ORIGINAL ARTICLE

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

Yousef Dadban Shahamat[1],
Nasrin Sangbari[2],
Ali Zafarzadeh[1],
Somayeh Beirami[3]

[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

J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27 (150):158-169.(Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و هفتم شماره 150 تیر سال 1396 (169-158)

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

یوسف دادبان شهامت[1]
نسرین سنگ بری[2]
علی ظفرزاده[1]
سمیه بیرامی[3]

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی محیط‌زیست 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 تصفیه‌خانه فاضلاب گرگان طی 6 ماه در سال 95 نمونه‌برداری و غلظت فلزات سرب، کادمیوم، نیکل و کروم توسط دستگاه پلاروگراف مدل متروم ساخت کشور سوئیس و جذب اتمی کوره مدل 240 واریان در محل آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم‌پزشکی گلستان سنجش شد.

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

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 تجمع‌پذیری 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

در طول سی سال گذشته، هدف از تصفیه فاضلاب بهبود کیفیت پساب تصفیه شده، با توجه به تحولات نظارتی و افزایش حساسیت به مسائل زیست‌محیطی و حفاظت از منابع آب بوده است. آبیاری با فاضلاب

مولف مسئول: نسرین سنگبری - گرگان: موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی لامعی گرگانی، گروه مهندسی عمران Email: nsarin.sb@gmail
1. استادیار، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
2. کارشناس ارشد مهندسی عمران- آب و فاضلاب، موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی لامعی گرگانی، 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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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 می تواند تهدید جدی زیست محیطی برای کیفیت شیمیایی خاک و محصولات کشاورزی و هم چنین 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/cm3 اشاره دارد. این مواد و ترکیبات آن‌ها به طور طبیعی در سراسر محیط خاک و در همه جا یافت می شوند(10). حضور و پایداری فلزات سنگین در محیط، خاصیت تجمعی آن‌ها در بدن موجودات و عدم تجزیه آن‌ها مانند سایر ترکیبات آلی، مشکلات قابل ملاحظه زیست محیطی و بهداشتی را ایجاد می‌نماید(11).

این در حالی است که سمیت این آلاینده‌ها و خطر تجمع بیولوژیکی آن ها در زنجیره غذایی، اهمیت بهداشتی آن‌ها را در جوامع امروزی بیش‌تر کرده 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- سیزیجات- موادغذایی است؛ در نتیجه حضور فلزات سنگین در پساب و لجن فاضلاب تصفیه‌خانه ها 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 آن ها 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 تصفیه خانه‌های 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، پراکندگی جمعیت و مکان منابع ورود آلاینده‌ها، کار پیچیده‌ای است و نیاز به پایش مستمر دارد(14). به‌طوری که فقدان نظارت کافی بر کیفیت پساب و لجن‌های دفعی از تصفیه خانه‌های کشور موجب شده که در بیش‌تر موارد این مواد به صورت تجمع‌یافته به محیط راه پیدا نموده و خسارات زیادی را بر منابع طبیعی وارد نمایند و آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی و

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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 تصفیه خانه 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 ضدعفونی می باشد. 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 کلرزنی شده خروجی و برای سنجش تغلیظ این فلزات در لجن در گردش و لجن دفعی مورد استفاده به عنوان کود در زمین‌های کشاورزی، نمونه لجن‌برگشتی از حوض لجن‌برگشتی 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 240 FS 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 درصد درصد هضم اسیدی تر شدند. جهت هضم نمونه‌های لجن، 5 میلی‌لیتر از نمونه لجن را برداشته در یک بشر 50 میلی‌لیتری ریخته، سپس 5 میلی‌لیتر 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 بن‌ماری در دمای 95 درجه سانتی‌گراد 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 mg/L 0/105±0/06 بوده که این مقدار برای کادمیم برابر mg/L 0/0089±0/008، نیکل برابر mg/L 0/095±0/108 و برای کروم برابر mg/L 0/102±0/175 اندازه‌گیری 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 mg/kg 323/48±217/65، mg/kg 2/44±3/3، mg/kg 35/14±322/79 و mg/kg 388/45±252/59 سنجش شد. همچنین میزان غلظت سرب، کادمیم، نیکل و کروم در لجن خشک شده به ترتیب برابر 58/48±2/67، غیر قابل تشخیص، 30/31±1/98 و 506/25±813/81 میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک سنجش شده که این مقادیر از استانداردهای EPA DWAF guidelines، آمریکا و

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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

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

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

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

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 شده‌اند. مطابق جدول شماره 3، در خصوص غلظت فلزات سنگین در لجن خشک شده تصفیه‌خانه فاضلاب، بیش‌ترین غلظت مربوط به فلز کروم و کم‌ترین مربوط به فلز کادمیوم مشاهده گردید.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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 معنی‌داری تفاوت فقط در غلظت نیکل مشاهده گردید. هم‌چنین مطابق جدول شماره 5 در خصوص همبستگی درون گروهی غلظت فلزات سنگین با یکدیگر و با پارامترهای فیزیکوشیمیایی در پساب، این ارتباط در هیچ یک از فلزات معنی‌دار نیست. اگر چه روند افزایش pH و EC سبب افزایش غلظت سرب، کادمیوم، کروم و کاهش نیکل شده است، ولی در هیچ یک این ارتباط معنی‌دار نیست. در جدول شماره 6 نیز همبستگی درون گروهی فلزات سنگین با یکدیگر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در لجن برگشتی نشان داده شده است که ارتباط غلظت فلزات با یکدیگر، به استثناء سرب و نیکل، معنی‌دار نبود.

جدول شماره 4: مقایسه میانگین Pb، Cd، Ni و Cr 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 t
	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 پایین‌تر بود(5، 21). هم چنین هیچ ارتباط آماری معنی‌داری بین فلزات نام برده در 18 نمونه پساب دیده نشده است ($p \geq$ 0/05).

