نمونه	
-	-	-	-	1	0/169	-0/018	ضریب پیروسون	Pb
-	-	-	-	-	0/503	0/942	Sig	
-	-	-	-	18	18	18	تعداد نمونه	Cd
-	-	-	1	0/114	-0/043	-0/277	ضریب پیروسون	
-	-	-	-	0/652	0/866	0/266	Sig	Ni
-	-	-	18	18	18	18	تعداد نمونه	
-	-	1	-0/114	-0/044	-0/252	0/148	ضریب پیروسون	Cr
-	-	-	0/651	0/862	0/312	0/559	Sig	
-	-	18	18	18	18	18	تعداد نمونه	Cr
-	1	-0/143	0/793**	0/150	0/290	-0/416	ضریب پیروسون	
-	-	0/570	0/000	0/554	0/243	0/086	Sig	Cr
-	18	18	18	18	18	18	تعداد نمونه	
1	0/371	-0/206	0/197	-0/022	0/501*	-0/612*	ضریب پیروسون	Cr
-	0/130	0/411	0/433	0/932	0/034	0/007	Sig	
18	18	18	18	18	18	18	تعداد نمونه	

* حد معنی داری در 0/05 < P value

و کروم لجن برگشتی در این تحقیق از تمامی استانداردهای ارائه شده در جدول شماره 7 به جز استاندارد کشور هلند کم تر بود، اما میزان فلز نیکل از همه استانداردها به استثنای کشور آمریکا بیش تر مشاهده شده است. این در حالی است که غلظت تمام این فلزات در لجن خشک شده در محدوده همه استانداردهای ارائه شده است. از طرف دیگر تحقیقات نشان داده است که منبع آلودگی کادمیوم بعضی از خاک های کشاورزی کودهای فسفاته شیمیایی بوده است (27).

نتایج تحقیق از نتایج به دست آمده توسط رحمانی و همکارانش برای غلظت های سرب، کادمیوم، نیکل و کروم لجن خشک شده تصفیه خانه فاضلاب شاهین شهر اصفهان، که به ترتیب 7/54، 0/55، 6/69 و 0/48 میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک به دست آمد، بیش تر بوده است (15). در حالی که نتایج این مطالعه با نتایج بینا و همکارانش که کیفیت لجن خشک شده تصفیه خانه فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف مختلف را مورد بررسی قرار دادند، کم تر بوده است (34).

هم چنین میزان میانگین فلز سرب کم تر و مقدار فلز کروم بیش تر از نتایج Cherfi و همکاران در ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات سنگین از طریق مصرف سزیمات آبیاری شده با پساب اصلاح شده شهری در الجزایر بوده است (22). میزان عناصر یاد شده در مطالعه Cecchini و همکارانش با بررسی فلزات موجود در تصفیه خانه فاضلاب شهری شهر رم کم تر از مقادیر سنجش شده در این گزارش مشاهده شده است (23). در لجن برگشتی، میزان میانگین فلز سرب از میزان استانداردهای EPA، DWAF، آمریکا و کانادا بالاتر بوده، ولی میانگین کادمیم و کروم پایین تر از حد استانداردهای مذکور می باشد. هم چنین میانگین غلظت فلز نیکل از استانداردهای EPA و آمریکا پایین تر و از سایر استانداردهای مذکور بالاتر است (24، 25). همان طور که نتایج نشان می دهد، غلظت همه فلزات سنگین در پساب به مراتب بیش تر از غلظت آن ها در لجن می باشد که نشان دهنده اثر تجمعی این آلاینده ها در توده زیستی لجن می باشد (26). غلظت سرب، کادمیم

جدول شماره 7: حد مجاز غلظت فلزات سنگین در لجن فاضلاب برای زمین‌های کشاورزی (بر حسب mg/kg وزن خشک)

منبع	کروم	کادمیم	نیکل	سرب	استاندارد کشورهای مختلف
-	388	2/81	354	323	مطالعه مختصر لجن و گشتی
-	230	ND	3049	57/87	مطالعه مختصر لجن خشک شده
(28)	-	40-20	300-400	750-1200	یونان
(29)	250	3	100	250	اسرائیل
(29)	200	5	100	1000	بزرگ بریتانیا
(29)	-	04	30	120	دانمارک
(28)	900	10	200	900	آلمان
(28)	1000	20	200	800	فرانسه
(30)	50	1	30	100	هند
(29)	400	10	120	300	اسپانیا
(31)	600	10	200	500	ایتالیا
(32)	500	5	80	500	اسلواکی
(33)	3000	85	420	840	آمریکا EPA

