مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هجدهم ، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۲۲۹ تا ۲۴۴

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir
مقاله پژوهشی

تحلیل جامع پسماندهای صنایع قند چغندری ایران: ارزیابی کمی، تخمین ضرایب تولید و بررسی همبستگی تولید پسماند با ماده خام مصرفی (۱۳۸۱-۱۴۰۱)

علی سلیمی‌فرد[۱]، کامیار یغمائیان[۱]، مینا آقائی[۱]، نازنین دستجردی[۱]، فضل‌الله چنگانی خوراسگانی[۲،۱*]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
۲- مرکز تحقیقات مواد زائد جامد، پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۵

واژگان کلیدی: مدیریت پسماند، نرخ تولید پسماند، پسماند صنایع قند، گل صافی، تفاله چغندرقند

چکیده

زمینه و هدف: صنایع قند چغندری از تولیدکنندگان عمده پسماندهای آلی هستند. مدیریت صحیح این پسماندها، تفاله چغندرقند و گل صافی، می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات محیط زیستی، ارزش اقتصادی ایجاد کند. این مطالعه با هدف ارزیابی کمی پسماندهای صنایع قند چغندری ایران، بررسی همبستگی بین میزان تولید پسماند و میزان ماده خام مصرفی (چغندرقند) و دستیابی به ضرایب تخمین تولید پسماندهای تولیدی انجام شد.

روش بررسی: این پژوهش یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که داده‌های ۲۱ ساله صنایع قند ایران را بررسی کرده است. میزان تولید پسماندها از داده‌های انجمن صنفی کارخانجات قند استخراج شد و تحلیل‌های آماری شامل آزمون نرمال بودن و همبستگی اسپیرمن در نرم‌افزار R انجام گردید. همچنین از نرم‌افزار ArcGIS برای تهیه نقشه پراکندگی صنایع قند چغندری فعال در کشور استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان تولید تفاله چغندرقند و گل صافی با مقدار چغندرقند مصرفی همبستگی مثبت دارد. ضرایب تخمین تولید آنها به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۰۸ تن به‌ازای هر تن ماده خام ورودی تعیین شد.

نتیجه‌گیری: با مدیریت بهینه این پسماندها، امکان استفاده در خوراک دام، تولید بیوگاز و اصلاح خاک فراهم می‌شود. تدوین راهبردهای مدیریتی جامع ضروری است تا علاوه بر کاهش اثرات محیط زیستی، بهره‌وری صنعت قند افزایش یابد.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
fchangan@tums.ac.ir

Please cite this article as: Salimifard A, Yaghmaeian K, Aghaei M, Dastjerdi N, Changani Khorasgani F. Comprehensive analysis of waste from Iran's sugar beet industry: quantitative assessment, estimation of production coefficients, and evaluation of waste production correlation with raw material consumption (2002-2022). Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(2):229-44.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

مقدمه

محیط‌زیست یکی از عناصر اصلی در ارتباط با سلامت فرد و جامعه است و از طرفی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مشکل آلودگی محیطی را نمی‌توان رضایت بخش تلقی کرد (۱). صنایع، اصلی‌ترین منبع انتشار آلاینده‌های محیطی (آب، هوا و خاک) بوده و نقشی حیاتی در اقتصاد جهان ایفا می‌کنند (۲، ۳). صنایع مختلف مقادیر زیادی پسماند تولید می‌کنند که آنها را با مشکلات زیادی در موضوع دفع پسماندهای تولیدی و آلایندگی محیط‌زیستی مواجه می‌کند. صنایع قند به‌عنوان یکی از صنایعی شناخته می‌شوند که مقادیر زیادی پسماند تولید می‌کنند (۴).

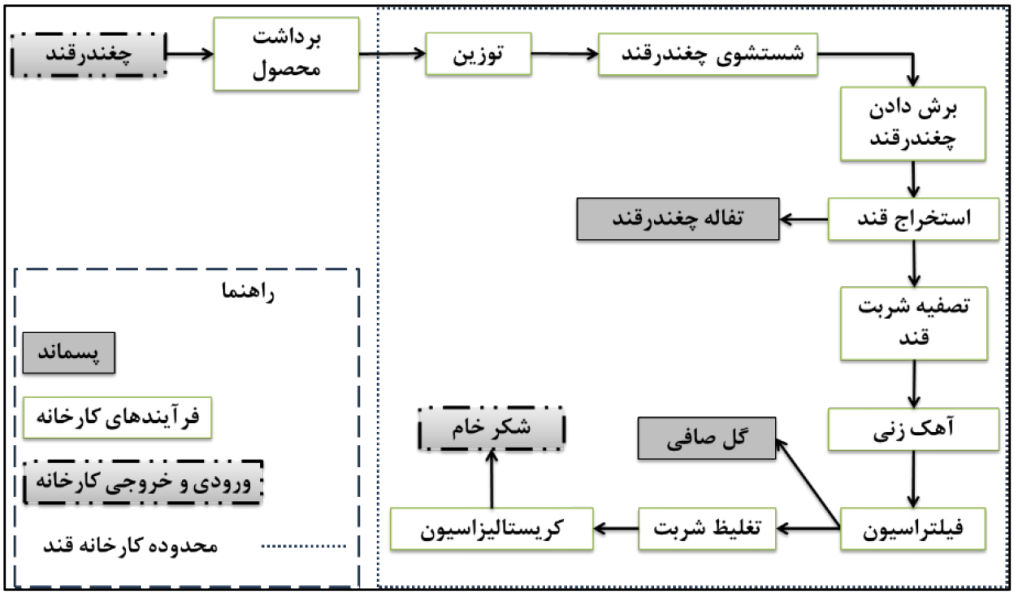
صنایع قند به عنوان یکی از صنایع کشاورزی- صنعتی (Agro-Industrial Waste) شناخته می‌شوند، بنابراین پسماند حاصل از این صنعت را نیز می‌تواند به عنوان پسماند کشاورزی- صنعتی در نظر گرفته شود. پسماند کشاورزی-صنعتی به پسماندهایی اطلاق می‌شود که در طی فرآیندهای کشاورزی و صنعتی تولید می‌شوند که از جمله آنها می‌توان به بقایای محصولات کشاورزی و محصولات فرعی فرآوری مواد غذایی اشاره کرد (۵). به طور کلی، پسماندهای کشاورزی- صنعتی عمدتاً از زیست توده لیگنوسلولزی (Lignocellulosic Biomass) تشکیل شده است و به دلیل خواص ویژه آن (مانند خواص مکانیکی، حرارتی، تجدیدپذیری، در دسترس بودن، غیرسمی بودن، هزینه کم و زیست تخریب پذیری) به عنوان یک جایگزین جدید برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالا در نظر گرفته می‌شوند (۶). پسماندهای تولید شده در صنایع قند نیز از این قاعده مستثنی نبوده و کاربردهای متنوعی را دارا هستند.

صنایع قند بر اساس ماده اولیه بکار رفته برای تولید قند به دو دسته: ۱) صنعت قند نیشکری و ۲) صنعت قند چغندری تقسیم می‌شوند که در این مطالعه، صنایع قند چغندری به دلیل غالب بودن صنایع آن در ایران نسبت به نیشکری مورد بررسی قرار می‌گیرند. پسماند تولیدی در صنایع قند چغندری ایران شامل تفاله چغندرقند ((Sugar Beet Pulp (SBP) و گل صافی (Filter Mud) است (۷).

