مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۰ شماره ۲ زمستان ۱۳۹۶

# ارزیابی چرخه حیات اتانول تولیدی از ملاس نیشکر در ایران

محسن سلیمانی[۱*]، علیرضا کیهانی[۲] و محمود امید[۳]

۱- استادیار فعلی گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران و دانشجوی دکتری سابق گروه ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران.

۲- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

**تاریخچه مقاله**

دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۹

پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۲۳

***کلمات کلیدی:***

***ارزیابی چرخه حیات،***

***اتانول،***

***زیست سوخت،***

***نیشکر***

* عهده دار مکاتبات

Email: m.soleymani@scu.ac.ir

**چکیده**

**ارزیابی اثرات زیست محیطی اتانول تولیدی از ملاس نیشکر در ایران با استفاده از مدل سیماپرو انجام پذیرفت. داده‌های مورد نیاز از شرکت کشت و صنعت و توسعه نیشکر، کشت و صنعت کارون و اطلاعات ثبت شده حاصل گردید. دو سناریوی مختلف از تولید اتانول (سامانه موجود و سامانه اصلاح شده) در نظر گرفته شد و اثرات زیست محیطی دو سامانه با همدیگر مقایسه شد. بر اساس نتایج و با وضع موجود در زمینه میزان انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در کل چرخه حیات، تفاوت معنی‌داری بین اتانول و گازوییل دیده نمی‌شود. اما با تولید برق از باگاس، مقدار اثرات زیست محیطی ناشی از تولید اتانول تا ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. در حال حاضر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای اتانول ٦۰ درصد کمتر از انتشار آلاینده‌های مربوط به گازوییل می‌باشد که با تولید برق از باگاس این میزان کاهش به ۷۰ درصد هم خواهد رسید. با اعمال راهکارهای مدیریتی مناسب ذکر شده می‌توان منافع زیست محیطی و انرژی فراوانی را کسب کرد که جایگزینی گازوییل مصرفی در حمل و نقل را با اتانول موجه می‌سازد. حتی با وضعیت موجود و از آنجا که محصول اصلی صنایع نیشکر در ایران، شکر می‌باشد و ملاس به عنوان یک محصول جانبی و درجه دوم اهمیت قرار دارد، تولید اتانول از ملاس، توجیه‌پذیر می‌باشد چرا که تولید آن از اتلاف یک ماده گران‌بها جلوگیری به عمل آورده و از تحمیل بارهای زیست محیطی بیشتر (در اثر دفع ملاس) ممانعت به عمل می‌آورد.**

## مقدمه

به دلیل برخی مشکلات، از جمله تغییرات آب و هوایی، افزایش قیمت نفت خام، بحث امنیت انرژی و محدودیت‌های منابع سوخت‌های فسیلی، جایگزینی این سوخت‌ها با سوخت‌های تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست، بسیار ضروری می‌باشد (۶ و ۱۵). موارد قابل جایگزین عبارتند از انرژی‌های بادی، خورشیدی، زمین گرمایی، برقآبی، زیست توده و زیست سوخت. در حال حاضر اتانول، بیودیزل و روغن گیاهی خالص (PPO) سه نوع اصلی زیست سوخت‌ها می‌باشند. این نسل از زیست سوخت‌ها به اصطلاح "سوخت‌های نسل اول" نامیده می‌شوند. منابع این زیست سوخت‌ها (نیشکر، ذرت، سویا، سیب‌زمینی، گندم و یا چغندرقند) همگی در رقابت با منابع غذایی انسانی هستند (۴). ابهام در میزان پایداری زیست سوخت‌های نسل اول، تلاش‌ها را به سمت تولید زیست سوخت‌های نسل دوم که از ضایعات کشاورزی و یا زیست توده‌های لیگنوسلولزی ساخته می‌شوند، سوق داد. اگرچه این منابع خام به طور مستقیم با منابع غذایی بشری در رقابت نیستند، با این وجود تولید آن‌ها در استفاده از زمین‌های کشاورزی قابل کشت می‌تواند با منابع غذایی رقابت نماید (۸). زیست سوخت‌های تولیدی از جلبک و گیاهان دریایی را به عنوان زیست سوخت‌های نسل سوم می‌شناسند (۶). از آنجا که این منابع قابل رشد در آب‌های دریایی می‌باشند، در رقابت با محصولات کشاورزی نیستند (۲۵). در کشورهای در حال توسعه همانند ایران که امنیت غذایی از اهمیت به سزایی برخوردار است، بهترین منابع جهت تولید زیست سوخت، ضایعات روغنی و منابع غیر خوراکی همانند جلبک، باگاس، ملاس و... می‌باشند.

بخش حمل و نقل و عمدتا مصرف سوخت فسیلی، اصلی‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای در دنیا و به تبع در ایران می‌باشد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی در سال ۱۳۹۰ در کشور ایران، ۰/۵۵۹ میلیارد تن؛ شامل ۰/۵۵ میلیارد تن، $CO_2$؛ ۰/۰۰۸ میلیارد تن، CO؛ ۱/۸ میلیون تن، NO؛ ۱/۴میلیون تن، $SO_2$؛ ۰/۳۹ میلیون تن، SPM؛ ۰/۰۵ میلیون تن، $CH_4$؛ ۱۳/۵ هزار تن، $SO_3$؛ و ۱۱/۳ هزار تن، $N_2O$؛ بوده است (۱). امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل محیطی، افزایش نمایی این اثرات گلخانه‌ای بر اثر عوامل آلوده کننده بخش‌های صنعتی و حمل و نقل می‌باشد. بنابراین تولید و استفاده از سوخت‌های جایگزین در کشور ایران در جهت رفع وابستگی به سوخت‌های فسیلی و همچنین کاهش آلودگی هوا یک ضرورت است. تولید زیست سوخت‌ها، علاوه بر کاهش آلودگی، توسعه روستایی را نیز باعث می‌گردد (۲۴).

در حال حاضر اصلی‌ترین زیست سوخت‌های جهان، اتانول و بیودیزل هستند. اتانول به طور عمده از نیشکر و ذرت و به نسبت کمتر از گندم، چغندرقند و کاساوا تولید می‌گردد. شکر در برزیل و ذرت در ایالت متحده آمریکا اصلی‌ترین مواد خام برای تولید اتانول دنیا را تشکیل می‌دهند که تقریبا ۸۰ درصد کل تولید جهانی را شامل می‌شود. از نقطه نظر انرژی، اتانول ۹۰ درصد زیست سوخت مصرفی دنیا را شامل می‌شود (۹).

