

ارزیابی فاکتورهای زیست محیطی و انرژی مصرفی در تولید نوشابه های گازدار: مطالعه موردی - شرکت زمزم گرگان، ایران

محمد شریفی^۱

شمسی سودمند مقدم^۲

اسحاق عادل دوست^۳

چکیده

تاریخ دریافت

۱۴۰۰/۱/۱۲

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۸/۷

کلمات کلیدی:

آلاینده،

گرمایش جهانی،

نوشیدنی،

نهادهای انرژی

ارزیابی انرژی و آلاینده های زیست محیطی یک فرآیند تولیدی از نظر ارائه ی راهکارهای کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده ها دارای اهمیت می باشد. اهمیت حفاظت از محیط زیست و تأثیرات احتمالی مرتبط با محصولات تولیدی و مصرف باعث افزایش علاقه به شناسایی این اثرات شده است. علاوه براین، یکی از مهمترین چالش ها در بخش صنعت میزان انرژی مصرفی است. پژوهش حاضر، تولید نوشابه های گازدار در شرکت زمزم گرگان را در دو بخش بطری های شیشه ای و بطری های PET با رویکردهای مختلف از نظر جریان انرژی و تأثیرات زیست محیطی بررسی کرده است. نتایج این مطالعه نشان داد که کل انرژی ورودی در تولید نوشابه گازدار شیشه ای ۳۱۶۱۰/۸۹ مگاژول و در نوشابه گازدار PET ۱۱۰۸۱/۹۰ مگاژول است. نوشابه گازدار شیشه ای نسبت به نوشابه گازدار PET بارهای زیست محیطی بیشتری تولید می کنند. این نشان می دهد که استفاده از بطری های PET برای تولید نوشیدنی های گازدار از نظر میزان آلاینده های زیست محیطی مناسب تر از بطری های شیشه ای می باشد. همچنین بیشترین میزان نسبت انرژی و بهره وری انرژی مربوط به تولید ذرت هنگامی بود که سامانه بی خاک وری باقیایا جانشین بی خاک وری باقیایا استفاده شد، به طوری که مقدار این شاخص ها برای این سامانه ۲۶ و ۰/۷۵ گزارش شد.

^۱ عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(نویسنده مسئول) m.sharifi@ut.ac.ir

^۲ دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
sh.soodmand@ut.ac.ir

^۳ دانش آموزانه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
adeldest@ut.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه در مقایسه با قرن‌های گذشته به سبب رشد سریع صنعت در بخش‌های مختلف، پیشرفت قابل توجهی در توسعه اقتصادی و بهبود رفاه انسان انجام شده است. اگرچه مزایای رشد سریع صنعتی در تمام جنبه‌های زندگی مانند طیف گسترده‌ای از کالاهای مصرفی در دسترس، بهبود بهره‌وری سامانه‌های حمل‌ونقل و همچنین پیشرفت‌های قابل توجهی در فناوری ارتباطات دیده می‌شود اما به دلیل ایجاد فشارهایی در ارتباط با محیط‌زیست و شرایط زندگی اجتماعی-اقتصادی موجب چالش‌های اساسی در مسیر توسعه پایدار شده است (وانتران و همکاران^۱، ۲۰۱۹). برخی از این چالش‌ها شامل تقلیل منابع طبیعی، افزایش تقاضای انرژی، تغییرات آب و هوایی (تا حد زیادی مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای است، انتشار گازهای سمی به هوا، زمین و آب که منجر به کاهش تنوع زیستی و دیگر اثرات منفی بر تندرستی و سلامت انسان شده است، می‌باشد. بر همین اساس، وجود چنین نگرانی‌هایی انگیزه‌ای مضاعف برای بخش‌های صنعتی، اجتماعی و همچنین دولتی به عنوان یک کل متشکل در جهت ایجاد جامعه‌ای پایدار فراهم کرده است (بویوکوزکان و همکاران^۲، ۲۰۱۸). بخش صنعت برای اجرای طیف وسیعی از اقدامات در جهت نیل به توسعه پایدار و به رسمیت شناختن نقش خود به عنوان یکی از عوامل اصلی، نه تنها در توسعه اقتصادی بلکه در تقلیل منابع و دیگر اشکال تخریب محیط‌زیست نیز دارای یک هدف اساسی است. بنابراین، ارزیابی مناسب و متعادل از این مؤلفه‌ها برای طراحی‌های جدید و یا بهبود محصولات موجود لازم است. علاوه بر این، تولید و مصرف پایدار به عنوان عامل اصلی در رسیدن به توسعه پایدار در نظر گرفته شده است (آلکایا و دمیرو^۳، ۲۰۱۵). در طی چند دهه اخیر، انرژی نقش تأثیرگذار در توسعه بخش‌های مهم اقتصادی از قبیل حمل‌ونقل، صنعت و کشاورزی دارد. ارزیابی انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی یک فرآیند تولیدی از نظر ارائه راهکارهای کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها دارای اهمیت می‌باشد (فتاحی و نوراللهی، ۱۳۹۹). به این دلیل تحقیقات بسیاری از محققان به سمت مدیریت مصرف انرژی معطوف می‌باشد. از سوی دیگر، استفاده بیش از حد انرژی باعث بروز برخی از مشکلات مربوط به سلامتی انسان و محیط‌زیست می‌شود (سودمندمقدم و همکاران^۴، ۲۰۱۹).

امروزه، افزایش حجم انرژی مصرفی و خطرات ناشی از آن، سازمان‌های دولتی و صنعتی را مجاب به یافتن راه‌حلی جامع می‌کند که در نهایت محیط‌زیست را به سمت پایداری کامل سوق دهد. در همین راستا، از اوایل سال ۱۹۹۰، روش ارزیابی چرخه حیات (LCA) به عنوان ابزاری سودمند جهت تصمیم‌سازی و تحلیل عملکرد زیست‌محیطی سامانه‌های تولید صنعتی و کشاورزی مطرح شده است که با فراهم آوردن داده‌های ورودی کارآمد، روش مناسب جهت مدیریت بهینه را ارائه می‌دهد (رشیدی و همکاران^۵، ۲۰۱۸). ارزیابی چرخه زندگی، جنبه‌های زیست‌محیطی و پیامدهای بالقوه زیست‌محیطی را در سرتاسر چرخه زندگی یک محصول در برمی‌گیرد. لازم به ذکر است که بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی از زمان تولید تا زمان مصرف محصول مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارزیابی چرخه زندگی روشی است به منظور شناسایی و کاهش بارهای محیطی حاصل از تولید یک محصول، فرآیند یا فعالیت از طریق شناسایی و محاسبه انرژی و مواد مورد استفاده و زائد تولیدشده، تعیین تأثیرات ضایعات آن بر روی محیط و ارزیابی فرصت‌ها برای بهبود شرایط زیست‌محیطی در تولید محصول (Simon et al. ۲۰۱۶).

۲. پیشینه تحقیق

بر طبق بررسی‌های انجام شده در ایران و سایر کشورهای جهان، صنعت تولید نوشابه‌های شیشه‌ای (Glass) و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) از جمله صنایع بسیار مهم در این بخش می‌باشد، که بررسی و ارزیابی جریان انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در فعالیت‌های

۱. Van Tran et al.

۲. Büyüközkan et al.

۳. Alkaya & Demirer ۲۰۱۵

۴. Soodmand-Moghaddam et al.

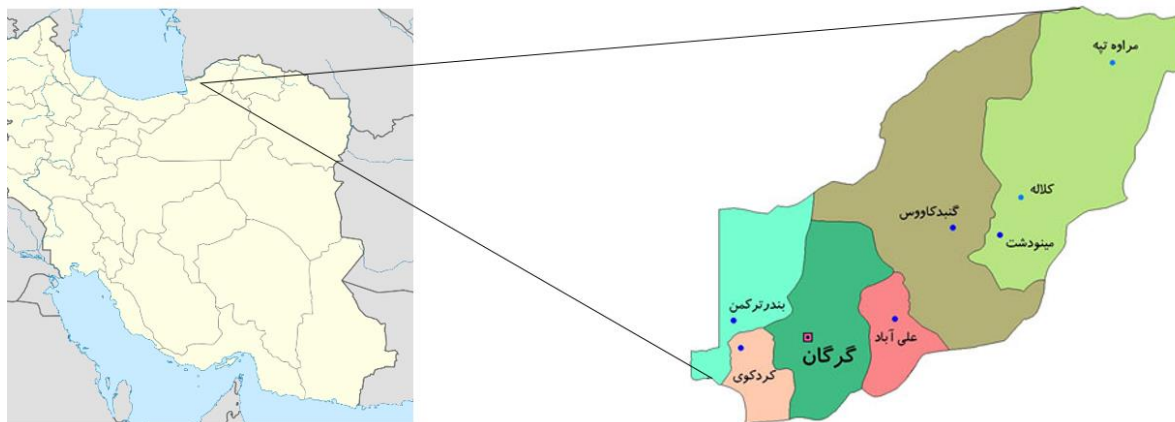
۵. Rashidi et al.