فاضلاب اشاره نمود (38). مطابق نتایج جدول شماره 5، همبستگی غلظت فلزات سنگین پساب با یکدیگر برای هیچ‌یک از فلزات معنی‌دار نیست. هم‌چنین اگرچه روند افزایش pH و EC سبب افزایش غلظت سرب، کادمیم، کروم و کاهش نیکل پساب شده است، ولی در هیچ‌یک این ارتباط معنی‌دار نیست. در جدول شماره 6 نیز همبستگی درون گروهی غلظت فلزات سنگین با یکدیگر در لجن برگشتی نشان داده شده است که ارتباط غلظت فلزات با یکدیگر، به استثناء سرب و نیکل، معنی‌دار نبود. اگرچه روند افزایش pH سبب کاهش سرب، نیکل و کروم و افزایش کادمیم در لجن برگشتی گردید، ولی این ارتباط فقط در کروم معنی‌دار بود. هم‌چنین افزایش TSS لجن برگشتی سبب افزایش EC، نیکل و کروم و کاهش سرب و کادمیم گردید که این ارتباط فقط در کروم معنی‌دار بود.

البته این نتایج با یافته‌های Lucienne و همکارانش برای افزایش محلول‌سازی کروم در بیولیچینگ توسط باکتری‌ها در pH پایین مطابقت دارد؛ به طوری که pH پایین سبب انحلال کروم موجود در بافت لجن به داخل محلول پساب می‌گردد، ولی این تطابق با مقدار جامدات لجن مشاهده نشد (39). از طرف دیگر تحقیقات نشان داده است که با کاهش pH، میزان جذب کروم توسط توده بیولوژیکی لجن افزایش یافته و سبب جلوگیری از خروج آن توسط پساب تصفیه شده می‌گردد (40). اگر چه تحقیقات زیادی نشان داده است که افزایش pH سبب افزایش جذب بیولوژیکی غیرفعال فلزات سنگین از جمله کروم توسط لجن می‌گردند (26)، به طوری که با افزایش pH به بالای 5/5، کروم (III) به علت افزایش غلظت یون هیدروکسید، رسوب می‌نماید (41). به‌طور کلی، نتایج نشان دادند غلظت میانگین فلزات سرب، کادمیم، نیکل و کروم در پساب و لجن خشک شده از حد استانداردهای داخلی و خارجی پایین‌تر است و استفاده از آن در جهت آبیاری مشکلی ندارد. اما در رابطه با لجن برگشتی با توجه به بالا بودن میزان سرب و

این در حالی است که نتایج نصرآزادانی و هودجی در ارزیابی تاثیر یک نمونه پساب صنعتی بر آلودگی خاک با فلزات سنگین در جنوب غربی اصفهان از نتایج به دست آمده در این تحقیق، به استثناء سرب، بیش‌تر گزارش شده است (35). مطابق نتایج آماری به دست آمده از جدول شماره 4، اختلاف میانگین غلظت فلزات سرب و نیکل بین لجن خشک بسترهای لجن خشک کن و لجن برگشتی معنی‌دار بود و اختلاف برای فلزات کادمیم و کروم معنی‌دار نبود؛ اگرچه غلظت همه عناصر موجود در لجن خشک‌شده بیش‌تر از لجن برگشتی بود. به‌طور کلی لجن دفعی پس از ورود به بسترهای لجن خشک کن حجم زیادی از رطوبت خود را به‌توسط زهکش کف بستر از دست می‌دهند که همراه آن مقداری از فلزات از سیستم خارج می‌گردد. هم‌چنین به واسطه فعالیت‌های بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها مانند اکسیداسیون، احیاء و متابولیسم لجن و بیولیچینگ که در لجن بستر اتفاق می‌افتد، مقدار دیگری از فلزات سنگین توده لجن محلول شده و توسط بارش‌ها و نزولات جوی صورت گرفته از سیستم زهکش بستر خارج می‌شوند (36). از سایر عوامل این امر را می‌توان به تاثیر گیاه پالایی توسط علف‌های رشد کرده بر روی بسترهای لجن خشک کن (37) و هم‌چنین توانایی بالای کرم‌های موجود در خاک و لجن‌ها برای حذف فعال و موثر فلزات سنگین و مواد آلی از لجن

طرح پژوهشی با عنوان "بررسی غلظت فلزات سنگین و تخم انگل در پساب و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری گرگان، سال 1395" و کد 950214041 است که با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی گلستان اجرا شده است که نویسندگان از همکاری آن معاونت کمال تشکر و قدردانی را دارند. هم‌چنین از همه افرادی که در سازمان آب و فاضلاب استان گلستان جهت انجام این طرح ما را یاری نموده‌اند، سپاسگزاری می‌گردد.