اما در مورد منافع زیست سوخت‌ها نسبت به سوخت-های فسیلی، اتفاق نظر کلی وجود ندارد. بعضی از محققان اعتقاد دارند که ممکن است بیواتانول (الکل زیستی) در کل چرخه حیات خود، به علت انتشار اکسید نیتروژن و انتشار گازهایی در نتیجه استفاده بیشتر از کودها، گازهای گلخانه‌ای بیشتری از بنزین را تولید کند (۵). اگرچه بیشتر متخصصان معتقدند کاهش کمی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتانول تولیدی از ذرت و کاهش بیشتری در اتانول تولیدی از نیشکر و منابع سلولزی وجود دارد (۱۱، ۱۳، ۱۶ و ۲۳).

فواید زیست محیطی زیست سوخت نسبت به سوخت فسیلی، به اثرات کل چرخه حیات زیست سوخت وابسته می‌باشد. بنابراین نیاز است تا راه‌هایی برای اندازه‌گیری کارآیی زیست محیطی زیست سوخت‌ها تعریف گردد (۲۷). ارزیابی چرخه حیات چارچوب مناسبی را برای

اندازه‌گیری این کارآیی زیست محیطی فراهم می‌کند. ارزیابی چرخه حیات که ارزیابی از گهواره تا گور نیز نامیده می‌شود، شامل تحلیل همه مراحل از استخراج منابع، تولید مواد، قطعات تولیدی و تولید آن‌ها، و مدیریت مصرف تولیدات چه به صورت دور ریز، بازیافتی و یا دفع نهایی، می‌شود (۱۲). LCA می‌تواند به متولیان امور در جهت حمایت از یک تولید که کمترین آثار مخرب را به محیط زیست دارد، کمک کند (۲۲).

**مرور منابع**

بسیاری از محققان، اثرات اقتصادی و زیست محیطی زیست سوخت‌های مختلف را ارزیابی نموده‌اند که بسیاری از آن‌ها ارزیابی چرخه حیات بوده است (۱۳، ۱۶ و ۲۳). این ارزیابی‌ها، مزایا و معایب سوخت‌های زیستی را نسبت به هم و همچنین نسبت به سوخت‌های فسیلی مشخص می‌کنند. بر اساس این مطالعات از آنجا که روش تولید زیست سوخت‌ها متفاوت است، اثرات آن‌ها بر محیط زیست نیز متفاوت می‌باشد. اگر چه بیشتر مطالعات تاکید دارند که انتشار کربن خالص در کل چرخه زیستی، کمتر از سوخت‌های فسیلی می‌باشد اما نشان داده شده است که ممکن است منابع تولید زیست سوخت‌ها، مواد مغذی وارد شده به محیط‌های آبی را تشدید نمایند (۱۰، ۱۶ و ۲۳).

سیلالرتروکسا[1] و قیوالا[2] (۲۶) به مطالعه پایداری زیست محیطی (تجدیدپذیری و بازدهی انرژی) چهار کارخانه از هفت کارخانه تولید اتانول زیستی در تایلند پرداختند و نشان دادند که تفاوت‌های معنی‌داری بین چهار کارخانه حتی با مواد خام مشابه وجود دارد. این تفاوت‌ها به شاخص‌های مختلفی همانند عملیات کشاورزی، انتقال و حمل و نقل مواد، سوخت‌های مورد استفاده در کارخانه‌های تولید اتانول، عملیات اجرایی و فناوری‌های تبدیل اتانول و عملیات مدیریت بقایا، وابسته بودند. ارزیابی چرخه حیات اتانول بر پایه ملاس با ده درصد مخلوط با بنزین (E10)، نیز نشان داد که E10 در مقایسه با بنزین، باعث کاهش ۴/۳ و ۳/۱ درصدی به ترتیب در مقدار انتشار $CO_2$ و NOx خواهد شد (۱۸).

چرخه حیات اتانول تولیدی از ذرت در کشور آرژانتین، با استفاده از بسته نرم‌افزاری سیماپرو ارزیابی گردید(۱۹). استفاده از کودها و منابع، تولید دانه ذرت (بذر)، فرآیند برداشت، خشک کردن ذرت و همچنین تولید ترکیبات استامید انیلید[3] (آفت‌کش) بیشترین اثرات زیست محیطی را در بخش کشاورزی و تولید ذرت، و گرمای مورد نیاز و همچنین گاز طبیعی سوزانده شده بیشترین سهم را در بخش صنعتی (کارخانه) دارا بوده‌اند. استفاده از DDGs[4] اثر زیست‌محیطی مثبت معنی‌داری را به دنبال داشته است.

از آنجا که انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از احتراق یک سوخت تجدیدپذیر از نوع گازهای گلخانه‌ای ذاتی نیستند، منافع زیست محیطی فراوانی در استفاده از اتانول تولیدی از شکر و گندم مخصوصا در صورت تولید از ضایعات این مواد وجود دارد (۳). با این وجود اگر اتانول به گازوییل و یا بنزین افزوده گردد، به خاطر کارآیی کمتر اتانول نسبت به سوخت‌های مرسوم، این منافع زیست محیطی از دست می‌رود. فشار بخار بنزین مخلوط با اتانول بیشتر از بنزین خالص و اتانول خالص است و لذا معلوم نیست که استفاده از سوخت مخلوط نسبت به اتانول خالص در بهسازی کیفیت هوا مؤثر باشد و یا خیر.

البته همه مطالعات به تایید مزیت‌های زیست سوخت‌ها از جمله اتانول ختم نشده است و نتایج ضد و نقیض زیادی از مطالعات گوناگون منتشر شده است (۱۴ و ۲۰).