در صنایع قند چغندری، بعد از استخراج ساکارز از چغندرقند، پسماندی حاوی اجزای باقیمانده از چغندرهای‌قند فرآوری شده، تولید می‌شود که به آن تفاله چغندرقند می‌گویند. همچنین تفاله چغندرقند از محصولات جانبی فرآیند استخراج قند از چغندرقند هست (۸). اجزای تشکیل دهنده این پسماند شامل: پلی‌ساکارید (۳۰ درصد سلولز و ۲۶/۸ درصد همی‌سلولز)، پکتین (۲۴/۲ درصد)، پروتئین (۱۰/۳ درصد)، خاکستر (۱۲/۸۴ درصد) و لیگنین (۴/۱ درصد) است (۹). در سال ۲۰۱۱، ۲۷۱/۶ میلیون تن چغندرقند در جهان تولید شده (۱۰) که بعد از فرآوری آن حدود ۶۸ میلیون تن SBP تر و ۱۷ میلیون تن SBP خشک تولید شد (۱۱).

پسماند دیگری که در این صنعت تولید می‌شود گل صافی است که به باقیمانده حاصل از فرآیند فیلتراسیون شربت استخراج شده از نیشکر و چغندرقند اطلاق می‌گردد (۱۲). فرآیند فیلتراسیون، شربت را به یک شربت شفاف (زلال)، که در قسمت سطحی جریان شربت قرار می‌گیرد و گل که در قسمت پایین جمع می‌شود، جداسازی می‌کند. شربت شفاف بدست آمده در تولید شکر مورد استفاده قرار می‌گیرد. درحالی‌که گل دوباره فیلتر می‌شود تا مواد معلق آن که شامل نمک‌های محلول و تفاله ریز است؛ جداسازی شود (۴). ترکیب گل صافی تولید شده تحت تأثیر فرآیند کربناسیون و سولفیتاسیون انتخاب شده برای خالص‌سازی یا تصفیه شربت بوده و اجزای اصلی آن شامل رطوبت (۶۵-۵۰ درصد)، فیبر (۳۰-۱۵ درصد)، موم خام (۱۴-۵ درصد)، شکر (۱۵-۵ درصد)، پروتئین خام (۱۵-۵ درصد) و نیتروژن (۲/۵-۲ درصد) است (۱۳). گل صافی معمولاً دارای رطوبت بالایی بوده و شیرابه‌ای اسیدی و حاوی مواد آلی با قابلیت تجزیه بیولوژیکی نسبتاً بالا (BOD) تشکیل می‌دهد. نفوذ شیرابه حاصل از گل صافی، بر روی آب‌های زیرزمینی کم‌عمق از طریق پیدایش بو و رنگ مایل به زرد تأثیر می‌گذارد (۱۴). در ادامه یک شماتیک کلی از فرایندهای کارخانه قند چغندری در شکل ۱ ارائه شده است (۷).

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]



شکل ۱- شماتیک کلی از فرایندهای کارخانه و مراحل تولید پسماند

با توجه به مطالب ذکر شده، پسماندهای صنایع قند حاوی اجزای با ارزشی بوده و در صورتی که مورد بهره‌برداری مناسب و صحیح قرار گیرند؛ می‌توانند به‌جای ایجاد چالش برای صنایع قند، سود اقتصادی مضاعفی را برای این صنایع ایجاد کنند و این موضوع نیازمند تدوین برنامه مدیریتی جامع برای پسماندهای این صنعت است. برای اینکه امکان تدوین برنامه‌های مدیریتی وجود داشته باشد؛ باید ابتدا میزان تولید هر یک از پسماندهای ذکر شده، مشخص گردد. نظر به این که تا به حال هیچ مطالعه‌ای در این زمینه در کشور انجام نشده است، مطالعه حاضر با هدف آنالیز کمی داده‌های صنایع قند کشور انجام شده است. اهداف این مطالعه شامل تعیین تعداد صنایع فعال قند (چغندری) در کشور، تعداد روزهای فعالیت صنایع، میزان تولید پسماندهای تفاله چغندرقند و گل صافی (تن در سال) و تعیین ضریب تبدیل برای هر کدام از پسماندهای تولیدی و همچنین بررسی میزان همبستگی بین میزان چغندرقند (ماده خام) مصرفی و پسماندهای تولیدی (گل صافی و تفاله چغندرقند) هستند.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی است که بصورت مقطعی پسماندهای تولیدی صنایع قند چغندری ایران را در سال های ۱۳۸۱-۱۴۰۱ مورد بررسی قرار می دهد.

برای دستیابی به اهداف متعدد مطالعه، اطلاعات مورد نیاز صنایع قند از انجمن صنفی کارخانجات قند برای بازه ۲۰ ساله (از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱) اخذ گردید. این انجمن، آمار مربوط به تمام کارخانه‌های قند و شکر فعال را در قالب اطلاعات سالیانه که به این مرکز گزارش می‌شود؛ دریافت می‌کند. این داده‌ها در قالب جدول به صورت فایل‌های Excel و PDF از سمت این انجمن ارائه شدند.

داده‌های دریافت شده شامل داده‌های مختلف و متنوعی با عناوین، مشخصات کارخانه (واحد)، آمار ماده خام مصرفی (چغندرقند)، زمان بهره‌برداری، درصد قند چغندر، قند و شکر

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

تولیدی ویژه، بازدهی تولید، درصد ضایعات قند، محصولات فرعی، نسبت چغندرقند و درجه خلوص هستند. هر کدام از عناوین ذکر شده شامل بخش‌های مختلفی هستند که فقط قسمت‌های مورد نیاز برای رسیدن به اهداف مطالعه، از آن استخراج گردید.

از بین عناوین ذکر شده فقط مشخصات کارخانه (واحد)، آمار چغندرقند خام مصرفی، مدت زمان فعالیت واحد و درصد ضایعات قند برای انجام این مطالعه استفاده شدند. برای این منظور ظرفیت اسمی (تن در روز)، چغندر مصرفی (تن در سال)، مدت بهره‌برداری (روز)، درصد گل صافی و تفاله چغندرقند تولیدی از ماده خام ورودی از فایل‌های دریافت شده از انجمن صنفی کارخانجات قند، استخراج گردیده و وارد نرم‌افزار Excel 2021 شد.

لازم به ذکر است که برای برآورد میزان پسماند تولیدی در واحدهای قند و شکر از چغندرقند، ابتدا بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، میزان ماده خام مصرفی سالانه هر واحد تعیین شد. سپس این مقدار در درصد تولید هر یک از ضایعات (تفاله چغندرقند و گل صافی) ضرب گردید تا میزان سالانه پسماند تولیدی هر واحد (بر حسب تن در سال) محاسبه شود. با میانگین‌گیری و محاسبه انحراف معیار، بازه تولید سالانه هر نوع پسماند در سطح کشور به دست آمد.