۶. Poly Ethylene Terephthalate

تولیدی مربوط به آن امری ضروری به نظر می‌رسد (آمینو و همکاران^۱، ۲۰۱۳). در دهه‌های اخیر این توجهات معطوف بر کاهش آلایندگی‌های آب، خاک و هوا بوده که در نتیجه صنایع تولید نوشابه بر سامانه‌های کاهش آلایندگی‌های انتشار یافته از فاضلاب واحدهای نوشابه‌سازی عمدتاً مربوط به شست و شوی ماشین‌های خطوط تولید و همچنین شست‌وشوی بطری‌های شیشه‌ای برگشتی از بازار و چند بار مصرف و بسته‌بندی نوشابه در ظروف یک‌بار مصرف PET متمرکز شدند اما توجهات جدید به مسائل زیست‌محیطی بسیار گسترده‌تر و پیچیده‌تر هستند (سیمون و همکاران^۲، ۲۰۱۶). از جمله مدیریت پایدار منابع که شامل استفاده حداقل از منابع، استفاده از مواد بازیافتی، ضایعات و محافظت از محیط‌زیست می‌شود (فلاح و همکاران، ۱۳۹۳). در واقع کاهش مصرف انرژی، استفاده از انرژی حاصل از منابع تجدیدپذیر، استفاده بهینه از مواد، استفاده مجدد و بازیافت مواد و کنترل آلایندگی‌ها از جمله مواردی هستند که به پایداری یک صنعت کمک می‌کنند. از این‌رو در این مطالعه میزان سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی انرژی در تولید نوشابه گازدار زمزم، ارزیابی شاخص‌های انرژی در کارخانه تولید نوشابه به منظور مدیریت مصرف انرژی، شاخص‌های زیست‌محیطی در کل چرخه زندگی تولید نوشابه با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی و مقایسه میزان مصرف انرژی و نشر آلایندگی‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید نوشابه PET و شیشه‌ای بررسی می‌گردد.

۳. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در شرکت زمزم گرگان انجام شده است. این شرکت در محدوده‌ی جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق از طریق بازدید از کارخانه تولید نوشابه گازدار جمع‌آوری شد. برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز مطالعه از روش‌های مختلفی استفاده شد. از ابتدای تاریخ فعالیت‌های علمی، مشاهده متداول‌ترین و یکی از مهم‌ترین روش‌های جمع‌آوری اطلاعات بوده است. بخشی از اطلاعات مورد نیاز از جمله مشاهده قبوض برق و گاز، نوع و نحوه‌ی انجام فرآیند و ... از طریق حضور در کارخانه‌های تولید نوشابه و مشاهده مستقیم فرآیند تولید جمع‌آوری شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان گرگان در ایران

فرآیند تولید و جریان انرژی در سامانه تولید نوشابه گازدار

نهاده‌های مورد استفاده در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای عبارت بودند از نیروی انسانی، ماشین‌ها و ادوات، الکتریسیته، گاز طبیعی، شکر، آب تصفیه شده، بنیان (عصاره)، کربن دی‌اکسید، اسید خوراکی، بنزوات سدیم، بطری شیشه‌ای (بطری شیشه، سرتشتک فلزی)، بسته‌بندی و حمل‌ونقل. همچنین نهاده‌های مورد استفاده در تولید نوشابه گازدار PET عبارت بودند از نیروی انسانی، ماشین‌ها و ادوات، الکتریسیته، گاز طبیعی، شکر، آب تصفیه شده، بنیان (عصاره)، کربن دی‌اکسید، اسید خوراکی، بنزوات سدیم، بطری PET (بطری PET، سر بطری، برچسب)، بسته‌بندی و حمل‌ونقل. از طرف دیگر ستاده شامل نوشابه گازدار می‌باشد. برای تعیین میزان انرژی معادل نهاده‌ها و ستانده‌ها از ضرایب

۱. Amienyo et al.

۲. Simon et al.

انرژی متناظر با هر یک استفاده شد، که در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بنابراین، انرژی معادل نهاده‌های ورودی برای تولید نوشابه گازدار از ضرب میزان مصرف هر یک از آن‌ها در ضریب انرژی ویژه آن نهاده طبق رابطه ۱ به دست آمد:

$$E_{input} = I_{consumption} \times ec_{input} \quad (۱)$$

که در آن E_{input} انرژی معادل نهاده‌های مصرفی برحسب مگاژول، $I_{consumption}$ میزان نهاده مصرفی (نیروی انسانی، گاز طبیعی و غیره) برحسب واحد آن و واحد ec_{input} محتوای انرژی نهاده برحسب مگاژول بر واحد می‌باشد.

جدول ۱- هم‌ارزهای انرژی ورودی‌ها و خروجی تولید نوشابه گازدار (محسنی و همکاران^۱، ۲۰۱۸)

ورودی‌ها و خروجی سامانه	واحد	هم‌ارز انرژی (مگاژول بر واحد)
نیروی انسانی	نفر ساعت	۱/۹۶
ماشین‌ها و ادوات	کیلوگرم	۶۲/۷
الکتریسیته	کیلووات ساعت	۱۱/۹۳
گاز طبیعی	مترمکعب	۴۹/۵
شکر	کیلوگرم	۱۵/۷۶
آب تصفیه‌شده	لیتر	۰/۰۱
بنیان (عصاره)	کیلوگرم	۶/۶۲
کربن‌دی‌اکسید	کیلوگرم	۶۶/۳۰
اسیدخوراکی	کیلوگرم	۴/۶۰
بنزوات سدیم	کیلوگرم	۳/۴۰
بطری شیشه‌ای	کیلوگرم	۱۳/۲
بطری PET	کیلوگرم	۲۳/۵
بسته‌بندی	کیلوگرم	۹۰
حمل‌ونقل	تن در کیلومتر	۶/۱۰
نوشابه گازدار	لیتر	۸/۳۹

محاسبه‌ی شاخص‌های انرژی در تولید نوشابه گازدار

یکی از مهم‌ترین اقدامات در فرآیند تحلیل انرژی، تعیین شاخص‌های انرژی می‌باشد. با استفاده از این شاخص‌ها امکان مقایسه‌ی سامانه‌های مختلف فراهم می‌آید. بعضی از این شاخص‌ها که امکان شناخت جامع از وضعیت انرژی در کشاورزی و صنعت را فراهم می‌آورند شامل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده‌ی خالص انرژی می‌باشند. این شاخص‌ها به ترتیب با استفاده از معادله‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ دست می‌آیند (فیض بخش و علیزاده^۲، ۲۰۱۷).

$$ER = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (۲)$$

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \quad (۳)$$

۱. Mohseni et al.

۲. Feyzbakhsh & Alizadeh,

$$SE = \frac{E_{in}}{Y} \quad (4)$$

$$NEG = E_{out} - E_{in} \quad (5)$$

که در آن، E_{out} انرژی خروجی ($MJ.L^{-1}$)، E_{in} انرژی ورودی ($MJ.L^{-1}$) و Y عملکرد محصول ($kg.L^{-1}$) می باشد. ER (نسبت انرژی) بدون بعد، EP (بهره‌وری انرژی) برحسب $kg.MJ^{-1}$ ، SE (انرژی ویژه) برحسب $MJ.kg^{-1}$ و NEG (افزوده‌ی خالص انرژی) برحسب $MJ.L^{-1}$ می‌باشند.