1- Silalertruksa
2- Gheewala
3- Acetamide–Anillide
4- Dried Distillers Grains (DDGs)

**جدول(۱) ورودی‌ها و خروجی‌ها در سامانه تولید اتانول از ملاس نیشکر**

**Table (1) Inputs and outputs in the system of ethanol production from sugarcane molasses**

| بخش کشاورزی(Agricultural Section) | | | بخش تولید ملاس(Molasses Production Section) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ورودی‌ها(Inputs) | | ورودی‌ها(Inputs) | مقدار (Quentity)(ton) | خروجی (Outputs) | مقدار (ton) (Quentity) |
| سوخت (Fuel)(L/ha) | دیزل(Diesel) | 507 | نیشکر (Sugarcane) | 100 | شکر(Sugar) | 9.1 |
| | روغن(Oil) | 6.7 | آهک(Lime) | 9 | باگاس(Bagass) | 35 |
| آبیاری (Irrigation) | برق (Electricity)(kWh) | 8830 | P2O5 | 1.68 | ملاس (Molasses) | 7 |
| کود (Fertilizer)(kg/ha) | ازته(N) | 161 | مازوت (Fuel Oil)(L) | 5300 | پسماند(Waste) | 30 |
| | فسفاته($P_2O_5$) | 138 | | | | |
| سم (Herbicide)(kg/ha) | آترازین (Atrazine) | 4 | بخش تولید اتانول(Ethanol Production Section) | | | |
| | ارادیکان (Eradicane) | 4.176 | ملاس(Molasses) | 100 | پسماند (Waste, Stelage) | 273 |
| | پاراکوات (Paraquat) | 0.25 | اسید سولفوریک (Sulphuric Acid) | 0.34 | | |
| | سنکور(Sencor) | 1.152 | N | 0.052 | | |
| | تبوسان(Tebusan) | 1.2 | P2O5 | 0.065 | الکل (Ethanol)(L) | 28995 |
| | گزاپاکس (Gesapax) | 1.9 | برق (Electricity)(kWh) | 150 | | |
| | راندآپ (Roundup) | 0.36 | گرما (Heat)(MJ) | 35313 | | |
| | توفوردی (2-4-D) | 1.95 | | | | |
| خروجی(ton/ha) (Output) | نیشکر (Sugarcane) | 80 | | | | |
| | شاخ و برگ(Stubble) | 20 | | | | |

## مواد و روش‌ها

### جمع‌آوری داده‌ها

اطلاعات مورد نیاز از کاشت محصول تا تولید اتانول، از شرکت کشت و صنعت و توسعه نیشکر، کشت و صنعت کارون و اطلاعات ثبت شده و همچنین تکمیل پرسشنامه از طریق مصاحبه با مسئولین بخش‌های کشاورزی، برنامه‌ریزی کشاورزی و محیط زیست، صنعتی، سلولزی، رانندگان و صاحبان ماشین‌ها و مسئولان مربوطه در این دو کشت و صنعت اخذ گردید.

جدول(۱، نشان دهنده کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها و مقادیر آنان در سه بخش کشاورزی، تولید ملاس و تولید اتانول می‌باشد. اتانول خروجی از نوع اتانول سوختی بوده و نیاز به آبگیری ندارد. از آنجا که در بخش‌های مختلف، محصولات جانبی نیز همراه محصول اصلی تولید می‌شوند (مثلا شکر همراه با ملاس)، باید از روشی جهت تقسیم اثرات زیست محیطی ناشی از تولید در این سامانه، بین محصولات استفاده نمود. جهت تخصیص بارهای زیست-محیطی بین محصولات از روش تخصیص اقتصادی استفاده شد.

## ارزیابی چرخه حیات

جدول(۱) و محاسبه کلیه انتشارات و آلاینده‌ها می‌باشد (در این مطالعه برای محاسبه انتشارات، از منابع، بالاخص پایگاه داده‌های موجود در مدل سیماپرو استفاده شد). نتایج سیاهه نویس چرخه حیات در گروه‌های اثر، گروه‌بندی می‌شود (به عنوان مثال اختصاص دی‌اکسید کربن و متان به گروه اثر گرمایش زمین، یا دی‌اکسید گوگرد به گروه اثر اسیدی‌سازی). با محاسبه شاخص‌های اثر و ضرب این شاخص‌ها در مقدار هر انتشار، نمره آن گروه اثر به دست می‌آید. در پایان با وزن‌دهی گروه‌های اثر و ضرب این وزن در نمره آن گروه اثر و جمع نتایج با یکدیگر، نمره نهایی (اثر زیست محیطی) یک سامانه محاسبه می‌شود.

بررسی اثرات زیست محیطی ورودی‌های اتانول تولیدی از ملاس نیشکر در کل چرخه حیات آن با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو و با در نظر گرفتن دو سامانه مختلف تولید اتانول از ملاس نیشکر انجام گرفت. سناریوهای در نظر گرفته شده در این دو سامانه عبارتند از:

سناریوی ۱: تولید اتانول با وضعیت موجود

سناریوی ۲: تولید اتانول با وضع راهکارهایی جهت بهینه‌سازی سامانه تولید (تولید برق از سوختن باگاس)

سیماپرو یک نرم افزار ارزیابی چرخه حیات است که توسط مشاوران شرکت پری[1] هلند ارائه شده است. این نرم افزار ابزارهای حرفه‌ای را برای جمع آوری، ارزیابی و پایش کارآیی زیست محیطی محصولات، فرآیندها و خدمات مهیا می‌کند. این نرم افزار شامل گستره نامحدودی از داده‌های فراوان، شفاف و با کیفیتی از اکثر مواد مورد استفاده معمول و فرآیندهای آنها می‌باشد. پایگاه داده‌های این نرم افزار شامل پایگاه داده مشهور اکوینونت[2] سوییس، پایگاه داده ورودی و خروجی ایالات متحده آمریکا، پایگاه داده ورودی و خروجی دانمارک، داده های صنعت، پایگاه داده LCA غذا، و... می‌باشد. بارها از این نرم‌افزار برای مطالعه ارزیابی چرخه حیات استفاده شده است که به مواردی از آن در بخش مرور منابع اشاره شد.

فعالیت‌های ارزیابی چرخه حیات بر اساس استاندارد ISO 14042 در شکل ( نشان داده شده است. به طور خلاصه، ارزیابی چرخه حیات با تعریف هدف و حوزه مطالعه شروع می‌شود. هدف در این مطالعه، ارزیابی میزان اثرات زیست محیطی ناشی از یک لیتر اتانول در کل چرخه حیات از تولید نیشکر، تا مصرف به عنوان یک سوخت بود. مرزهای سامانه مورد مطالعه نیز مطابق با شکل( می‌باشد.