درصد تولید هر یک از این پسماندها متغیر بوده و طیف وسیعی از مقادیر را شامل می‌شود. در این میان، تعداد محدودی از داده‌های پرت و نادرست در بخش ضرایب تولید پسماند، که از گزارش‌های انجمن صنفی استخراج شده بودند، شناسایی و پیش از انجام تحلیل‌های آماری حذف شدند تا از تأثیرگذاری آنها بر نتایج جلوگیری شود.

درنهایت بعد از گردآوری و مرتب‌سازی داده‌ها در یک فایل اکسل، تحلیل‌های مورد نیاز برای تعیین میانگین، انحراف معیار و همبستگی بر روی داده‌ها انجام شد. تحلیل‌های صورت گرفته در این مطالعه، بر حسب سال بوده و میزان تولید پسماندهای صنایع قند کشور به صورت تجمعی حساب شده است و بر حسب کارخانه نیست.

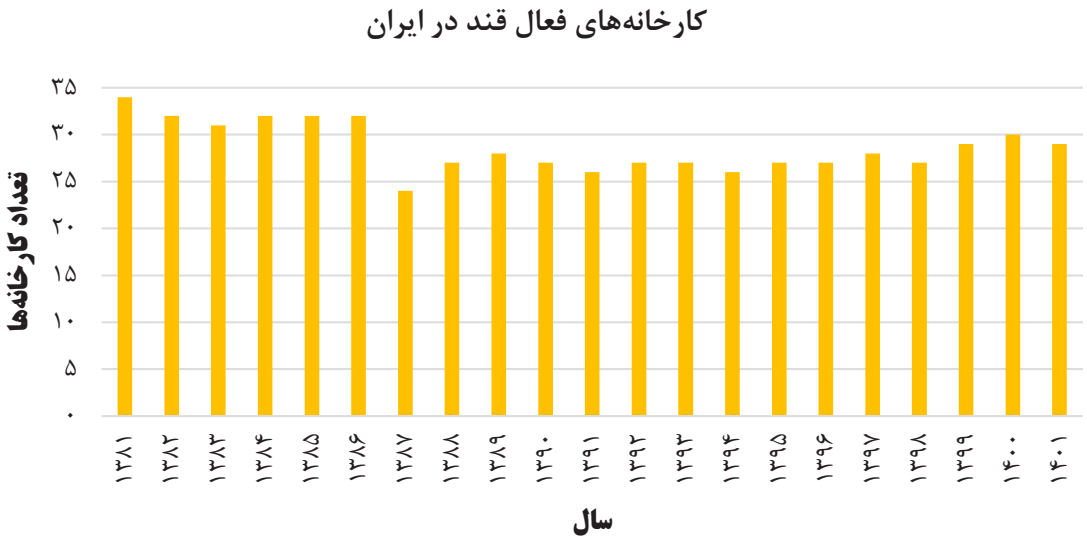
برای بررسی ارتباط بین ماده خام مصرفی (چغندرقند) و میزان پسماند تولیدی (تفاله چغندرقند و گل صافی)، ابتدا توزیع داده‌ها از نظر نرمال بودن با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) ارزیابی شد. سپس با توجه به نرمال نبودن داده‌ها، از آزمون همبستگی اسپیرمن (Spearman Correlation Test) برای تعیین میزان و جهت رابطه بین متغیرها استفاده گردید. همچنین برای بررسی و مدل‌سازی رابطه بین میزان مصرف ماده خام (چغندرقند) و میزان پسماندهای تولیدی از آنالیز رگرسیون استفاده شد. پردازش و تحلیل داده‌ها شامل محاسبه شاخص‌های آماری مانند میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه، با استفاده از نرم‌افزار Excel 2021 انجام شد. همچنین، آزمون نرمال بودن داده‌ها، تحلیل همبستگی و آنالیز رگرسیون در محیط R نسخه ۴/۳/۳ صورت گرفت. برای تهیه نقشه پراکندگی صنایع قند چغندری در کشور نیز از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۸/۲ بهره گرفته شد.

یافته‌ها

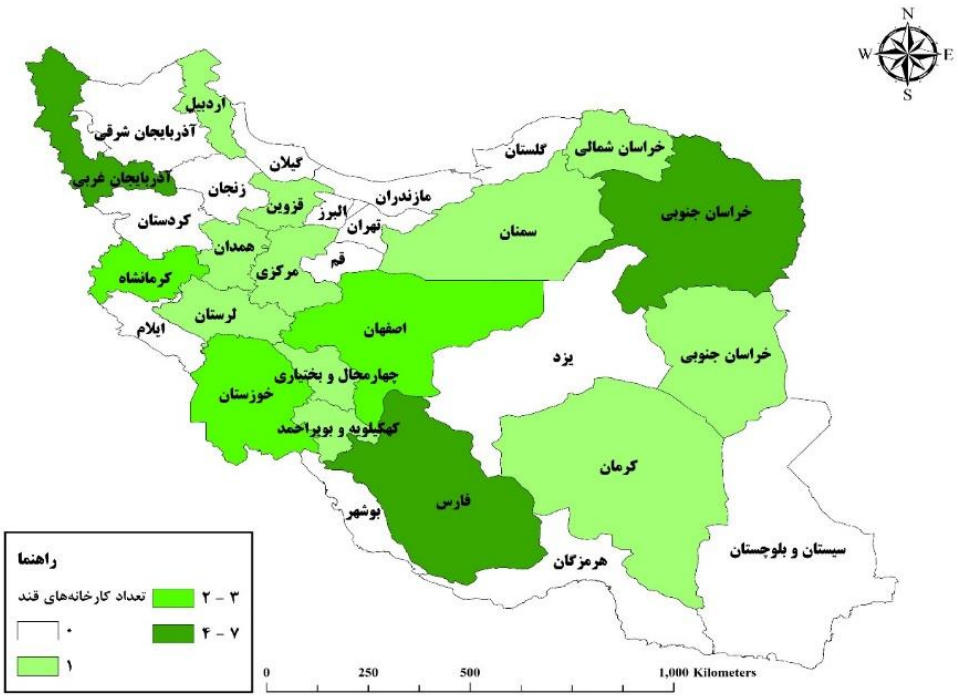
کارخانه‌های فعال تولید قند در کشور

بر اساس بررسی‌های انجام شده بر روی داده‌ها، تعداد واحدهای فعال در سال‌های مختلف در کشور متفاوت بوده و در بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱، تعداد کارخانه‌های قند چغندری فعال در کشور ۳ ± ۲۹ بوده است. شکل ۲، نتایج مربوط به تعداد کارخانه‌های فعال قند در ایران را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۳، پراکندگی صنایع قند چغندری فعال در استان‌های کشور بر روی نقشه ایران به نمایش در آمده است. همان‌طور که در نقشه نشان داده شده است؛ ۳ استان خراسان رضوی، فارس و آذربایجان غربی بیشترین تعداد کارخانه فعال قند را به خود اختصاص داده‌اند. بقیه استان‌ها به غیر از استان‌های اصفهان، کرمانشاه و خوزستان، فقط دارای یک کارخانه قند فعال هستند.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]



شکل ۲- تعداد کارخانه‌های فعال قند (چغندری) در ایران از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱

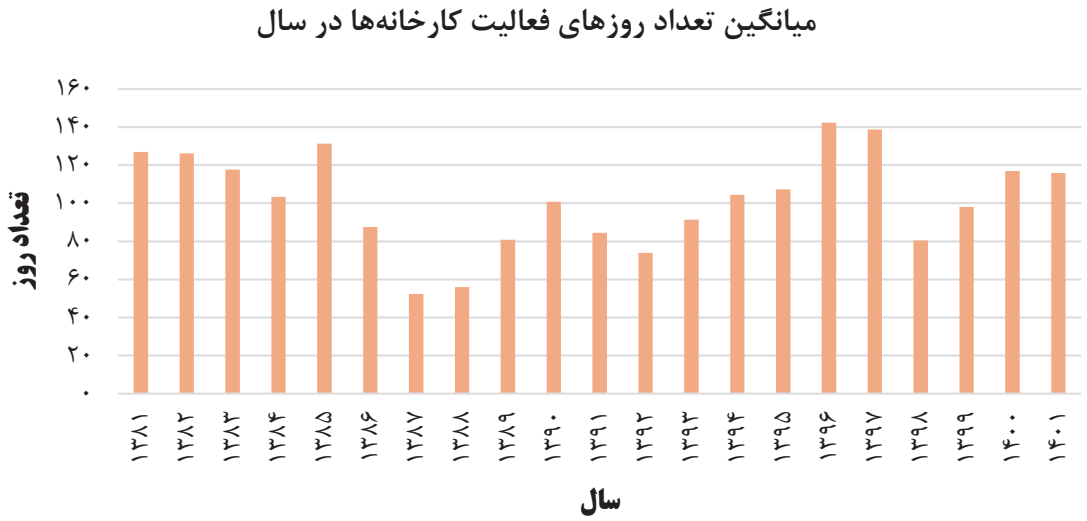


شکل ۳- پراکندگی صنایع فعال قند چغندری در کشور

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

مدت زمان فعالیت واحدها

مدت زمان فعالیت واحدها برای صنایعی که فعالیت فصلی دارند اهمیت بالایی دارد چرا که بازه زمانی تولید پسماند توسط واحدها و روبرو شدن با حجم بالایی از پسماند را قابل پیش‌بینی می‌کند. از طرفی در صورت تعریف یک برنامه و راهبردی جامع به دلیل فصلی بودن فعالیت واحدهای تولید قند، لطمه‌ای به فرایند اجرای برنامه‌ها وارد نشده و تمهیدات لازم برای این موضوع در نظر گرفته می‌شود. نمودار مربوط به تعداد روز فعالیت واحدهای تولید قند در هر سال در بازه ۲۱ سال در شکل ۴ ارائه شده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، روند تعداد روزهای بهره‌برداری، به‌صورت کاملاً صعودی نبوده و نوساناتی دارد. تغییرات مشاهده شده، خصوصاً کاهش تعداد روزهای بهره‌برداری در سال‌های ۸۷ و ۸۸، می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد که اطلاعاتی از آن در دست نیست.

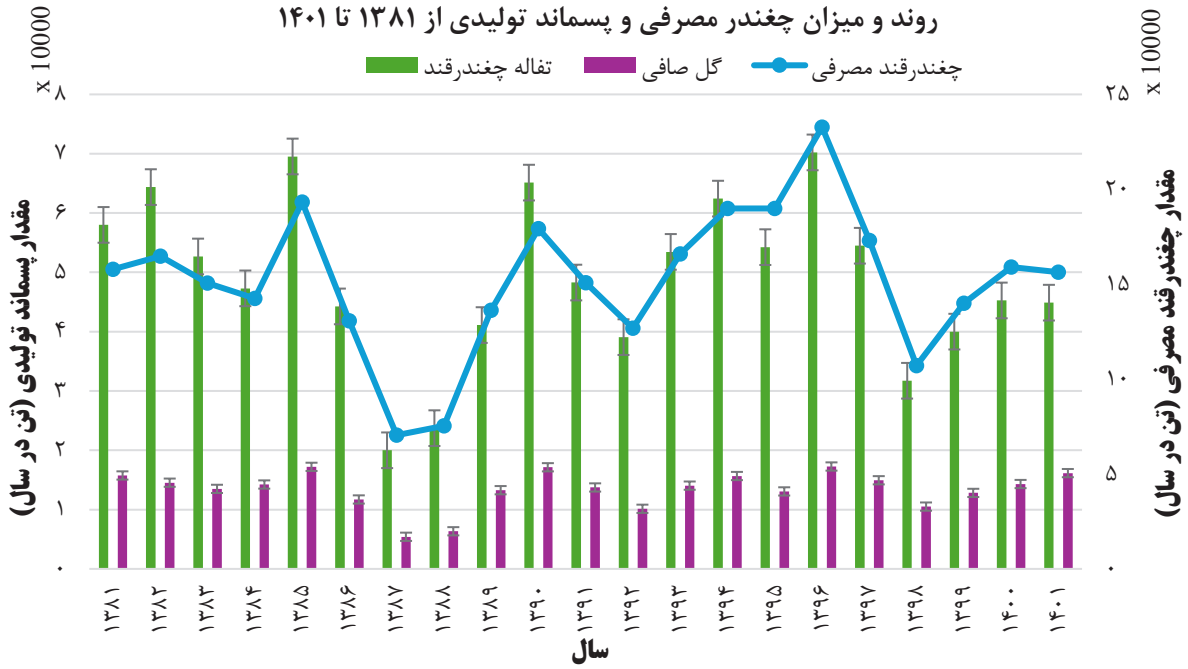


شکل ۴- میانگین تعداد روزهای فعالیت کارخانه‌های تولید قند در کشور

میزان تولید پسماندها در صنایع قند

در شکل ۵، میزان و روند مصرف چغندرقند (ماده خام) در صنایع قند فعال و روند و میزان تولید انواع پسماند در بازه ۲۱ ساله ارائه شده است. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته، داده‌های ارزشمندی درخصوص حجم تولید پسماندهای گوناگون در صنایع فرآوری چغندرقند به‌دست آمده است. اطلاعات بدست آمده از جمله اطلاعات پایه‌ای برای مدیریت پسماند این صنایع است که با ارائه یک دید کلی از میزان پسماند تولیدی، مدیریت پسماند صنایع قند چغندری را بهبود می‌بخشد.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]



شکل ۵- میزان ماده خام (چغندرقند) مصرفی و پسماند تولیدی توسط کارخانه‌ها در بازه ۲۱ ساله

همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، تولید تفاله چغندرقند در بازه زمانی مورد بررسی نوسانات قابل توجهی را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار تولید تفاله در سال ۱۳۹۶ با حدود ۷۰ هزار تن و کمترین مقدار در سال ۱۳۸۷ با حدود ۲۰ هزار تن ثبت شده است. از طرفی تولید گل صافی نیز از روندی مشابه با تفاله چغندرقند پیروی می‌کند. بیشترین مقدار تولید گل صافی در سال ۱۳۹۶ با حدود ۱۷ هزار تن و کمترین مقدار در سال ۱۳۸۷ با حدود ۵ هزار تن مشاهده شده است. همچنین تفاله چغندرقند در مقایسه با گل صافی، نرخ تولید بیشتری را داشته و در تمامی سال‌ها میزان بیشتری را به خود اختصاص داده است. از طرفی خط بالای نمودار Error Bar است که میزان عدم قطعیت یا تغییرپذیری داده‌ها را نشان می‌دهد.