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

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

پارامتر مورد بررسی	پارامترهای آماری	pH	Pb	Cd	Ni	Cr	EC
pH	ضریب پیرسون	1	-	-	-	-	-
	Sig	-	-	-	-	-	-
	تعداد نمونه	18	-	-	-	-	-
Pb	ضریب پیرسون	0/263	1	-	-	-	-
	Sig	0/291	-	-	-	-	-
	تعداد نمونه	18	18	-	-	-	-
Cd	ضریب پیرسون	0/308	0/268	1	-	-	-
	Sig	0/213	0/283	-	-	-	-
	تعداد نمونه	18	18	18	-	-	-
Ni	ضریب پیرسون	-0/121	0/092	0/063	1	-	-
	Sig	0/633	0/716	0/805	-	-	-
	تعداد نمونه	18	18	18	18	-	-
Cr	ضریب پیرسون	0/285	0/109	0/467	-0/059	-	-
	Sig	0/251	0/667	0/051	0/817	-	-
	تعداد نمونه	18	18	18	18	18	-
EC	ضریب پیرسون	0/627*	0/262	0/168	0/071	0/405	1
	Sig	0/005	0/294	0/505	0/780	0/096	-
	تعداد نمونه	18	18	18	18	18	18

* حد معنی داری در P value < 0/05

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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

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

* حد معنی داری در P value < 0/05

هم‌چنین میزان میانگین فلز سرب کم‌تر و مقدار فلز کروم بیش‌تر از نتایج Cherfi و همکاران در ارزیابی خطرات بهداشتی فلزات سنگین از طریق مصرف سبزیجات 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 تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهر رم کم‌تر 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 پایین‌تر از حد استانداردهای مذکور می‌باشد. هم‌چنین میانگین غلظت فلز نیکل از استانداردهای EPA و آمریکا پایین‌تر و از سایر استانداردهای مذکور بالاتر است(24، 25). همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، غلظت همه فلزات سنگین در پساب به مراتب بیش‌تر از غلظت آن‌ها در لجن می‌باشد که نشان‌دهنده اثر تجمعی این آلاینده‌ها در توده زیستی لجن می‌باشد(26). غلظت سرب، کادمیم و کروم لجن برگشتی در این تحقیق از تمامی استانداردهای ارائه شده در جدول شماره 7 به جز استاندارد کشور هلند کم‌تر بود، اما میزان فلز نیکل از همه استانداردها به استثنای کشور آمریکا بیش‌تر 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 خاک‌های کشاورزی کودهای فسفاته شیمیایی بوده است(27).

نتایج تحقیق از نتایج به دست آمده توسط رحمانی و همکارانش برای غلظت‌های 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 میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک به دست آمد، بیش‌تر بوده است(15). در حالی که نتایج این مطالعه با نتایج بینا و همکارانش که کیفیت لجن خشک شده تصفیه‌خانه فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف مختلف را مورد بررسی قرار دادند، کم‌تر بوده است(34).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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

استاندارد کشورهای مختلف	سرب	نیکل	کادمیم	کروم	منبع
مطالعه حاضر لجن برگشتی	323	354	2/61	388	-
مطالعه حاضر لجن خشک شده	57/87	30/49	ND	230	-
یونان	750- 1200	300- 400	40- 20	-	(28)
استرالیا	250	100	3	250	(29)
بلژیک	1000	100	5	200	(29)
دانمارک	120	30	0/4	-	(29)
آلمان	900	200	10	900	(28)
فرانسه	800	200	20	1000	(28)
هلند	100	30	1	50	(30)
اسپانیا	300	120	10	400	(29)
ایتالیا	500	200	10	600	(31)
اسلواکی	500	80	5	500	(32)
آمریکا EPA	840	420	85	3000	(33)

این در حالی است که نتایج نصرآزادانی و هودجی در ارزیابی تاثیر یک نمونه پساب صنعتی بر آلودگی خاک با فلزات سنگین در جنوب‌غربی اصفهان از نتایج به دست‌آمده در این تحقیق، به استثنای 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 کادمیوم و کروم معنی‌دار نبود؛ اگر چه غلظت همه عناصر موجود در لجن خشک‌شده بیش‌تر از لجن برگشتی بود. به طور کلی لجن دفعی پس از ورود به بسترهای لجن خشک کن حجم زیادی از رطوبت خود را به توسط 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 بیولیچینگی 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 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، کادمیوم، کروم و کاهش نیکل پساب شده است، ولی در هیچ یک این ارتباط معنی‌دار نیست. در جدول شماره 6 نیز همبستگی درون‌گروهی غلظت فلزات سنگین با یکدیگر در لجن برگشتی نشان داده‌شده است که ارتباط غلظت فلزات با یکدیگر، به استثناء سرب و نیکل، معنی‌دار نبود. اگر چه روند افزایش pH سبب کاهش سرب، نیکل و کروم و افزایش کادمیوم 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 کادمیوم 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 افزایش‌یافته 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 هیدروکسیل، 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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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 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 می گردد.

References

1. Biggs TW, Jiang B. Soil salinity and exchangeable cationsin 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 andLandscape Irrigation Water Quality: Assessment andManagement. 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 Irrigation[1]. 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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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, Moayyeri 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):871-886تکراری.
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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

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. Voutsa D, Zaxariadis G, Gaantidis N, Samara C, Kouimtzis Th. Evaluation of municipal and industrial wastewater sludges for agricultural purposes. Fresenious 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, Sperni 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

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]

Tagetes patula. J Hazard Mater. 2011;186(2):2075-2082.

38. Asgharnia H, Jafari AJ, Kalantary RR, Nasseri 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.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-07]