سیاهه نویسی چرخه حیات شامل ورود کلیه ورودی‌ها (بر اساس

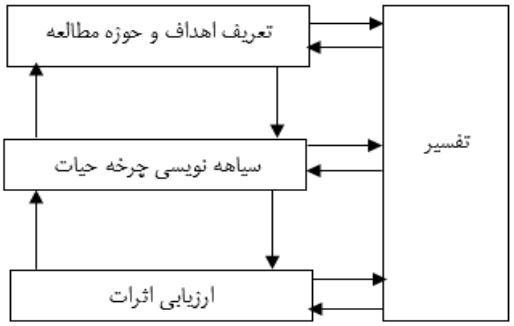
## مقایسه اثرات زیست محیطی اتانول با یک سوخت فسیلی

در پایان به مقایسه سناریوهای ۱ و ۲ با سوخت گازوییل پرداخته شد. تابع کاری در این مقایسه، انتقال یک تن بار به فاصله یک کیلومتر و با استفاده از یک تراکتور و تریلر متصل به آن می‌باشد. اطلاعات لازم برای انجام سناریوهای ۱ و ۲ و همچنین مقایسه اتانول تولید شده در این سناریوها با سوخت مرسوم گازوییل وارد نرم‌افزار سیماپرو گردید و محاسبات از طریق این نرم‌افزار انجام شد. فرض بر این است که کارآیی موتور (مگاژول بر کیلومتر) برای هر دو نوع سوخت گازوییل و اتانول یکسان است (مقدار انرژی مصرفی موتور

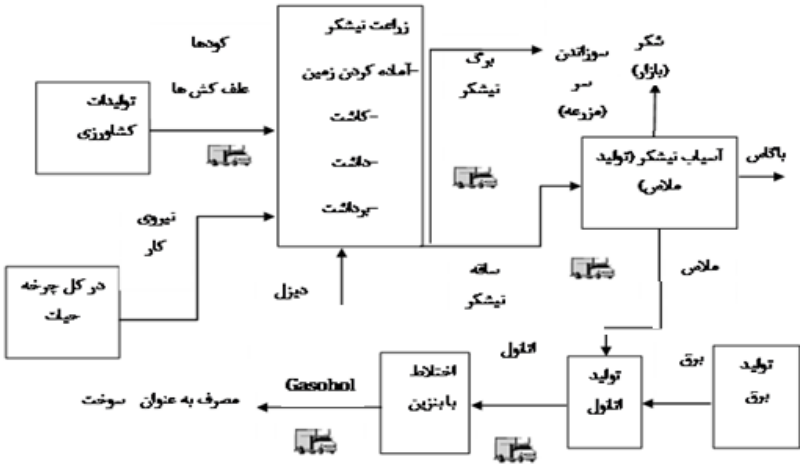
1- Pre

2- Ecoinvent

برای انتقال بار برای هر دو نوع سوخت یکسان است) (۷). با این فرض مقدار سوخت مصرفی با توجه به مقدار انرژی مربوط به این دو سوخت محاسبه گردید (۲۱/۲ در مقابل ۳۸/۷ مگاژول بر لیتر). قابل ذکر است که در حال حاضر اتانول سوختی به صورت مخلوط با بنزین مصرف می‌گردد.




**شکل (۱) فعالیت‌های ارزیابی چرخه حیات**
**Figure (1) Life Cycle Assessment activities**




**شکل(۲) مرزهای سامانه مورد مطالعه**
**Figure (2) The boundaries of the studied system**

در واقع با فناوری حال حاضر، اتانول قابلیت جایگزینی بنزین را در صنعت حمل و نقل داراست. اما از آنجایی که در کشاورزی گازوییل بیشترین کاربرد را دارد، در اینجا به مقایسه اثرات زیست محیطی اتانول با گازوییل پرداخته شد.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای چرخه حیات اتانول تولیدی از ملاس نیشکر نیز با استفاده از مدل بیوگریس محاسبه گردید.

## نتایج و بحث

### نتایج سیاهه نویسی چرخه حیات تولید اتانول از ملاس نیشکر با وضع موجود

شکل(، نمودار تولید یک کیلوگرم نیشکر را با تاکید بر اثرات زیست محیطی ورودی‌ها در زراعت نیشکر، نشان می‌دهد. میزان ضخامت خطوط رابط مرتبط با هر زیر بخش بیانگر مقدار بار منفی زیست محیطی آن زیر بخش می‌باشد. همچنین مقدار تاثیر منفی زیست محیطی هر بخش به صورت درصد در داخل آن بخش و به صورت طرحی دماسنج گونه در طرف راست آن بخش مشخص شده است. این مقادیر، نمره نهایی اثرات می‌باشند که پس از نرمال‌سازی و وزن دهی و همچنین جمع کردن نمرات وزن دهی شده به دست آمده است. همچنین مقدار سهم ورودی‌های سامانه، در هر زیر

بخش با واحد مربوطه مشخص شده است (مثلا پنج گرم اوره).

همان‌طور که مشاهده می‌شود برق مصرفی در پمپاژ آب مزرعه، ترکیبات فسفاته و اوره به ترتیب با ۲۰/۱، ۳/۷۴ و ۳/۱۲ درصد، بیشترین بار منفی زیست محیطی را ایجاد نموده‌اند. در مطالعه‌ای که در آرژانتین و برای اتانول تولیدی از ذرت انجام گرفت (۱۹)، از آنجا که روش آبیاری مزارع به صورت سنتی و با نیروی جاذبه زمین انجام گرفته، استفاده از کودها بیشترین اثرات زیست محیطی را داشته است.