ارزیابی چرخه زندگی

یکی از فنون توسعه‌یافته در زمینه‌ی اهمیت حفاظت زیست‌محیطی و اثرات احتمالی مرتبط با محصول تولیدشده، ارزیابی چرخه زندگی است. ارزیابی چرخه زندگی، جنبه‌های زیست‌محیطی و اثرات بالقوه زیست‌محیطی را در سراسر چرخه زندگی یک محصول از مرحله به دست آوردن ماده خام در طول تولید، استفاده، پایان عملیات چرخه، بازیافت تا دفع نهایی در برمی‌گیرد. در مطالعه ارزیابی چرخه زندگی، چهار مرحله شامل مرحله تعریف هدف و دامنه، مرحله تجزیه و تحلیل سیاهه، مرحله ارزیابی اثرات، مرحله تفسیر وجود دارد. هدف و دامنه ارزیابی یک چرخه زندگی باید به وضوح تعریف شود و باید با کاربرد موردنظر سازگار باشد (ماسیل و همکاران^۱، ۲۰۱۹). در این مطالعه اهداف عبارت‌اند از: ۱- بررسی زیست‌محیطی تولید نوشابه گازدار در شرکت زمزم گرگان به منظور تعیین و بررسی میزان اثرات مخرب زیست‌محیطی تولید نوشابه و شناسایی نقاط داغ زیست‌محیطی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET. ۲- مقایسه میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای با PET.

دامنه ارزیابی یک چرخه زندگی، باید به وضوح کارکرد (ویژگی‌های عملکرد) سامانه مورد مطالعه را مشخص کند و باهدف و دامنه مطالعه سازگار باشد. یکی از هدف‌های اولیه یک واحد کارکردی، فراهم کردن یک مرجع است که در آن داده‌های مربوط به نهاده و ستانده نرمال شده با شند (در مفهوم ریاضی). بنابراین واحد کارکردی باید به وضوح تعریف شود و قابل اندازه‌گیری باشد (هلیاس و همکاران^۲، ۲۰۲۰). پژوهشگران سه واحد کارکردی متفاوت برای ارزیابی محصولات زراعی شامل (۱) بر اساس واحد سطح، (۲) بر اساس واحد پول و (۳) بر اساس وزن ماده تولیدی پیشنهاد کرده‌اند. در اکثر مطالعات در حوزه کشاورزی و صنایع غذایی جرم به عنوان واحد کارکردی کاربرد گسترده دارد. از این رو این نوع واحد کارکردی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه، ۱۰۰۰ لیتر تولید نوشابه گازدار به عنوان واحد کارکردی انتخاب شد و تحلیل سیاهه بر اساس واحدهای کارکردی ذکر شده انجام شد. تعریف هدف و دامنه مطالعه، یک طرح مقدماتی را جهت اجرای مرحله سیاهه چرخه زندگی، در ارزیابی چرخه زندگی فراهم می‌کند. جمع‌آوری داده‌ها برای تحلیل سیاهه چرخه زندگی در اجرای موفق ارزیابی چرخه زندگی همواره یک عامل بحرانی محسوب می‌شود. دستیابی به داده‌های معتبر مانع مهمی در پیشرفت و استفاده از ارزیابی چرخه زندگی در مدیریت محیط زیست است. در این مرحله داده‌های مورد نیاز در دو بخش مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در بخش اول، آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف مواد و انرژی در تولید نوشابه گازدار مورد تحلیل قرار می‌گیرد و در بخش دوم میزان آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید مواد و انرژی (الکتریسیته، گاز طبیعی و غیره) تحلیل می‌گردد. برای محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی غیرمستقیم (خارج از کارخانه) ناشی از مصرف نهاده‌ها (گاز طبیعی و الکتریسیته تولیدی از نیروگاه‌های گاز طبیعی، مواد نگهدارنده، ماشین‌ها و تجهیزات و غیره) به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات دقیق درباره نحوه ساخت، تولید، توزیع و حمل و نقل مواد و انرژی از داده‌های موجود در پایگاه داده اکواینونت^۳ استفاده شده است (پیرو و همکاران^۴، ۲۰۱۰).

تعریف هدف و دامنه و چارچوب مطالعه مراحل تفسیر ارزیابی چرخه زندگی، و از طرفی سایر مراحل ارزیابی چرخه زندگی (سیاهه چرخه زندگی و ارزیابی سیاهه چرخه زندگی) اطلاعاتی را بر پایه سامانه محصول فراهم می‌کنند. نتایج حاصل از مراحل سیاهه چرخه زندگی یا

۱. Maciel et al.

۲. Hélias et al.

۳. Ecoinvent database

۴. Peiró et al.

ارزیابی سیاهه چرخه زندگی باید مطابق باهدف و دامنه مطالعه، تفسیر گردد. در این مطالعه به منظور دستیابی به اطلاعات موردنیاز از روش CML^2 baseline استفاده شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار سیمپرو^۱ انجام گردید (ایزو^۲، ۲۰۰۶). بر این اساس، ده رده اثر شامل تقلیل منابع غیر آلی، پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل اختناق دریاچه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی، نقصان لایه ازن، پتانسیل مسمومیت انسان‌ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET موردبررسی قرار گرفت.

۴. نتایج و بحث

انرژی‌های ورودی به تفکیک نهاده‌های مصرفی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET

در جدول ۲ میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده ارائه شده است. نتایج نشان داد متوسط مصرف انرژی و مقدار انرژی ستانده برای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳۱۶۱۰/۸۹ و ۸۳۹۰ مگاژول بود. سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای در شکل ۲ نشان داده شده است. بدین ترتیب که بطری شیشه‌ای بیشترین سهم از کل نهاده‌ها به میزان ۴۴/۱۰ درصد را به خود اختصاص داده است و پس‌از آن بسته‌بندی با ۲۸/۶۱ درصد، ماشین‌ها و ادوات و شکر به ترتیب به میزان ۱۳/۳۲ و ۵/۵۸ درصد از کل نهاده‌ها را به خود اختصاص دادند. و نیروی انسانی و بنزوات سدیم به ترتیب برابر با ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۱ درصد کمترین میزان مصرف انرژی را داشتند.

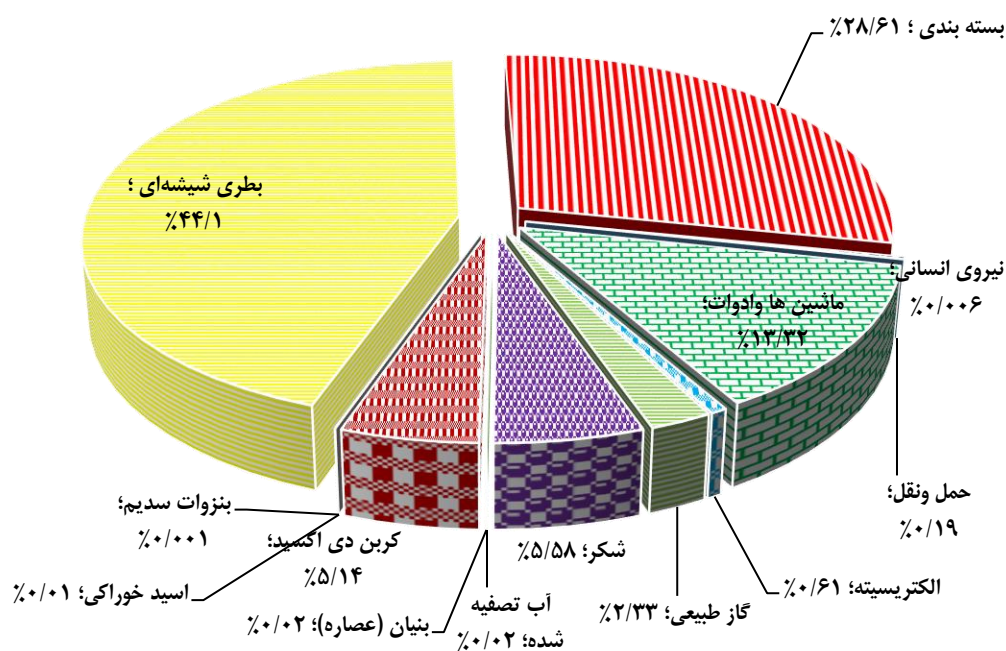
جدول ۲- مقایسه‌ی انرژی نهاده‌ها و ستانده در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده

عنوان	شیشه‌ای (مگاژول بر لیتر)	PET (مگاژول بر لیتر)	ضریب تغییرات شیشه‌ای (درصد)	ضریب تغییرات PET (درصد)
الف) نهاده‌ها				
نیروی انسانی	۱/۹۶	۰/۹۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸
ماشین‌ها و ادوات	۴۲۱۳/۴۴	۵۶۲۴/۱۹	۱۳/۳۲	۵۰/۷۵
الکتریسیته	۱۹۵/۶۵	۳۰۴/۲۱	۰/۶۱	۲/۷۴
گاز طبیعی	۷۳۷/۵۵	۸۳۱/۶۰	۲/۳۳	۷/۵۰
شکر	۱۷۶۵/۱۲	۱۷۶۵/۱۲	۵/۵۸	۱۵/۹۲
آب تصفیه‌شده	۹/۴۵	۹/۴۵	۰/۰۲	۰/۰۸
بنیان (عصاره)	۶/۶۲	۶/۶۲	۰/۰۲	۰/۰۵
کربن دی‌اکسید	۱۶۲۷	۱۶۲۷	۵/۱۴	۱۴/۶۸
اسید خوراکی	۴/۶	۴/۶	۰/۰۱	۰/۰۴
بنزوات سدیم	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
بطری شیشه‌ای	۱۳۹۴۳/۱۶	-	۴۴/۱۰	-
بطری PET	-	۵۴۸/۴۹	-	۴/۹۴
بسته‌بندی	۹۰۴۵	۳۱۰/۵	۲۸/۶۱	۲/۸۰
حمل و نقل	۶۱	۴۸/۸۰	۰/۱۹	۰/۴۴
کل انرژی نهاده‌ها	۳۱۶۱۰/۸۹	۱۱۰۸۱/۹۰	۱۰۰	۱۰۰

۱. Simapro

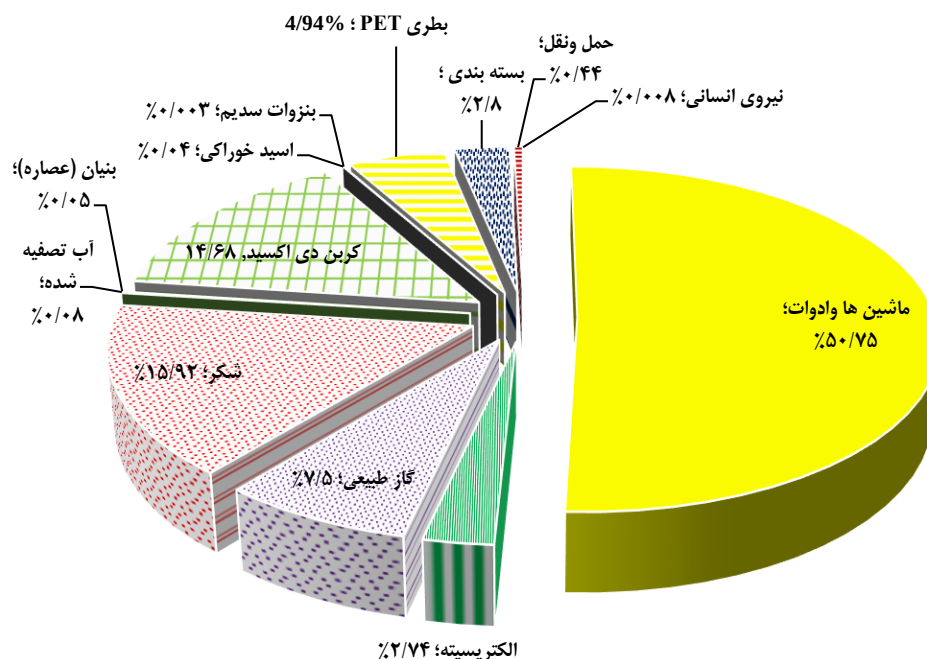
۲. ISO

(ب) ستانده			
نوشابه گازدار			
الف) شیشه‌ای	۸۳۹۰	—	—
ب) PET	—	۸۳۹۰	—



شکل ۲- سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای

در جدول ۲ همچنین میزان مصرف انرژی نهاده‌ها و انرژی ستانده در تولید نوشابه گازدار PET به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولید شده ارائه شده است. نتایج نشان داد متوسط مصرف انرژی و مقدار انرژی ستانده برای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولید شده در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۱۰۸۱/۹۰ و ۸۳۹۰ مگاژول بود. سهم هر یک از نهاده‌های انرژی در تولید نوشابه گازدار PET در شکل ۳ نشان داده شده است. بدین ترتیب که ماشین‌ها و ادوات بیشترین سهم از کل نهاده‌ها به میزان ۵۰/۷۵ درصد را به خود اختصاص داده است و پس از آن شکر با ۱۵/۹۲ درصد، کربن دی اکسید و گاز طبیعی به ترتیب به میزان ۱۴/۶۸ و ۷/۵۰ درصد از کل نهاده‌ها را به خود اختصاص دادند. نیروی انسانی و بنزوات سدیم به ترتیب برابر با ۰/۰۰۸ و ۰/۰۰۳ درصد کمترین میزان مصرف انرژی را داشتند. با توجه به محاسبات انجام شده در جدول ۲ میزان انرژی مصرفی برای تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET محاسبه شد که میزان انرژی مصرفی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای به ازای هر ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدی در مقایسه با نوشابه گازدار PET به میزان بیشتری است. با توجه به محاسبه میزان مصرف انرژی، بهتر است در کارخانه زمزم گرگان برای تولید نوشابه گازدار از نقطه نظر انرژی مصرفی از بطری‌های PET استفاده شود. که در مقایسه با بطری‌های شیشه‌ای میزان مصرف انرژی کمتری برای تولید نوشابه گازدار استفاده می‌شود.



شکل ۳- سهم هر یک از نهادهای انرژی در تولید نوشابه گازدار PET

تحلیل شاخص های انرژی در تولید نوشابه گازدار

مقادیر شاخص های انرژی برای تولید نوشابه گازدار شیشه ای و PET در جدول ۳ نشان داده شده است. بر این اساس نسبت انرژی برابر با ۰/۲۶ و ۰/۷۵ به ترتیب در نوشابه شیشه ای و PET برآورد شده است. بهره‌وری انرژی که میزان تولید از یک مگاژول را نشان می‌دهد ۰/۰۳ و ۰/۰۹ کیلوگرم بر مگاژول به ترتیب در نوشابه شیشه ای و PET محاسبه شد. و میزان شدت انرژی با ۳۱/۶۱ و ۱۱/۰۸ مگاژول بر کیلوگرم به ترتیب در نوشابه شیشه ای و PET برآورد شده است. همچنین میزان افزوده خالص انرژی که از تفاضل انرژی استاندارد و نهاده‌ها حاصل می‌شود به میزان ۲۳۲۲۰/۸۹- و ۲۶۹۱/۹۰- مگاژول بر لیتر به ترتیب در نوشابه شیشه ای و PET برآورد گردید. با توجه به محاسبه نسبت انرژی در تولید نوشابه گازدار مشخص شد که میزان این نسبت در تولید نوشابه گازدار PET در مقایسه با نوشابه گازدار شیشه ای بالاتر می‌باشد و این نشان‌دهنده این است که استفاده از بطری های PET برای تولید نوشابه گازدار از لحاظ میزان مصرف انرژی مناسب می‌باشد. مقدار انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم در نوشابه گازدار شیشه ای به ترتیب ۲/۹۸ و ۹۷/۰۲ درصد و در نوشابه PET به ترتیب ۱۰/۳۴ و ۸۹/۶۶ درصد می‌باشد. و همچنین میزان انرژی تجدید پذیر و انرژی تجدید ناپذیر در نوشابه شیشه ای به ترتیب ۵/۶۲ و ۹۴/۳۸ درصد و در نوشابه PET به ترتیب ۱۶/۰۳ و ۸۳/۹۷ درصد از کل انرژی های مصرفی برآورد شده است. با توجه به این نتایج میزان استفاده از انرژی های تجدید ناپذیر بالاست که از دو دیدگاه قابل بررسی می‌باشند؛ نخست اینکه لزوم توجه به انرژی های تجدیدپذیر در این منطقه باید در اولویت قرار گیرد. دیدگاه دوم شامل مباحث زیست محیطی بود که استفاده بی‌رویه و نادرست از انواع انرژی های تجدید ناپذیر مانند سوخت های فسیلی تبعات زیست محیطی جبران ناپذیری داشته است.