تعیین همبستگی بین میزان مصرف چغندرقند و میزان تولید پسماند

برای انتخاب آزمون همبستگی، ابتدا با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک، نحوه توزیع داده‌ها تعیین شد. نتایج آزمون شاپیرو-ویلک در جدول ۱ ارائه شده است.

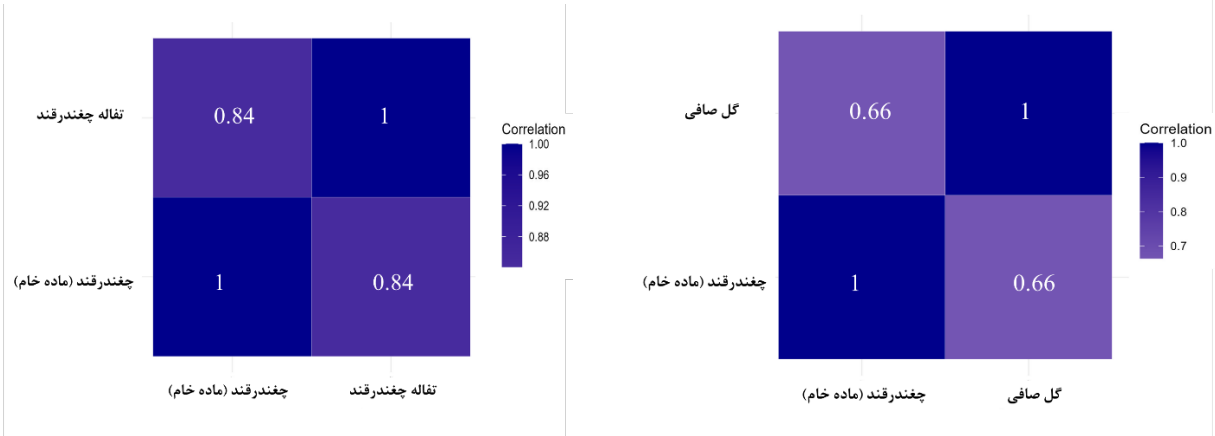
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

جدول ۱- نتایج آزمون شاپیرو-ویلک برای تعیین توزیع داده‌ها

متغیرها	W-Statistic	p	Normality
چغندرقند (ماده خام)	۰/۹۳	< ۰/۰۵	غیرنرمال
تفاله چغندرقند	۰/۸۶	< ۰/۰۵	غیرنرمال
گل صافی	۰/۷۲	< ۰/۰۵	غیرنرمال

با توجه به غیرنرمال بودن توزیع داده‌ها، میزان همبستگی بین میزان مصرف چغندرقند (ماده خام) و میزان تولید پسماند (گل صافی و تفاله چغندرقند) با آزمون اسپیرمن انجام شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است. بر اساس شکل ۶، ضریب همبستگی اسپیرمن بین مصرف چغندرقند و تولید تفاله ۰/۸۴ است. این مقدار نشان‌دهنده یک همبستگی مثبت و قوی بین این دو متغیر است. به عبارت دیگر، با افزایش مصرف چغندرقند، میزان تولید تفاله نیز به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این موضوع منطقی است، زیرا تفاله به عنوان یکی از محصولات جانبی فرآوری چغندرقند محسوب می‌شود. از طرفی ضریب همبستگی بین مصرف چغندرقند و تولید گل صافی ۰/۶۶ است. این مقدار نیز نشان‌دهنده یک همبستگی مثبت و نسبتاً قوی است، هرچند که این همبستگی در مقایسه با تفاله چغندرقند ضعیف‌تر است. این موضوع می‌تواند ناشی از تفاوت در فرآیندهای تولید این دو نوع پسماند باشد.

در صورت وجود همبستگی در بین پارامترهای ذکر شده، امکان دستیابی به ضریب تخمین تولید پسماندها در صنایع قند وجود دارد که از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به این صورت که با دستیابی به این ضرایب، امکان تخمین میزان پسماند تولیدی به‌ازای ماده خام ورودی حاصل می‌شود. در این صورت امکان تخمین میزان پسماندهای تولیدی توسط یک واحد قبل از شروع فاز بهره‌برداری از آن ممکن می‌شود و این موضوع بیشتر در تهیه گزارش‌های ارزیابی اثرات محیط‌زیستی (Environmental Impact Assessment) و برنامه مدیریت‌محیط‌زیستی (EnvironmentalManagementPlan) کاربرد دارد.



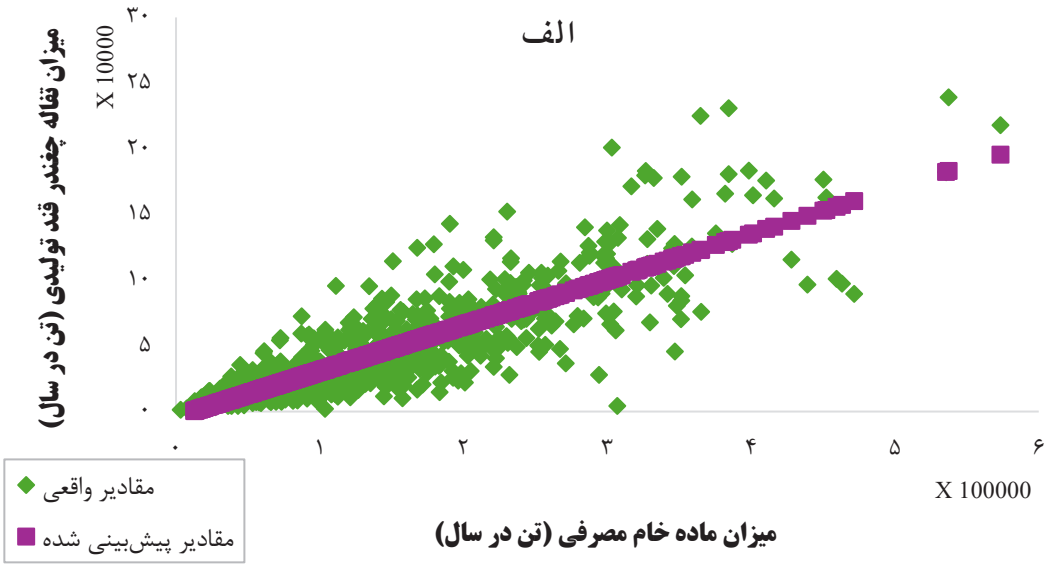
شکل ۶- نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن برای پسماندهای گل صافی و تفاله چغندرقند

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

با توجه به وجود همبستگی بین میزان ماده خام مصرفی و میزان پسماندهای تولیدی، ضریب تخمین تولید برای هر کدام از پسماندها محاسبه شد. ضرایب تولید پسماند به ازای هر تن ماده خام ورودی به خط تولید، برای تفاله و گل صافی چغندرقند به‌ترتیب برابر با ۰/۲۹ و ۰/۰۸ هستند.