در ایران تنها ۱۴/۹ برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر (عمدتا برقآبی) تولید می‌شود. گاز طبیعی، گازوییل و مازوت به ترتیب با ۷۵/۸، ۱۴/۵ و ۹/۷ درصد، سوخت‌های مورد استفاده در نیروگاه‌های تولید برق در ایران می‌باشند (۲). مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق در ایران باعث اثرات زیست‌محیطی منفی فراوان و عمدتا انتشار گازهای گلخانه‌ای به محیط زیست می‌گردد. برق، نیروی مورد نیاز پمپاژ آب آبیاری را در کشاورزی نیشکر تامین می‌نماید. موارد بسیاری در میزان برق مصرفی جهت پمپاژ آب تاثیر دارد که مدیریت هرکدام می‌تواند سهم بسزایی در کاهش مقدار برق مصرفی داشته باشد. از آن جمله می‌توان به نوسازی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور، کاهش فاصله انتقال برق از محل تولید تا محل مصرف و تا حد امکان تولید برق در نزدیک‌ترین فاصله به مصرف کننده جهت کاهش تلفات انتقال نیروی برق، افزایش بازده پمپ آب و الکتروموتور و در پایان بهینه‌سازی سامانه‌های آبیاری در جهت حداقل تلفات آب و ... اشاره نمود. با کاهش ۲۰ درصدی برق مصرفی در مزرعه، بارهای منفی زیست محیطی به میزان ۷/۵ درصد کاهش می‌یابد. راه حل دیگر کاهش بارهای زیست‌محیطی ناشی از برق مصرفی، جایگزینی برق تولیدی از سوخت‌های فسیلی با برق با منابع تجدیدپذیر همانند برق خورشیدی، برقآبی و ... می‌باشد.

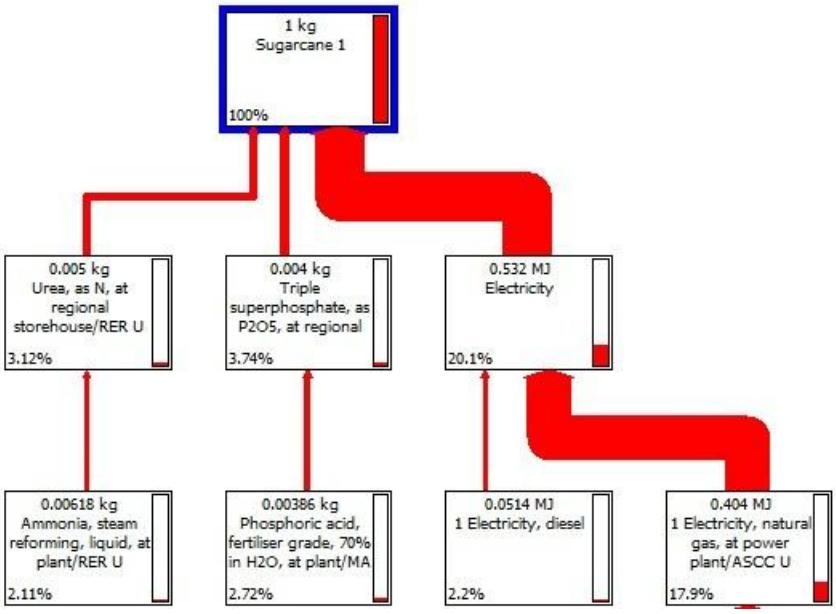
دلایل بالا بودن اثرات زیست محیطی کودها هم مصرف انرژی فراوان (عمدتا فسیلی) در روند تولید این کودها می‌باشد. در مصرف این کودها باید محاسبه دقیقی صورت گیرد و توصیه اکید می‌شود که آزمایش خاک مزرعه جهت تعیین مقدار کود مورد نیاز، انجام پذیرد. نمودار مشابه شکل(، اما برای ملاس و اتانول، در شکل و شکل(، آورده شده است. نیشکر ورودی برای تولید ملاس و همچنین ملاس ورودی برای تولید اتانول با ۷۷ و ۹۹ درصد بیشترین بار زیست محیطی را از ورودی‌های تولید ملاس و اتانول به خود اختصاص داده‌اند. به بیان دیگر ورودی‌های مزرعه نیشکر بیشترین سهم را از بارهای زیست محیطی ناشی از تولید یک لیتر اتانول به خود اختصاص داده‌اند و این در صورتی است که بر اساس نحوه تخصیص اثرات زیست محیطی بین ملاس، شکر و باگاس (تخصیص اقتصادی) تنها ۸/۳۸ درصد از اثرات زیست محیطی در مزرعه تولید شکر به ملاس اختصاص داده می‌شود. بخش کشاورزی با ۶۵/۸ درصد، بیشترین سهم را از بارهای وارده به محیط زیست در روند تولید اتانول به خود اختصاص داده است. بنابراین مدیریت ورودی‌های بخش زراعت و کاهش این ورودی‌ها سهم بسزایی در کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از تولید اتانول خواهد داشت. برق مورد نیاز در همه مراحل تولید اتانول با ۱۸ درصد بیشترین سهم را از همه ورودی‌های تولید اتانول داراست.

## گروه‌های اثر

شکل(، اثرات زیست محیطی حاصل از تولید یک کیلوگرم نیشکر در گروه‌های اثر را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل فقط گروه‌های اثر سوخت‌های فسیلی[1]، استفاده از زمین[2]، تغییرات آب و هوایی[3]، تنفس مواد غیر آلی[4] و سرطان‌زایی[5] معنی‌دار شده است. در این که برای تولید محصولات کشاورزی می‌بایست از زمین استفاده گردد، شکی نیست. انرژی فسیلی علاوه بر حمل و نقل مواد اولیه و محصولات و همچنین عملیات

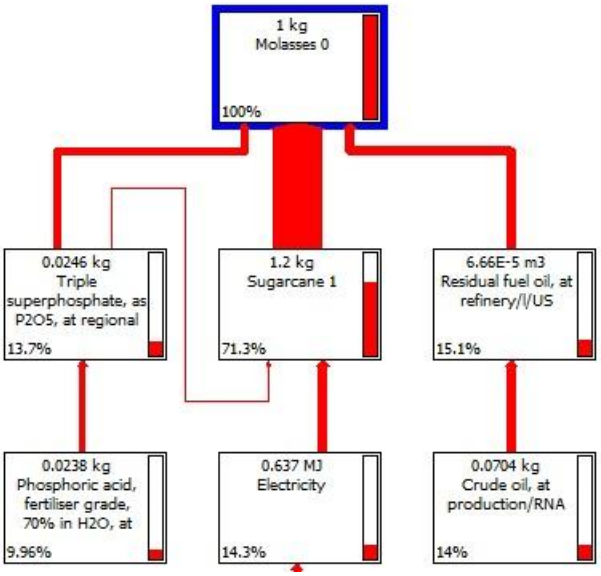
1- Fossil Fuels
2- Land Use
3- Climate Change
4- Resp. Inorganic
5- Carcinogenic

کشاورزی در آماده سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت، خوراک نیروگاه‌های برق در ایران نیز می‌باشد. آنچه که در استفاده از انرژی فسیلی برای تولید نیشکر و نهایتا اتانول مورد بحث است، مقدار انرژی به دست آمده از مصرف این انرژی‌ها می‌باشد. گروه سرطان‌زایی نیز ناشی از انتشار فلزات سنگین به هوا و آب می‌باشد.