جدول ۳- شاخص های انرژی در تولید نوشابه گازدار

عنوان	واحد	شیشه ای	درصد	PET	درصد
نسبت انرژی	-	۰/۲۶		۰/۷۵	
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۰/۰۳		۰/۰۹	

شدت انرژی	مگاژول بر کیلوگرم	۳۱/۶۱	۱۱/۰۸	
افزوده خالص انرژی	مگاژول بر لیتر	-۲۳۲۲۰/۸۹	-۲۶۹۱/۹۰	
انرژی مستقیم	مگاژول بر لیتر	۹۴۴/۶۱	۱۱۴۶/۲۴	۱۰/۳۴
انرژی غیرمستقیم	مگاژول بر لیتر	۳۰۶۶۶/۲۸	۹۷۰/۰۲	۸۹/۶۶
انرژی تجدیدپذیر	مگاژول بر لیتر	۱۷۷۶/۵۳	۵/۶۲	۱۶/۰۳
انرژی تجدیدناپذیر	مگاژول بر لیتر	۲۹۸۳۴/۳۶	۹۴/۳۸	۸۳/۹۷

ارزیابی چرخه زندگی نوشابه‌ها با هدف مطالعه تعیین اثرات زیست‌محیطی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای

به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی تولید نوشابه گازدار در شرکت زمزم گرگان، چرخه زندگی این محصول از مرحله استخراج مواد اولیه تا تولید محصول مورد مطالعه قرار گرفت. پس از آن یک مقایسه کلی میان نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET از نظر میزان آلاینده‌ی تولید شده به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده انجام گرفته است. مقادیر شاخص‌های زیست‌محیطی برای تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای در جدول ۴ نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین رده‌های اثر زیست‌محیطی مورد بررسی در مطالعات ارزیابی چرخه زندگی، شاخص گرمایش جهانی است که نتایج این مطالعه نشان داد که در ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده گازدار شیشه‌ای ۲۵۰۴/۸۱ کیلوگرم کربن دی‌اکسید معادل به اتمسفر وارد شده است. همچنین مسمومیت آب‌های آزاد با ۱,۴-DCB eq ۱۰,۴۸۹۶/۹۳ kg بیشتر میزان آلاینده‌ی را دارد و نقصان لایه ازن با kg eq PO_4^{3-} ۰/۰۰۰۱ کمترین میزان آلاینده‌ی را دارا می‌باشد. در جدول ۵ شاخص‌های زیست‌محیطی برای تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای به صورت نرمال شده آورده شده‌اند تا بتوانند قابل‌مقایسه باشند. بر این اساس اثر مسمومیت آب‌های آزاد با مقدار $E-08$ ۶/۴۳ آلاینده‌ی بیشتری نسبت به سایر رده‌های اثر داشت. اثر نقصان لایه ازن با مقدار $E-10$ ۱/۷۳ کمترین میزان آلاینده‌ی را در بین رده‌های اثر داشت. در پژوهشی، تجزیه و تحلیل موجودی چرخه زندگی در تولید نوشیدنی آبجو نشان داد که فرآیندهای تولید، تصفیه، بسته‌بندی و ذخیره‌سازی بیشترین میزان انتشار را داشته‌است (تاکاموتو و همکاران^۱، ۲۰۰۴). نتایج مطالعه‌ای دیگر نیز نشان داد که تولید بطری، فرآیند بسته‌بندی و تولید آبجو بیشترین میزان انتشار را دارا بود و مشخص شد که تولید و حمل‌ونقل عناصر بسته‌بندی و مواد اولیه نیز جنبه‌هایی داشتند که می‌توانستند برای بهبود در نظر گرفته شوند (هوسپیدو و همکاران^۲، ۲۰۰۵).

جدول ۴- شاخص‌های ارزیابی چرخه‌ی زندگی در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده

بخش‌های اثر	واحد	شیشه‌ای	PET
۱- تقلیل مواد غیر آلی	kg Sb eq	۱۸	۵/۹۱
۲- اسیدی شدن	kg SO _x eq	۱۴/۶۰	۳/۶۴
۳- اختناق دریاچه‌ای	kg PO ₄ ³⁻ eq	۱/۱۹	۰/۰۲
۴- پتانسیل گرمایش جهانی	kg CO ₂ eq	۲۵۰۴/۸۱	۷۹۱/۱۳
۵- نقصان لایه‌ی ازن	kg CFC-۱۱ eq	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۸
۶- مسمومیت انسان‌ها	kg ۱,۴-DCB eq	۶۱۴/۲۵	۱۷۸/۵۱
۷- مسمومیت آب‌های سطحی	kg ۱,۴-DCB eq	۴۲/۰۲	۱۴/۵۷
۸- مسمومیت آب‌های آزاد	kg ۱,۴-DCB eq	۲۰۴۸۹۶/۹۳	۳۵۹۰۶/۴۷

۱. Takamoto et al.

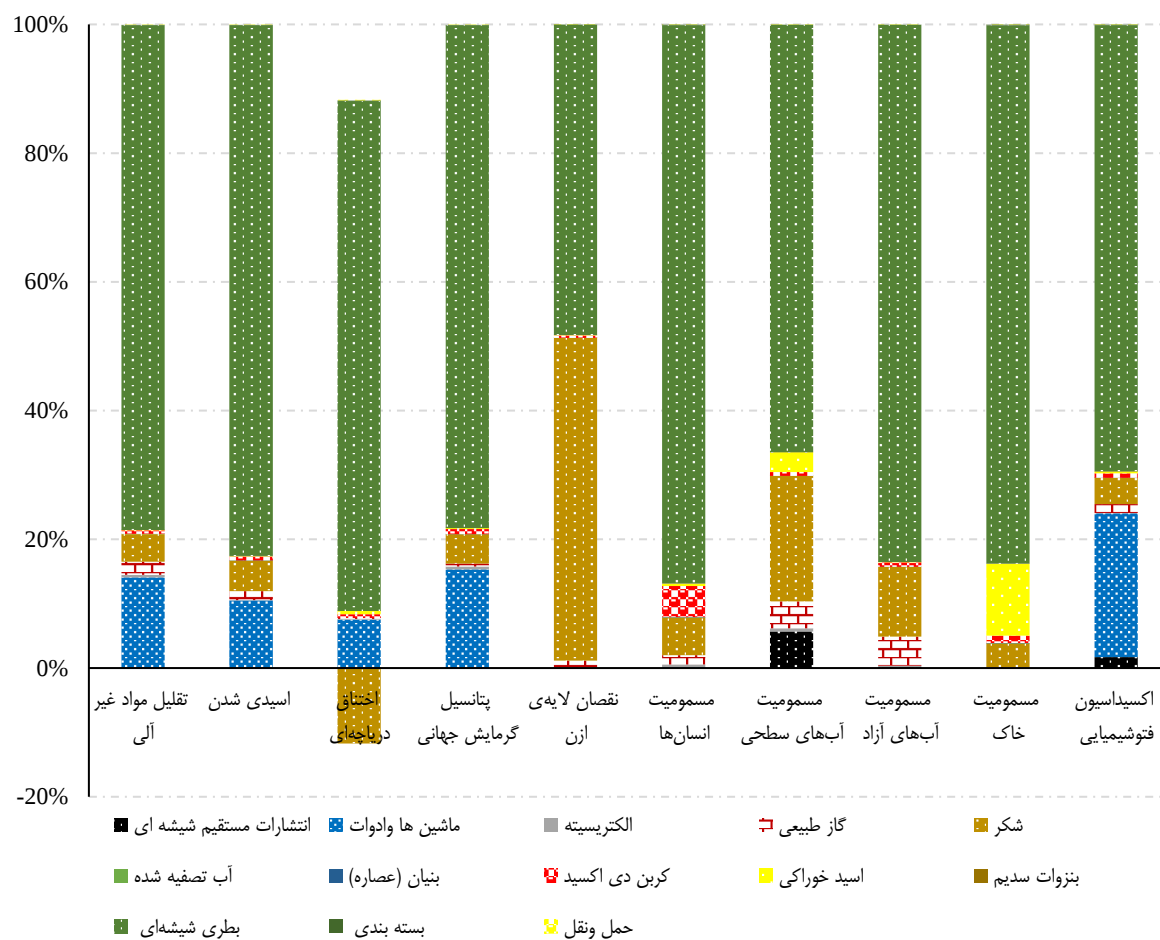
۲. Hospido et al.