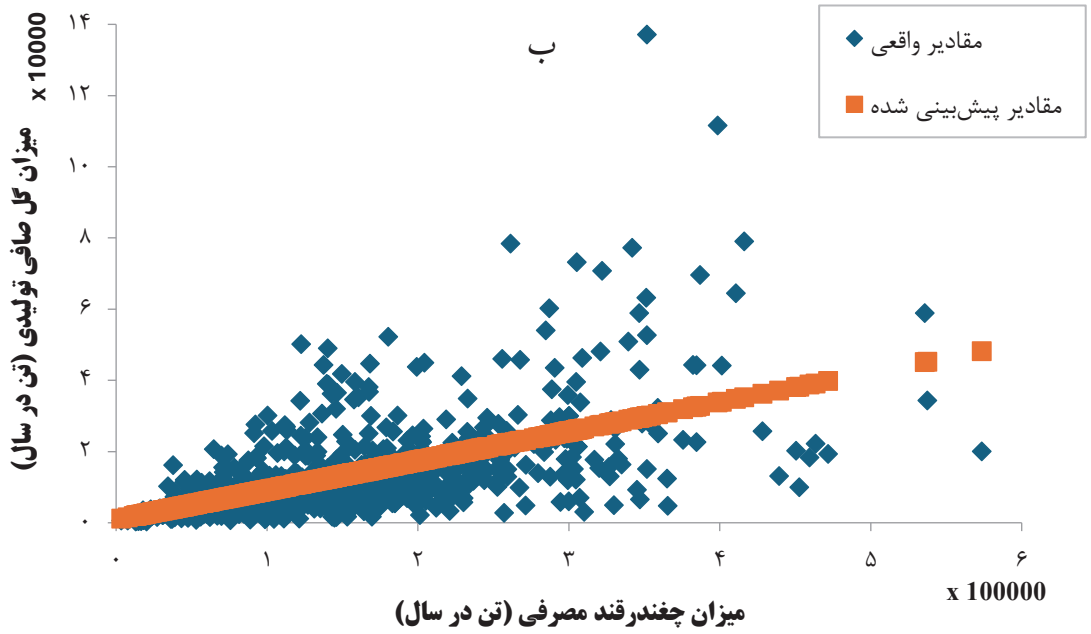
آنالیز رگرسیون

در ادامه نمودارهای مربوط به رگرسیون خطی و مقادیر واقعی و تخمین زده شده برای تفاله چغندرقند و گل صافی به‌ترتیب نمایش داده شده است (شکل ۷ -الف و ۷-ب). همانطور که در شکل ۷-الف، مشاهده می‌شود رابطه مثبت و تقریباً خطی بین میزان ماده خام مصرفی و پسماند تفاله چغندرقند تولیدی در کارخانجات تولید قند از چغندرقند وجود دارد. به عبارت دیگر، مدل رگرسیون توانسته روند کلی داده‌ها را پیش‌بینی کند. از طرفی در شکل ۷-ب، یک رابطه مثبت میان میزان چغندرقند خام مصرفی و گل صافی تولیدی دیده می‌شود، اما پراکندگی مقادیر واقعی نسبت به خط پیش‌بینی (مقادیر نارنجی) بسیار بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که مدل رگرسیون توانایی کمتری در پیش‌بینی دقیق میزان گل صافی تولیدی در مقایسه با میزان تفاله چغندرقند دارد ولی روند کلی میزان تولید پسماندها در هر دو نمودار به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۷- نتایج آنالیز رگرسیون میزان چغندرقند مصرفی با میزان تفاله چغندرقند تولیدی (الف) و گل صافی (ب)

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]



ادامه شکل ۷- نتایج آنالیز رگرسیون میزان چغندرقند مصرفی با میزان تفاله چغندرقند تولیدی (الف) و گل صافی (ب)

بحث

بر اساس بررسی‌های انجام شده، تعداد واحدهای فعال چغندری در کشور قابل توجه است. بر اساس آمار اعلام شده از FAO (Food and Agriculture Organization)، میزان تولید چغندرقند در کشور در سال ۲۰۲۲ برابر با ۵ میلیون تن بوده است (۱۵). با توجه به پراکندگی جغرافیایی بالای واحدهای چغندری، مدیریت پسماندهای تولیدی در کارخانه‌های قند چغندری از اهمیت و ضرورت بیشتری برخوردار است.

مدت زمان بهره‌برداری از واحدهای قند چغندری ۱۴۲-۵۲ روز است. دلایل متعددی توسط انجمن صنفی کارخانجات قند برای طولانی شدن دوره بهره‌برداری از واحدها از جمله شرایط نامساعد جوی (بارندگی) و عدم دسترسی به موقع ماده خام مصرفی عنوان شده است. در سال ۱۴۰۰ دو مورد از واحدهای چغندری به دلیل عدم دسترسی به ماده خام مصرفی، به مدت حدودا یک ماه خط تولیدشان متوقف شده است (۱۶). از طرفی طبق مطالعات انجام شده، صنایع قند ۲۱۰-۱۵۰ روز در سال فعال هستند که با مطالعه حاضر مطابقت ندارد (۱۷). دلیل این عدم تطبیق را می‌توان در رابطه با ظرفیت کارخانه‌ها، تکنولوژی مورد استفاده در خط تولید و شرایط آب و هوایی محل استقرار کارخانه دانست. به طور کلی دلایل نوسان تعداد روزهای فعالیت کارخانه‌ها ناشی از شرایط نامساعد جوی، کمبود ماده خام (چغندرقند)، مشکلات فنی و اقتصادی کارخانه‌ها و قوانین و سیاست‌های حمایتی یا محدودکننده دولت‌ها هستند.

در نگاه اول، حجم قابل توجه پسماندهای تولیدی در صنایع قند چغندری ممکن است به عنوان یک چالش محیط‌زیستی و حتی تهدیدی بالقوه تلقی شود. با این حال، با اتخاذ رویکردی جامع‌تر و تحلیلی، این پسماندها را می‌توان به عنوان یک فرصت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

راهبردی در نظر گرفت. از طریق طراحی و اجرای راهکارهای مدیریتی مناسب، نه تنها می‌توان این تهدید را به فرصتی برای ایجاد ارزش افزوده تبدیل کرد، بلکه امکان دستیابی به مزایای اقتصادی پایدار نیز فراهم می‌شود. این رویکرد می‌تواند به بهبود بهره‌وری و پایداری در چرخه تولید صنایع قند منجر شده و نقش مهمی در کاهش اثرات منفی محیط زیستی ایفا کند (۵، ۸، ۱۸).

مصرف سالانه چغندرقند در صنایع قند از نوسانات قابل توجهی برخوردار است و از روند مشخصی پیروی نمی‌کند. این تغییرپذیری در مصرف چغندرقند به طور مستقیم بر میزان تولید پسماندهای گل صافی و تفاله چغندرقند، تأثیر می‌گذارد. اگرچه روند تولید این پسماندها از الگوی ثابت و منظمی تبعیت نمی‌کند، اما تغییرات در میزان تولید آنها با تغییرات در مصرف ماده خام (چغندرقند) همخوانی دارد. این همبستگی مثبت نشان‌دهنده وابستگی مستقیم تولید پسماندها به حجم فرآوری چغندرقند در صنایع قند است. طبق بررسی‌های انجام شده در صورت پردازش هر ۱ تن چغندرقند برای استخراج شکر، ۰/۳۳ تن تفاله چغندرقند تولید می‌شود (۸) که تقریبا با ضریب بدست آمده در این مطالعه مطابقت دارد. از طرفی مطالعه‌ای با هدف تعیین ضریب تولید گل صافی به ازای ماده خام ورودی به خط تولید، در واحدهای چغندری انجام نشده است؛ اما با توجه به شباهت بین فرآیندهای مورد استفاده برای استخراج شکر از چغندرقند و نیشکر، امکان استفاده از ضریب بدست آمده برای تولید گل صافی واحد نیشکری برای میزان تولید پسماند گل صافی در کارخانه‌های قند چغندری، وجود دارد. در این مطالعه میزان تولید گل صافی را حدود ۲ درصد کل نیشکر تولیدی در جهان تخمین زده است (۱۹)؛ که با توجه به این موضوع که در این مطالعه، ضرایب تخمین تولید از روی میزان ماده خام ورودی تعیین شده‌اند؛ لذا امکان مقایسه این دو ضریب وجود ندارد.