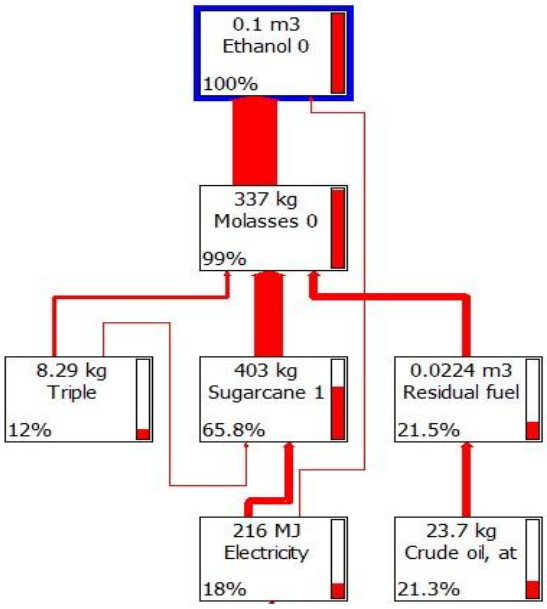

**شکل(۳) شبکه ورودی‌های تولید یک کیلوگرم نیشکر در مزرعه با تاکید بر اثرات زیست محیطی**

**Figure (3) Input network in producing one kilogram sugarcane, focusing on environmental impact**



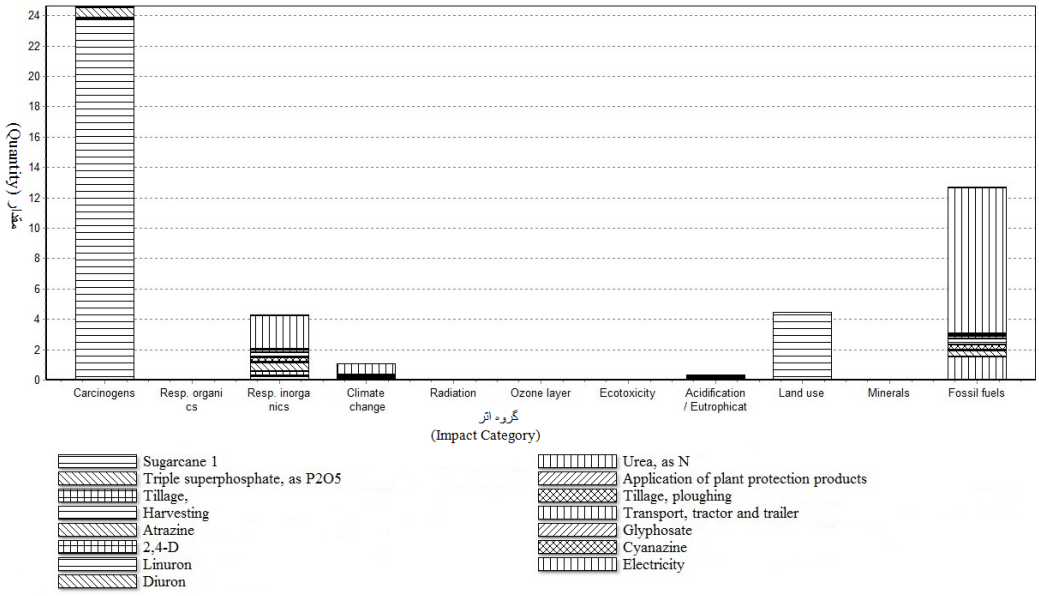

**شکل(٤) شبکه ورودی‌های تولید یک کیلوگرم ملاس با تاکید بر اثرات زیست محیطی**

**Figure (4) Input network in producing one kilogram molasses, focusing on environmental impact**




**شکل(۵) شبکه ورودی‌های تولید یک لیتر اتانول با تاکید بر اثرات زیست محیطی**

**Figure (5) Input network in producing one liter ethanol, focusing on environmental impact**




**شکل(٦) اثرات زیست محیطی حاصل از تولید یک کیلوگرم نیشکر و میزان گروه‌های اثر ناشی از هر ورودی**

**Figure (6) Environmental impacts of production of 1 kg sugarcane and the amount of impact categories of each input**

این انتشارات و همچنین مواد منتشر شده به هوا که در تنفس مواد غیرآلی موثر هستند، در فرآیند تولید ورودی‌های بخش کشاورزی و همچنین کاربرد آن‌ها در مزرعه انتشار می‌یابند. همچنین با توجه به شکل( و شکل (، بیشترین اثرات زیست محیطی مربوط به گروه اثر سرطان‌زا و کاربرد مواد اولیه در مزرعه می‌باشد و نه تولید آن‌ها (Sugarcane 1). این اثر با مصارف سموم و کودها و تولید ترکیباتی همانند اسید فسفریک در رابطه است. با همه این تفاسیر تا اینجا نمی‌توان در رابطه با اثرات زیست محیطی ناشی از اتانول تولیدی اظهار نظر نمود و مقایسه‌ها می‌بایست برای یک واحد منطقی و

همچنین نسبت به یک سوخت مرجع باشد. شکل (، نشان دهنده میزان اثرات زیست محیطی تولید یک کیلوگرم نیشکر در گروه‌های اثر به تفکیک ورودی‌ها می‌باشد که به نوعی بیان کننده همان شکل( است. همچنین از آنجا که بیشترین اثرات زیست محیطی در تولید اتانول مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد، نمودارهای گروه‌های اثر برای ملاس و اتانول نیز همانند شکل( بود لذا از آوردن آنان اجتناب شد.