نیکل، نیاز به پایش مستمر و دائمی سیستم تصفیه و لجن برگشتی می‌باشد. هم‌چنین تدوین یک استاندارد داخلی به منظور استفاده از لجن فاضلاب برای کاربردهای مختلف با رعایت کلی اصول بهداشتی و شیمیایی، مناسب با شرایط آب و هوایی کشور ضروری است.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از نتایج پایان نامه دانشجویی کارشناسی ارشد موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی لامعی گرگانی، خانم نسرین سنگ‌بری و حاصل بخشی از

References

1. Biggs TW, Jiang B. Soil salinity and exchangeable cations in a wastewater irrigated area. India. J Environ Qual. 2009;38(3):887-889.
2. Palese A, Pasquale V, Celano G, Figliuolo G, Masi S, Xiloyannis C. Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: effects on microbiological quality of soil and fruits. Agric, Ecosyst Environ. 2009;129(1-3):43-51.
3. Duncan RR, Carrow RN, Huck MT. Turfgrass and Landscape Irrigation Water Quality: Assessment and Management. Boca Raton: CRC Press, 2008.
4. Martinez CJ, Clark MW, Toor GS, Hochmuth GJ, Parsons LR. Accounting for the Nutrients in Reclaimed Water for Landscape Irrigation¹. Florida : Institute of Food and Agricultural Sciences. 2011.
5. Balkhair KS, Ashraf MA. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. Saudi J Biol Sci. 2016;23(1):32-44.
6. Dadban Shahamat Y, Zazouli MA, Asgharnia H, Dehghanifard E. Evaluation of Rapid Purification of High Concentrations of 2, 4-Dinitrophenol in Wastewater Using Catalytic Ozonation with Carboneus Nanocomposite. Mazandaran Univ Med Sci. 2016;25(133):138-149 (Persian).
7. Muchuweti M, Birkett J, Chinyanga E, Zvauya R, Scrimshaw MD, Lester J. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. Agric, Ecosyst Environ. 2006;112(1):41-48.
8. Filipović J, Grčić I, Bermanec V, Kniewald G. Monitoring of total metal concentration in sludge samples: Case study for the mechanical-biological wastewater treatment plant in Velika Gorica, Croatia. Sci Total Environ. 2013;447:17-24.
9. Dadban Shahamat Y, Rezaei Kalantary R, Zazouli MA, Bakhshi A, Zeynalzadeh D. Disinfection of Effluent Using

- Catalytic Ozonation Process and Economical Comparison with Chlorination. *J Mazand Univ Med Sci.* 2016;26(140):103-114 (Persian).
10. Chen H, Teng Y, Lu S, Wang Y, Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Sci Total Environ.* 2015;512-513:143-153.
 11. Zazouli M, Yousefi Z. Removal of heavy metals from solid wastes leachates coagulation-flocculation process. *J Appl Sci.* 2008;8(11):2142-2147.
 12. Zazouli MA, Asgharnia H, Yazdani Cherati J, Ziaee Hezarjeribi H, Ahmadnezhad A. Evaluation of Cow Manure Effect as Bulking Agent on Concentration of Heavy Metals in Municipal Sewage Sludge Vermicomposting. *Mazandaran Univ Med Sci.* 2015;25(124):152-169 (Persian).
 13. Zafarzadeh A , Mehdinejad M, Amanidaz N. Accumulation of Heavy Metals in Agricultural Soil Irrigated by Sewage Sludge and Industrial Effluent (Case Study: Agh ghallah Industrial Estate). *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2015;24(121):217-226.
 14. Martin O, Voulvoulis N. Sustainable risk management of emerging contaminants in municipal wastewaters. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2009;367(1904):3895-3922.
 15. Rahmani HR, Moayeri M, Mazaheri Kouhanestani Z, Khodabakhsh N, Sharifi H. Studying some of the qualitative properties and concentration of heavy metals in dried sewage sludge from Shahin-Shahr WWTP in Isfahan. *Journal of Environmental Science and Technology.* 2014;16(2):55-66 (Persian).
 16. Farzadkia M, Jaafarzadeh N, Loveimi Asl L. Optimization of bacteriological quality of biosolids by lime addition. *Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering.* 2009;6(1):29-34.(persian).
 17. Shahryari A, Shehamat Y. An investigation on the lead and cadmium content in vegetables and irrigating water in some farms in Gorgan, Iran. *Int J Env Health Eng.* 2012;1(1):63-66.
 18. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington DC: APHA, AWWA, WEF.2005.
 19. Pourang N, Noori A. Heavy metals contamination in soil, surface water and groundwater of an agricultural area adjacent to Tehran oil refinery, Iran. *International Journal of Environmental Research* 2014;8(4):871-886.
 20. Balkhair KS, Ashraf MA. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi J Biol Sci* 2016;23(1):32-44.
 21. Pourang N, Noori A. Heavy metals contamination in soil, surface water and groundwater of an agricultural area adjacent to Tehran oil refinery, Iran. *International Journal of Environmental Research.* 2014;8(4):871-886
 22. Cherfi A, Achour M, Cherfi M, Otmani S, Morsli A. Health risk assessment of heavy metals through consumption of vegetables irrigated with reclaimed urban