در صورتی که راهکار مدیریتی مناسبی برای هر کدام از این پسماندها با کاربردهای متنوع در نظر گرفته شود، این میزان از پسماندهای تولیدی در صنایع قند می‌تواند فرصت تلقی شود. گل صافی، حاوی مواد آلی بوده و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation-exchange capacity) نسبتاً بالایی است (۲۰). گل صافی را می‌توان به‌عنوان منبع غنی از فسفر و مواد آلی تلقی کرد که دارای رطوبت بالایی بوده و بطور گسترده به‌عنوان جایگزین کامل یا جزئی کودهای معدنی، در گیاهان زراعی از جمله چغندرقند استفاده می‌شود (۲۱، ۲۲). کیک‌فیلتر در چندین کشور از جمله برزیل، هند، استرالیا، کوبا، پاکستان، تایوان، آفریقای جنوبی و آرژانتین به‌عنوان کود استفاده می‌شود (۲۳). در یک مورد استفاده از کیک‌فیلتر غنی از فسفر، به همراه یا بدون کود زیستی، در کشت پیاز ارگانیک منجر به بهبود تغذیه گیاه، رشد و تولید محصول شده است (۲۴). درحال حاضر استفاده از کیک‌فیلتر تصفیه شده، برای بهبود کیفیت شربت قند تولید از چغندر در شرایط خاک شور و کاهش از دست دادن قند به ملاس در فرآوری قند چغندری ثابت شده است (۲۱). تفاله چغندرقند نیز امروزه کاربردهای متنوعی پیدا کرده است که از جمله آن می‌توان به استفاده از تفاله چغندرقند به‌عنوان علوفه دامی (۲۵)، برای تولید بیوگاز (۲۶، ۲۷) و استفاده به‌عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌ها (۲۸) اشاره کرد.

درنهایت، لازم است تأکید شود که به‌منظور بهبود کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده در صنایع، دقت بیشتری از سوی کارکنان در ثبت اطلاعات لحاظ شود، زیرا این امر می‌تواند دقت ضرایب همبستگی را افزایش دهد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌شود مطالعاتی جامع با هدف شناسایی راهکارهای موجود برای مدیریت پسماند صنایع قند انجام شود و پس از آن، این راهکارها بر اساس شرایط ایران دسته‌بندی و اولویت‌بندی گردند. از طرفی محدودیت اصلی این مطالعه، عدم همکاری صنایع برای ارائه راهکارهای موجود و در حال اجرا برای مدیریت پسماند تولیدی در صنایع قند است و همچنین محدودیت دیگر این مطالعه، عدم وجود مطالعه یا مطالعات مشابه در ایران و یا در کشورهای دارای صنعت قند است که باعث

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

کاهش قدرت بحث و بررسی موضوعات مختلف می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که صنایع قند چغندری در ایران مقادیر قابل توجهی را از پسماندهای جامد شامل تفاله چغندرقند و گل صافی تولید می‌کنند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که همبستگی مثبتی بین میزان ماده خام مصرفی (چغندرقند) و تولید این پسماندها وجود دارد، به‌طوری که افزایش مصرف چغندرقند منجر به افزایش تولید تفاله و گل صافی می‌شود. بر اساس داده‌های تحلیل شده، ضرایب تخمین تولید پسماند برای تفاله و گل صافی به‌ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۰۸ تن به‌ازای هر تن چغندرقند ورودی به خط تولید محاسبه شد. از طرفی تولید این پسماندها در نگاه اول ممکن است به‌عنوان چالشی محیط‌زیستی تلقی شود، اما با اجرای یک سیستم مدیریت پسماند کارآمد، می‌توان آن‌ها را به منابعی ارزشمند تبدیل کرد. تفاله چغندرقند به‌عنوان خوراک دام و ماده اولیه برای تولید بیوگاز و جاذب آلاینده‌ها قابل استفاده است. همچنین، گل صافی به‌دلیل داشتن مقادیر بالای مواد آلی و فسفر، می‌تواند در اصلاح خاک‌های کشاورزی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی نقش موثری ایفا کند. با توجه به پراکندگی بالای واحدهای تولید قند چغندری در ایران، تدوین راهبردهای مدیریتی جامع برای این پسماندها می‌تواند به کاهش اثرات محیط‌زیستی، افزایش بهره‌وری اقتصادی و توسعه پایدار این صنعت کمک کند. به‌منظور دستیابی به این اهداف، پیشنهاد می‌شود که سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های اجرایی جهت بازیافت و استفاده مجدد از پسماندهای صنایع قند در کشور مورد توجه بیشتری قرار گیرند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. این پایان‌نامه‌ای که این مقاله از آن مشتق شده است؛ با کد اخلاق IR.TUMS.SPH.REC.1402.323 به تصویب رسیده است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "ارزیابی پتانسیل کاهش آلایندگی پسماند صنایع قند ایران با استفاده از رویکرد اقتصاد چرخشی و با بکارگیری تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی"، در مقطع کارشناسی‌ارشد در سال ۱۴۰۲ و کد ۴۰۱۱۱۳۸۸۰۰۳ است و به عنوان طرح تحقیقاتی در مرکز تحقیقات مواد زائد جامد پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران (۱۴۰۳-۲-۴۶۳-۷۲۴۸۹) تصویب شده است.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

References

1. Sahu OP, Kumar Chaudhari P. The characteristics, effects, and treatment of wastewater in sugarcane industry. Water Quality, Exposure and Health. 2015 7(3):435-44.

2. Alloway BJ. Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. Berlin: Springer Science & Business Media; 2012.

3. United Nations Environment Programme (UNEP). 2003 annual evaluation report. Nairobi, Kenya: UNEP; 2004 [cited 2025 April 25]. Available from: https://www.unep.org/resources/synthesis-reports/unep-annual-evaluation-report-2003.

4. Bhatnagar A, Kesari KK, Shurpali N. Multidisciplinary approaches to handling wastes in sugar industries. Water, Air, & Soil Pollution. 2016;277(11):1-30.

5. Santos BLP, Vieira IMM, Ruzene DS, Silva DP. Unlocking the potential of biosurfactants: Production, applications, market challenges, and opportunities for agro-industrial waste valorization. Environmental Research. 2023;244:117879.