۰/۸۱	۴/۸۶	kg ۱,۴-DCB eq	۹- مسمومیت خاک
۰/۳۰	۰/۷۲	kg C _۲ H _۴ eq	۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی

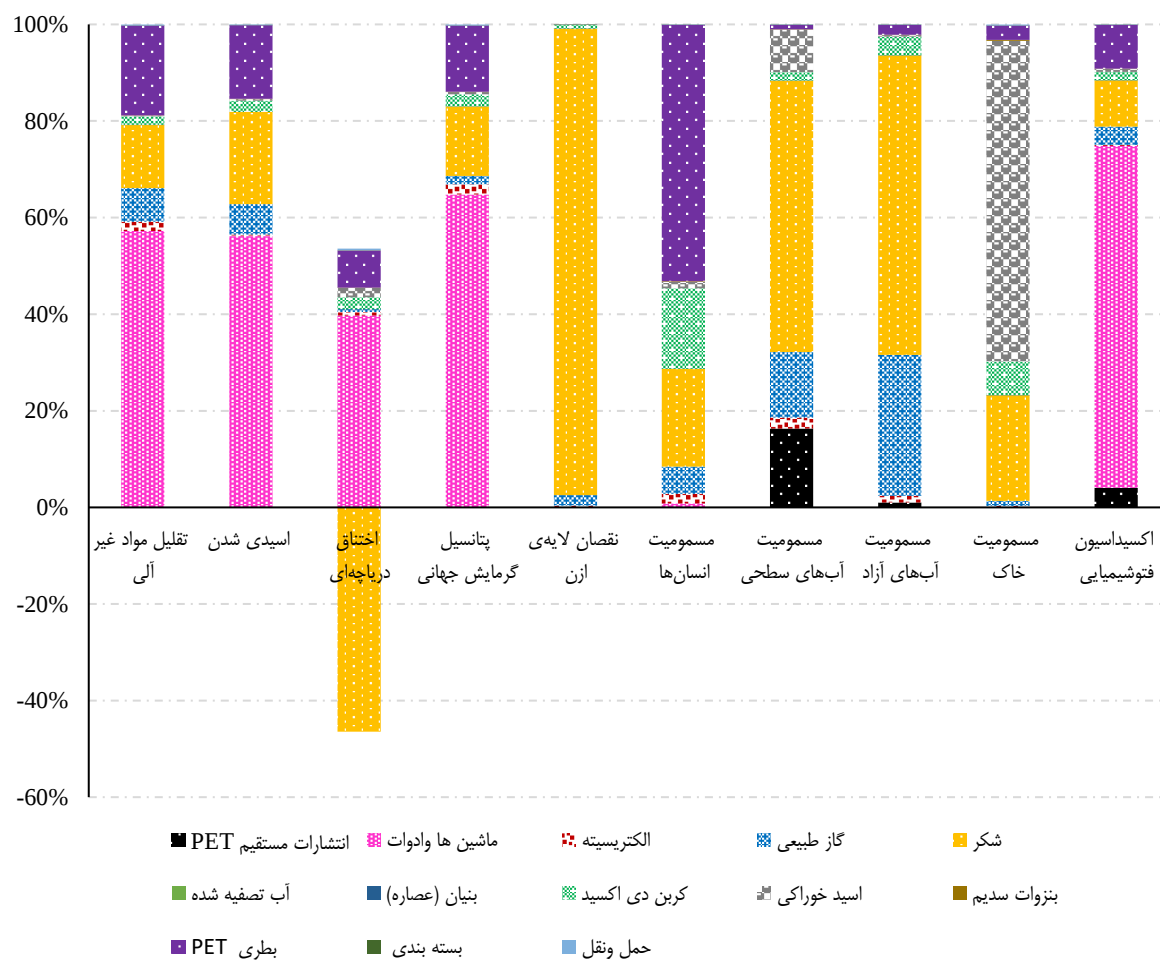
جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی چرخه‌ی زندگی نرمال شده در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه تولیدشده

PET	شیشه‌ای	بخش‌های اثر
۳/۴۶ E-۰۹	۱/۰۵ E-۰۸	۱- تقلیل مواد غیر آلی
۵/۴۳ E-۰۹	۲/۱۷ E-۰۸	۲- اسیدی شدن
۵/۵۵ E-۱۱	۲/۳۷ E-۰۹	۳- اختناق دریاچه‌ای
۳/۱۳ E-۰۹	۹/۹۱ E-۰۹	۴- پتانسیل گرمایش جهانی
۹/۰۳ E-۱۱	۱/۷۳ E-۱۰	۵- نقصان لایه‌ی ازن
۹/۴۹ E-۱۰	۳/۲۶ E-۰۹	۶- مسمومیت انسان‌ها
۱/۹۳ E-۰۹	۵/۵۸ E-۰۹	۷- مسمومیت آب‌های سطحی
۱/۱۲ E-۰۸	۶/۴۳ E-۰۸	۸- مسمومیت آب‌های آزاد
۸/۹۰ E-۱۰	۵/۲۹ E-۰۹	۹- مسمومیت خاک
۱/۶۷ E-۰۹	۳/۹۸ E-۰۹	۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی

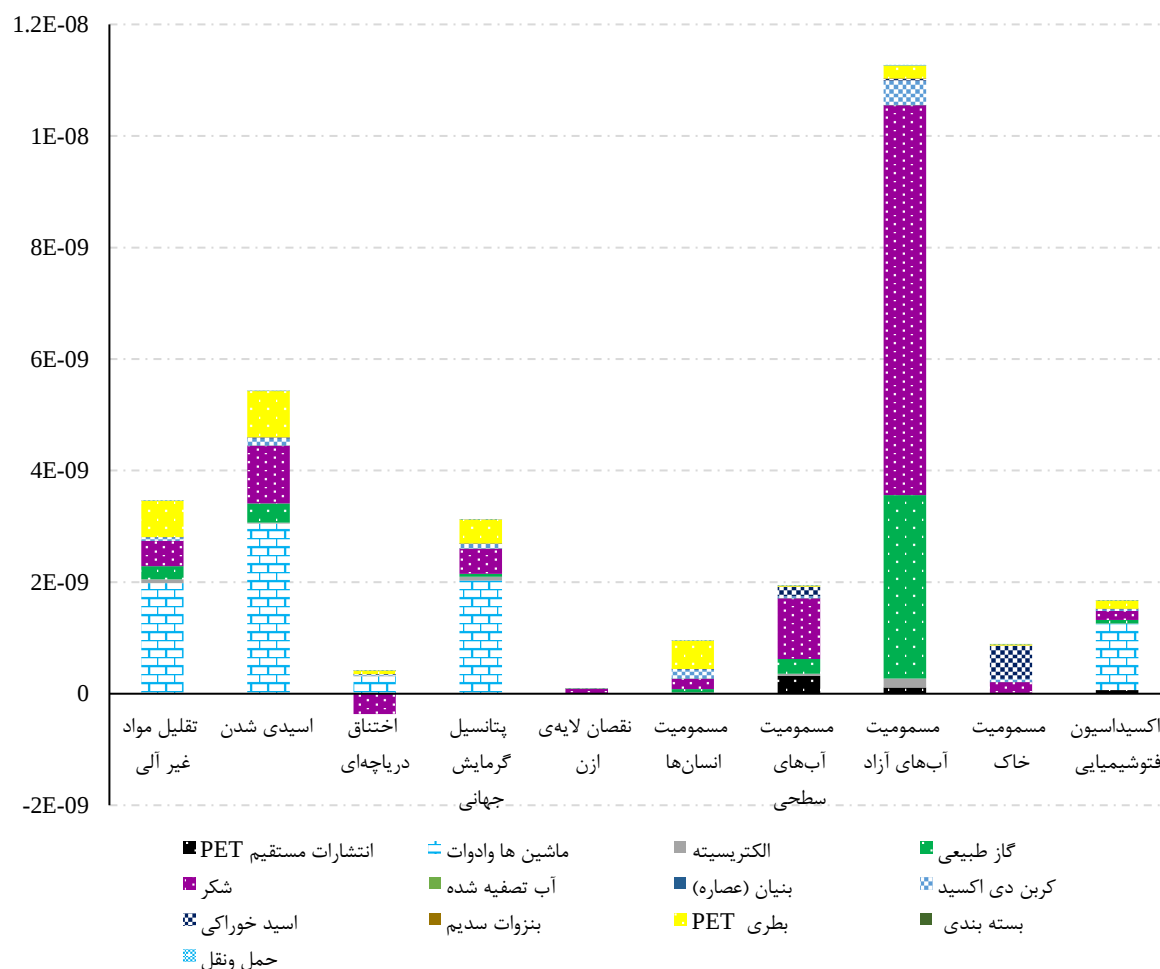
در شکل ۴ سهم هر یک از نهاده‌ها در ایجاد گرمایش جهانی و همچنین سایر رده‌های اثر برای تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای نشان داده شده است. بر طبق این شکل، بطری شیشه‌ای سهم اصلی را در ایجاد گرمایش جهانی به خود اختصاص داده‌اند و همچنین شکر مصرفی در تمام بخش‌های اثر به جز در بخش اختناق دریاچه‌ای بیشترین میزان آلاینده‌ی را دارد که منشأ این آلاینده‌ی‌ها انتشار نیتروژن دی‌اکسید، اکسیدهای نیتروژن و سایر ترکیبات نیتروژن‌دار ناشی از مصرف کود نیتروژن در تولید شکر است. در شکل ۵ رده‌های اثر و عوامل مؤثر در ایجاد آن‌ها برای تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای به صورت نرمال نشان داده شده‌اند تا بتوانند قابل مقایسه باشند. براین اساس رده اثر مسمومیت آب‌های آزاد و پس از آن اسیدی شدن مقدار آلاینده‌ی بیشتری نسبت به سایر رده‌های اثر داشته‌اند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، عامل اصلی در ایجاد این دو رده اثر بطری شیشه‌ای، شکر مصرفی (رده اثر مسمومیت آب‌های آزاد) و انتشارات ناشی از فعالیت‌های کارخانه (استفاده از ماشین‌ها و ادوات و غیره) (رده اثر اسیدی شدن) بوده‌اند. بنابراین می‌توان گفت مصرف بهینه استفاده از نهاده‌ها برای تولید بطری شیشه‌ای و همچنین استفاده بهینه از ماشین‌ها و ادوات و شکر مصرفی می‌تواند از آسیب‌های گسترده این دو رده اثر جلوگیری کند.



شکل ۴- بخش های اثر به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه شیشه ای تولیدشده



شکل ۶- بخش‌های اثر به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه PET تولیدشده



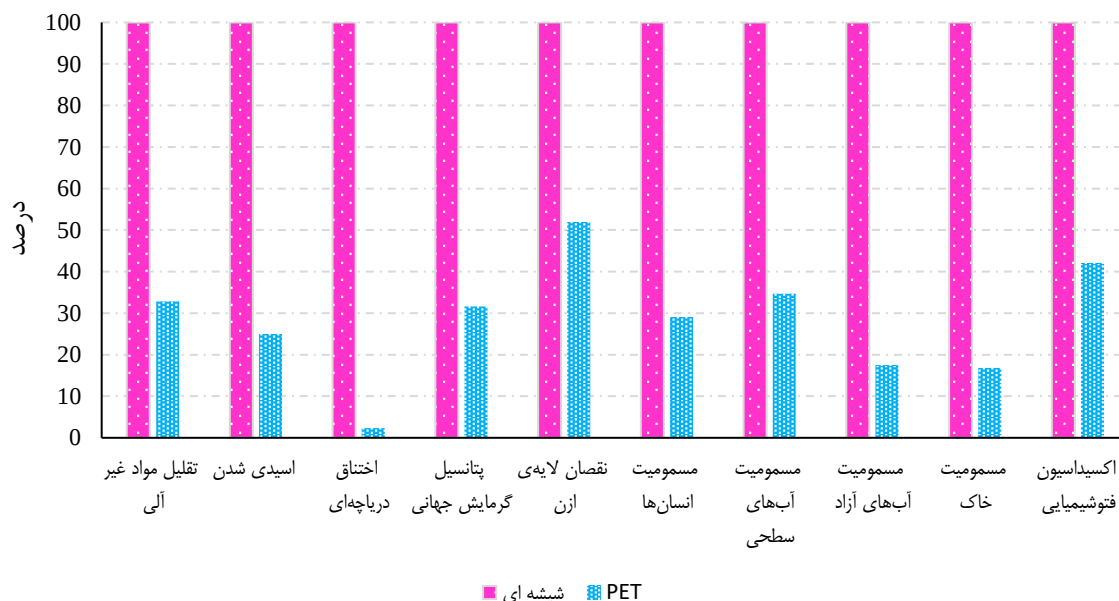
شکل ۷- بخش‌های اثر نرمال شده به ازای ۱۰۰۰ لیتر نوشابه PET تولیدشده

مقایسه اثرات زیست‌محیطی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET

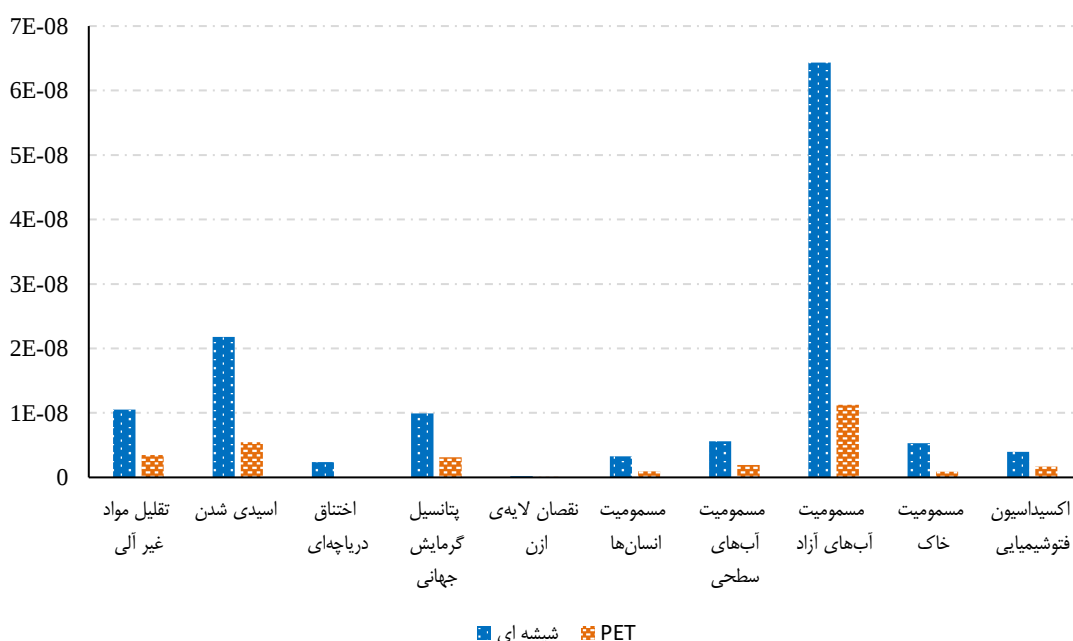
شکل ۸ مقایسه اثرات زیست‌محیطی بین نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر نشان می‌دهد. بر طبق مشاهدات، نوشابه گازدار شیشه‌ای نسبت به نوشابه گازدار PET بارهای محیطی بیشتری تولید می‌کنند و این نشان می‌دهد استفاده از بطری‌های PET جهت تولید نوشابه گازدار از جهت میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی مناسب‌تر از بطری‌های شیشه‌ای می‌باشد. همچنین استفاده از بطری‌های PET جهت حمل و نقل برای مکان‌های مختلف مناسب می‌باشند. در شکل ۹ مقایسه اثرات زیست‌محیطی بین نوشابه گازدار شیشه‌ای و PET در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر به صورت نرمال شده نشان داده شده است. با توجه به شکل اثرات مسمومیت آب‌های آزاد و اسید شدن بیشترین تأثیر را داشته‌اند که این میزان آلاینده‌گی در تولید نوشابه گازدار شیشه‌ای بیشتر از نوشابه گازدار PET می‌باشد.