## تغییرات اثرات زیست محیطی در صورت اعمال سناریوی ۲

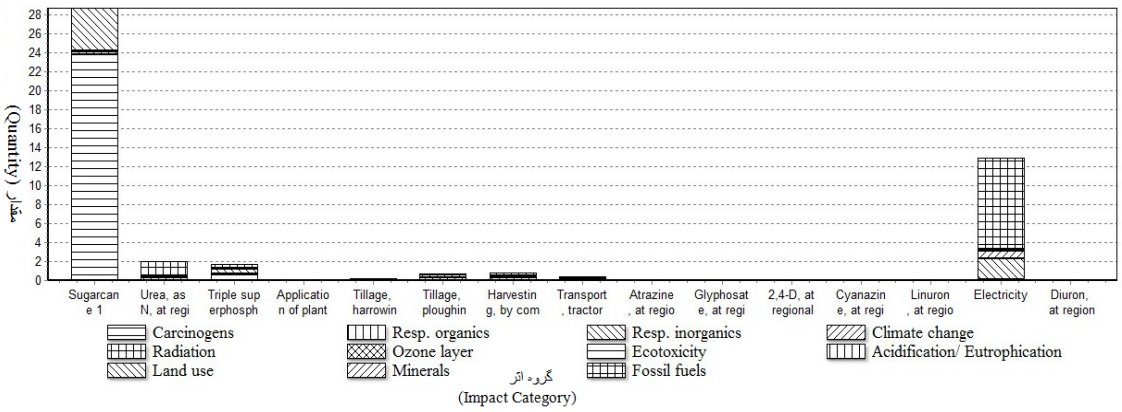
پیشنهاد می‌شود جهت کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از تولید اتانول از ملاس نیشکر، باگاس تولیدی که در حال حاضر به صورت روباز سوزانده می‌شود جایگزین مازوت مصرفی در تولید برق مورد نیاز کارخانجات تولید شکر و اتانول گردد. شکل (، نمایانگر اثرات زیست محیطی تولید ۱۰۰ لیتر اتانول پس از اعمال سناریوی ۲ است. در این تصویر خطوط قرمز نشان دهنده اثرات منفی زیست محیطی و خط سبز نشان دهنده اثر مثبت زیست محیطی و یا کاهش اثرات منفی بعد از اعمال سناریوی ۲ است. همچنین ضخامت این خطوط نیز بیانگر میزان اثرات مثبت و یا منفی مربوط به آن ورودی می‌باشد. همان طور که در این شکل مشخص است پس از اعمال سناریوی ۲ میزان اثرات منفی ناشی از ورودی برق در کل سامانه تولید اتانول از ۱۸ درصد (شکل() به ۷/۲۹ درصد (شکل () کاهش یافته است. همچنین بار کلی زیست محیطی سامانه پس از اعمال سناریوی ۲، به میزان ۱۲ درصد کاهش می‌یابد (شکل().

## مقایسه اثرات زیست محیطی اتانول با یک سوخت فسیلی

شکل (، مقایسه گروه‌های اثر را برای انتقال یک کیلومتری یک تن بار با استفاده از یک تراکتور و تریلر متصل به آن نشان می‌دهد. به جزء گروه اثر استفاده از زمین، مقدار اثرات سوخت‌های فسیلی، اسیدی سازی/یوتریفیکاسیون، تغییرات آب و هوا و تنفس غیرآلی مربوط به گازوییل از هر دو مورد سوخت اتانول بیشتر است و تنها در رابطه با گروه اثر سرطان‌زاها مقادیر مربوط به سوخت اتانول از گازوییل بیشتر است.

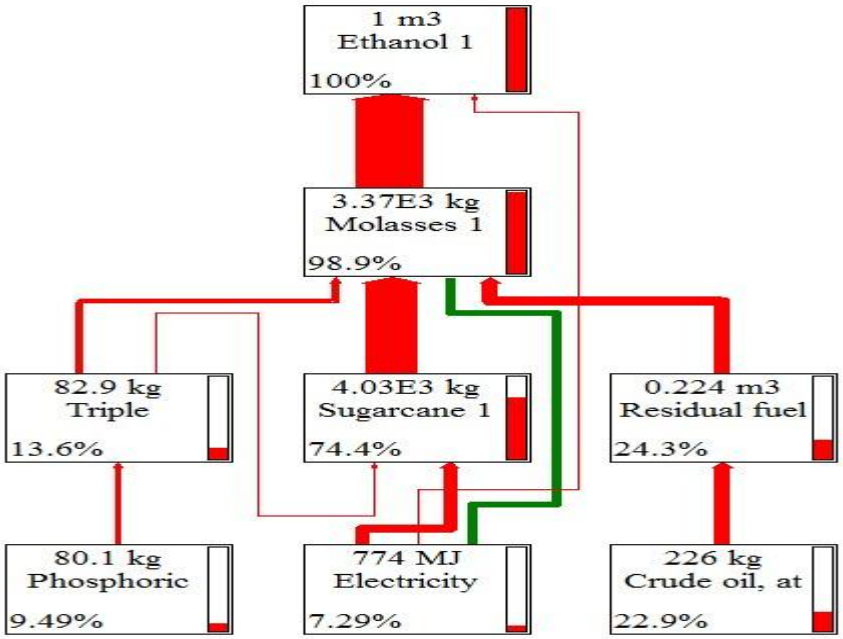
علت این امر انتشار مواد آلاینده به آب‌های زیرزمینی به خاطر استفاده از سموم کشاورزی و همچنین انتشار فلزات سنگین به هوا، خاک و آب است. دلیل دیگر می‌تواند، اثرات زیست محیطی ناشی از مراحل استخراج، پالایش و انتقال سوخت گازوئیل باشد.

بنابراین هرچند که استفاده از اتانول به جای گازوییل کیفیت اکوسیستم را بهبود می‌بخشد اما اثرات منفی آن در رابطه با سلامتی بشر بیشتر از گازوییل می‌باشد.