6. Redondo Gomez C, Rodriguez Quesada M, Vallejo Astua S, Murillo Zamora JP, Lopretti M, Vega Baudrit JR. Biorefinery of biomass of agro-industrial banana waste to obtain high-value biopolymers. Molecules. 2020;25(17):3829.

7. Duraisam R, Salelgn K, Berekete AK. Production of beet sugar and bio-ethanol from sugar beet and it bagasse: a review. International Journal of Engineering Trends and Technology. 2017;43(4):222-33.

8. Fang C, Boe K, Angelidaki I. Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. Water Research. 2011;45(11):3473-80.

9. Zieminski K, Romanowska I, Kowalska M. Enzymatic pretreatment of lignocellulosic wastes to improve biogas production. Waste Management. 2012;32(6):1131-7.

10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Food and agriculture data. Rome: FAO; 2024 [cited 2025 April 25]. Available from: https://www.fao.org/faostat/en/..

11. Foster BL, Dale BE, Doran Peterson JB. Enzymatic hydrolysis of ammonia-treated sugar beet pulp. Applied Biochemistry and Biotechnology. 2001;91-93:269-82.

12. Petit A. Application of vacuum belt press filters for cane mud filtration and performance comparison with rotary filters. Sugar Industry International. 2013;139(5):298-301.

13. Gangavati P, Safi M, Singh A, Prasad B, Mishra I. Pyrolysis and thermal oxidation kinetics of sugar mill press mud. Thermochimica Acta. 2005;428(1-2):63-70.

14. Khoiron K. Analysis of solid waste management of sugar industry (studies at the sugar industry X in East Java). UNEJ e-Proceeding. 2018;7:88-94.

15. Food and Agriculture Organization of the

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

United Nations. Crops and livestock products Rome: Food and Agriculture Organization (FAO); 2022 [cited 2025 March 25]. Available from: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize.

16. Iranian Sugar Factories Syndicate (ISFS). Factory performance statistics table. Tehran: ISFS; 2022 [cited 2025 May 1]. Available from: http://www.isfs.ir/.

17. Kolhe A, Sarode A, Ingale S. Study of effluent from sugar cane industry. Sodh Samiksha Mulyankan. 2009;2:303-6.

18. Karyab H, Karyab F. Quantitative and qualitative characteristics and pattern management of industrial solid wastes in Qazvin, Iran. Iranian Journal of Health and Environment. 2020;13(3):509-26 (in Persian).

19. Haji Sharafi H, Zarei S, Abdolmaleki A, Rajabi D, Rahimi N. Production of enriched biocompost from sugarcane residues using refined industrial waste water from sugar factory (Case study in Amir Kabir Agro-Industry company). In: Pour Keihan S, Ariz A, Moazen Reza Mahalleh H, Naseri AA, Mesgarbashi M, Behravan HR, et al, editors. Proceedings of the 9th National Congress of Sugarcane Technologists of Iran and the 5th Sugarcane and Related Industries Exhibition; 2019 Feb 20–21; Ahvaz: Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Agriculture; 2019. p. 41-47.

20. Ippolito J, Strawn D, Scheckel K. Investigation of copper sorption by sugar beet processing lime waste. Journal of Environmental Quality. 2013;42(3):919-24.

21. Alotaibi F, Bamagoos AA, Ismaeil FM, Zhang W, Abou Elwafa SF. Application of beet sugar byproducts improves sugar beet biofortification in saline soils and reduces sugar losses in beet sugar processing. Environmental Science and Pollution Research. 2021;28:30303-11.

22. Ossom E, Dlamini FT, Rhykerd R. Effects of filter cake on soil mineral nutrients andmaize (Zea mays l.) agronomy. Tropical Agriculture. 2012;89(3):141-50.

23. Prado RdM, Caione G, Campos CNS. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. Applied and Environmental Soil Science. 2013;2013(1):581984.

24. AboBaker Basha A. Improving filter mud cake with rock phosphate and biofertilizers for exporting organic onion production in newly cultivated land at South Valley area. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2011;5(8):1354-61.

25. Kaplan O, Deniz S, Karslİ MA, Nursoy H, Avcİ M. Effects of sodium bicarbonate, magnesium oxide and dried sugar beet pulp in diets of dairy cows on milk yield, milk composition and rumen fluid and some blood parameters. Journal of Animal and Veterinary Advances. 2010;9(11):1570-74.

26. Pessoa M, Sobrinho MM, Kraume M. The use of biomagnetism for biogas production from sugar beet pulp. Biochemical Engineering Journal. 2020;164:107770.

27. Kuprys Caruk M, Podlaski S. Intensification of biogas production in the process of co-fermentation of silages from perennial grasses blended with maize

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

or waste from the agro-food industry. Polish Journal of Natural Sciences. 2019;34(2):233-43.

28. Aksu Z, Isoglu IA. Use of agricultural waste sugar beet pulp for the removal of Gemazol turquoise blue-G reactive dye from aqueous solution. Journal of Hazardous Materials. 2006;137(1):418-30.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]

Available online: https://ijhe.tums.ac.ir

Orginal Article

Comprehensive analysis of waste from Iran's sugar beet industry: quantitative assessment, estimation of production coefficients, and evaluation of waste production correlation with raw material consumption (2002–2022)

Ali Salimifard[1], Kamyar Yaghmaeian[1], Mina Aghaei[1], Nazanin Dastjerdi[1], Fazlollah Changani Khorasgani[1,2,*]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Center for Solid Waste Research (CSWR), Institute for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 05 March 2025
Revised: 31 May 2025
Accepted: 03 June 2025
Published: 16 September 2025

Keywords: Waste management, Waste production rate, Sugar industry waste, Filter mud, Sugar beet pulp

ABSTRACT

Background and Objective: This descriptive-analytical study examined 21 years of data from Iran's sugar industry. Waste production data were extracted from the Iranian Sugar Factories Association, and statistical analyses, including normality tests and Spearman correlation, were conducted using R software. Additionally, ArcGIS software was used to create a distribution map of active sugar beet industries in the country.

Materials and Methods: This descriptive-analytical study analyzed 21 years of data from Iran's sugar industry. Waste production data were obtained from the Iranian Sugar Factories Association. Statistical analyses, including normality testing and Spearman correlation, were performed using R software. In addition, ArcGIS software was used to generate a distribution map of active sugar beet industries across the country.

Results: The results indicated a positive correlation between sugar beet consumption and the production of sugar beet pulp and filter mud. The estimated production coefficients were 0.29 and 0.08 tons per ton of raw material, respectively.

Conclusion: Efficient management of these wastes allows for their beneficial use in animal feed, biogas production, and soil amendment. Developing comprehensive waste management strategies is essential to minimize environmental impacts and improve the overall efficiency of the sugar industry.

***Corresponding Author:**
fchangan@tums.ac.ir

Please cite this article as: Salimifard A, Yaghmaeian K, Aghaei M, Dastjerdi N, Changani Khorasgani F. Comprehensive analysis of waste from Iran's sugar beet industry: quantitative assessment, estimation of production coefficients, and evaluation of waste production correlation with raw material consumption (2002-2022). Iranian Journal of Health and Environment. 2025;18(2):229-44.

Copyright © 2025 Iranian Association of Environmental Health، and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Noncommercial uses of the work are permitted، provided the original work is properly cited.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2026-04-30]