- wastewater in Algeria. *Process Saf Environ Prot.* 2015;98:245-252.
23. Cecchini G, Cirello P, Eramo B. Partitioning dynamics and fate of metals in an urban wastewater treatment plant. *Environ Eng Manag J.* 2015;14(7):1511-1520.
 24. Shamuyarira KK, Gumbo JR. Assessment of heavy metals in municipal sewage sludge: a case study of Limpopo Province, South Africa. *Int J Env Res Public Health.* 2014;11(3):2569-2579.
 25. Liu JY, Sun Sh Y. Total concentrations and different fractions of heavy metals in sewage sludge from Guangzhou, China. *Trans Nonferrous Met.* 2013;23(8):2397-2407.
 26. AjayKumar AV, Darwish NA, Hilal N. Study of various parameters in the biosorption of heavy metals on activated sludge. *World Appl Sci J.* 2009;5(5):32-40.
 27. Zazouli MA, Bandpei AM, Maleki A, Saberian M, Izanloo H. Determination of cadmium and lead contents in black tea and tea liquor from Iran. *Asian J Chem* 2010;22(2):1387-1393
 28. Karvelas M, Katsoyiannis A, Samara C. Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process. *Chemosphere.* 2003;53(10):1201-1210.
 29. Voutsas D, Zaxariadis G, Gaantidis N, Samara C, Kouimtzis Th. Evaluation of municipal and industrial wastewater sludges for agricultural purposes. *Fresenius Environ Bull* 1996;5:1-6.
 30. Cornu S, Neal C, Ambrosi J-P, Whitehead P, Neal M, Sigolo J, et al. The environmental impact of heavy metals from sewage sludge in ferralsols (Sao Paulo, Brazil). *Sci Total Environ.* 2001;271(1):27-48.
 31. Lazzari L, Sperti L, Bertin P, Pavoni B. Correlation between inorganic (heavy metals) and organic (PCBs and PAHs) micropollutant concentrations during sewage sludge composting processes. *Chemosphere.* 2000;41(3):427-435.
 32. Ščančar J, Milačič R, Stražar M, Burica O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. *Sci Total Environ.* 2000;250(1-3):9-19.
 33. EPA. Land application of sewage sludge. A guide for land applies on the requirement of the Federal standards for the use or disposal of sewage sludge, 40 CFR 503. Washington, DC:EPA. 1994.
 34. Bina B, Movahedian H, Amini AA. Evaluation of Potentially Harmful Substances in Dried Sludge of Isfahan Wastewater Treatment Plants. *Water and Wastewater.* 2004;15(1):34-42 (Persian).
 35. Nasrazadani A, Hoodaji M. Evaluation of the Effect of an Industrial Wastewater Sample on Heavy Metals Contaminated Soil. *Journal of Environmental Science and Technology* 2014;16(1):437-450 (Persian).
 36. Deng X, Chai L, Yang Z, Tang C, Wang Y, Shi Y. Bioleaching mechanism of heavy metals in the mixture of contaminated soil and slag by using indigenous *Penicillium chrysogenum* strain F1. *J Hazard Mater.* 2013;248-249:107-114.
 37. Sun Y, Zhou Q, Xu Y, Wang L, Liang X. Phytoremediation for co-contaminated soils of benzo [a] pyrene (B [a] P) and heavy metals using ornamental plant

- Tagetes patula. J Hazard Mater. 2011;186(2):2075-2082.
38. Asgharnia H, Jafari AJ, Kalantary RR, Nasser S, Mahvi A, Yaghmaeian K, et al. Influence of bioaugmentation on biodegradation of phenanthrene-contaminated soil by earthworm in lab scale. J Environ Health Sci Eng. 2014;12(1):150.
39. Villar LD, Garcia O. Solubilization profiles of metal ions from bioleaching of sewage sludge as a function of pH. Biotechnol Lett. 2002;24(8):611-614.
40. Ozdemir G, Ozturk T, Ceyhan N, Isler R, Cosar T. Heavy metal biosorption by biomass of Ochrobactrum anthropi producing exopolysaccharide in activated sludge. Bioresour Technol. 2003;90(1):71-74.
41. Witek-Krowiak A, Szafran RG, Modelski S. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions onto peanut shell as a low-cost biosorbent. Desalination. 2011;265(1-3):126-134.