در پژوهشی انتشارهای زیست‌محیطی فرایند تولید نوشابه گازدار با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مرحله بسته‌بندی بیشترین میزان آلاینده‌گی را منتشر می‌کرد و حدود ۵۹ تا ۷۷ درصد آلاینده‌گی منتشر شده در فرایند تولید نوشابه مربوط به این بخش بود. همچنین میزان آلاینده‌گی در نوشابه گازدار شیشه‌ای بیشتر از نوشابه گازدار PET به دست آمد (آمینو و همکاران، ۲۰۱۳).

^۱. Amienyo et al.



شکل ۸- مقایسه اثرات زیست‌محیطی بین نوشابه شیشه‌ای و PET در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر



شکل ۹- مقایسه اثرات زیست‌محیطی بین نوشابه شیشه‌ای و PET در تولید نوشابه گازدار به ازای ۱۰۰۰ لیتر به صورت نرمال شده

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر، تولید نوشابه‌های گازدار در شرکت زمزم گرگان را در دو بخش بطری‌های شیشه‌ای و بطری‌های PET با رویکردهای مختلف از نظر جریان انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی بررسی کرده است. مهمترین یافته‌های این مطالعه بدین شرح است: مقایسه اثرات زیست‌محیطی بین نوشابه‌های شیشه‌ای گازدار و PET در هر ۱۰۰۰ لیتر نشان داد که نوشابه‌های شیشه‌ای گازدار باعث تولید بار زیست‌محیطی بالاتری نسبت به نوشابه‌های PET گازدار شده‌اند. این نشان می‌دهد که استفاده از بطری PET برای تولید نوشابه‌های گازدار دارای میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی کمتری است. با توجه به مصرف زیاد انرژی و انتشار زیاد آلاینده در تولید بطری‌های

شیشه‌ای و استفاده بیش از حد از ماشین آلات و تجهیزات، توصیه می‌شود برای بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، مطالعات لازم جهت کاهش مصرف این ورودی‌ها انجام گردد.

منابع

- [۱] فتاحی، رضا. نوراللهی، یونس (۱۳۹۹). "مدیریت مصرف انرژی در یک تصفیه خانه فاضلاب: نمونه بیوراکتور لجن فعال". نشریه انرژی ایران. ۲۳.۱: ۲۳-۷.
- [۲] فلاح، سیف اله. پور عزیزی، مرضیه. رستمی، سجاد (۱۳۹۳). "ضرورت و پتانسیل تولید سوخت زیستی از بقایای غلات در کشور". نشریه انرژی ایران. ۱۷.۱: ۶۵-۷۴.
- [۳] Alkaya, E. and Demirer, G.N. (۲۰۱۵). Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey, Resources, Conservation and Recycling, Elsevier, Vol. ۱۰۴, pp. ۱۷۲-۱۸۰.
- [۴] Amienyo, D., Gujba, H., Stichnothe, H. and Azapagic, A. (۲۰۱۳). Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks, The International Journal of Life Cycle Assessment, Springer, Vol. ۱۸ No. ۱, pp. ۷۷-۹۲.
- [۵] Büyüközkan, G., Karabulut, Y. and Mukul, E. (۲۰۱۸). A novel renewable energy selection model for United Nations' sustainable development goals, Energy, Elsevier, Vol. ۱۶۵, pp. ۲۹۰-۳۰۲.
- [۶] Feyzbakhsh, M.T., and Alizadeh, P. (۲۰۱۷). Comparison of Silage Corn (*Zea mays* L.) and Forage Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Productions in Terms of Energy Consumption and Global Warming Potential in Gorgan Region. Agroecology, ۱۰(۱), ۲۱۸-۲۳۳. (In Persian with English Summary).
- [۷] Hélias, A., Esnouf, A. and Finkbeiner, M. (۲۰۲۰). Consistent normalization approach for Life Cycle Assessment based on inventory databases, Science of The Total Environment, Elsevier, Vol. ۷۰۳, p. ۱۳۴۵۸۳.
- [۸] Hospido, A., Moreira, M.T. and Feijoo, G. (۲۰۰۵). Environmental analysis of beer production, International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology, Inderscience Publishers, Vol. ۴ pp. ۲, pp. ۱۵۲-۱۶۲.
- [۹] ISO ۱۴۰۴۰, B. (۲۰۰۶), "Environmental management-life cycle assessment-principles and framework", London: British Standards Institution.
- [۱۰] Maciel, V.G., Wales, D.J., Seferin, M., Ugaya, C.M.L. and Sans, V. (۲۰۱۹). State-of-the-art and limitations in the life cycle assessment of ionic liquids", Journal of Cleaner Production, Elsevier, Vol. ۲۱۷, pp. ۸۴۴-۸۵۸.
- [۱۱] Mohseni, P., Borghei, A.M. and Khanali, M. (۲۰۱۸). Application of data envelopment analysis approach to reduce environmental impacts and increase energy efficiency in grape production, Journal of Cleaner Production, Vol. ۱۹۷ No. ۱, pp. ۹۳۷-۹۴۷.
- [۱۲] Peiró, L.T., Lombardi, L., Méndez, G.V. and i Durany, X.G. (۲۰۱۰). Life cycle assessment (LCA) and exergetic life cycle assessment (ELCA) of the production of biodiesel from used cooking oil (UCO), Energy, Elsevier, Vol. ۳۵ No. ۲, pp. ۸۸۹-۸۹۳.
- [۱۳] Rashidi, J., Rhee, G., Kim, M., Nam, K., Heo, S., Yoo, C. and Karbassi, A. (۲۰۱۸). Life cycle and economic assessments of key emerging energy efficient wastewater treatment processes for climate change adaptation, International Journal of Environmental Research, Springer, Vol. ۱۲ No. ۶, pp. ۸۱۵-۸۳۷.
- [۱۴] Simon, B., Amor, M. Ben and Földényi, R. (۲۰۱۶). Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles, Journal of Cleaner Production, Elsevier, Vol. ۱۱۲, pp. ۲۳۸-۲۴۸.
- [۱۵] Soodmand-Moghaddam, S., Sharifi, M. and Zareiforoush, H. (۲۰۱۹). Investigation of fuel consumption and essential oil content in drying process of lemon verbena leaves using a continuous flow dryer equipped with a solar pre-heating system, Journal of Cleaner Production, Elsevier, Vol. ۲۳۳, pp. ۱۱۳۳-۱۱۴۵.
- [۱۶] Takamoto, Y., Mitani, Y., Takashio, M., Itoi, K. and Muroyama, K. (۲۰۰۴). Life cycle inventory analysis of a beer production process, Technical Quarterly-Master Brewers Association of the Americas, Vol. ۴۱ No. ۴, pp. ۳۶۳-۳۶۵.
- [۱۷] Van Tran, N., Van Tran, Q., Do, L.T.T., Dinh, L.H. and Do, H.T.T. (۲۰۱۹). Trade off between environment, energy consumption and human development: Do levels of economic development matter?, Energy, Elsevier, Vol. ۱۷۳, pp. ۴۸۳-۴۹۳.