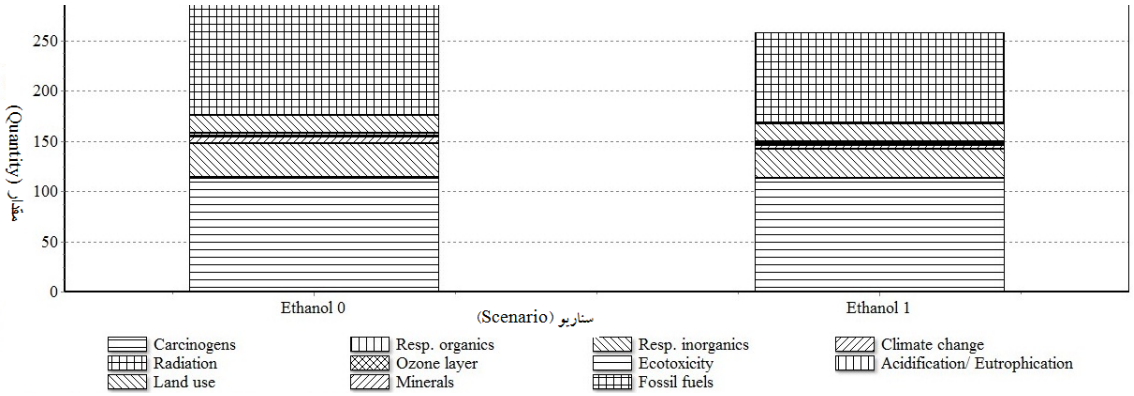

**شکل (۷) نمودار سهم ورودی‌ها از میزان گروه‌های اثر در تولید یک کیلوگرم نیشکر**

**Figure(7) Input shares in each impact category in producing 1kg sugarcane**




**شکل (۸) شبکه اثرات زیست محیطی تولید ۱۰۰ لیتر اتانول پس از اعمال سناریو ۲**

**Figure(8) Environmental impacts of producing 100 liters of ethanol in scenario 2**

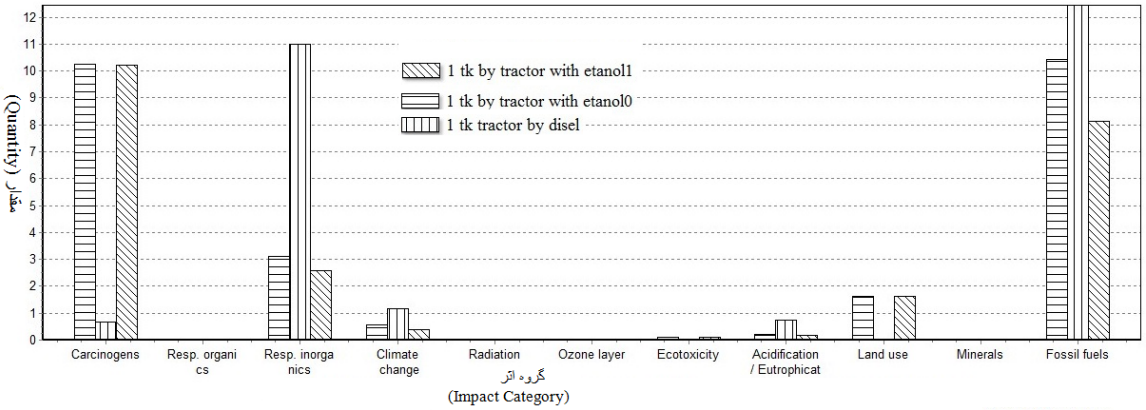



**شکل(۹) مقایسه اثرات زیست محیطی حاصل از تولید اتانول بین Ethanol0 (وضع موجود، سناریو۱) و Ethanol1 (سناریو۲)**

**Figure (9) Comparison of environmental impacts between scenarios 1 and 2**

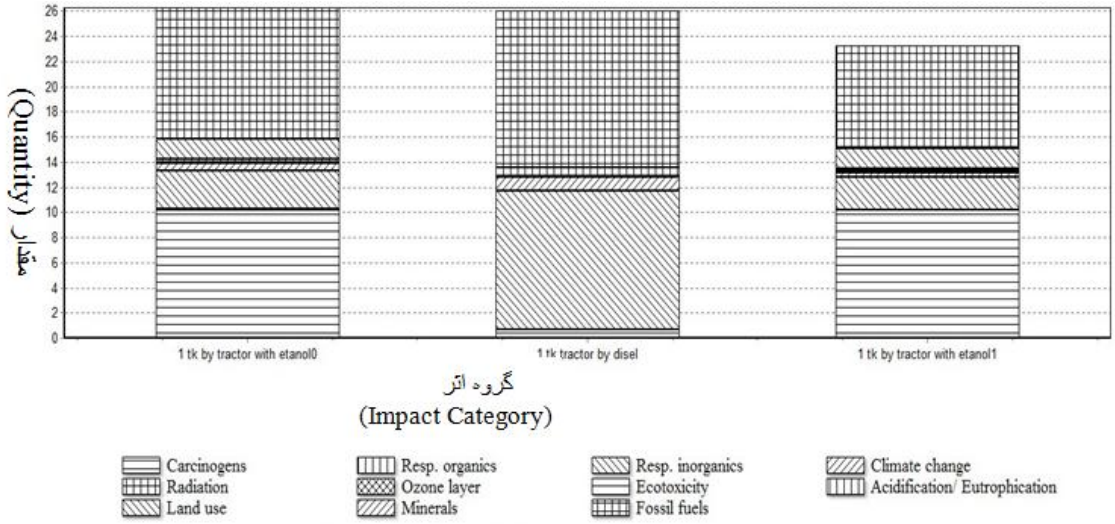
آنچه مسلم است با اعمال سناریوی ۲ میزان اثرات منفی زیست‌محیطی در همه گروه‌های اثر نسبت به وضع موجود کاهش می‌یابد.

تقریبا بیشتر مطالعات بر برتری سوخت‌های زیستی نسبت به سوخت‌های فسیلی در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای تاکید دارند (۱۳، ۱۶، ۲۱، ۲۳ و۱۷). اما در رابطه با گروه‌های اثر دیگر بسته به نوع زیست سوخت در برخی موارد میزان اثر زیست محیطی آن کمتر و در برخی موارد بیشتر از سوخت فسیلی بوده است. در مطالعه حاضر مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای اتانول نسبت به گازوییل تا ۶۰ درصد کاهش داشته است که این کاهش با اعمال سناریوی ۲ حتی به ۷۰ درصد نیز می‌رسد (شکل ().




**شکل (۱۰) مقایسه گروه‌های اثر در انتقال یک تن بار در یک کیلومتر با استفاده از سوخت اتانول و گازوییل**

**Figure (10) Comparison of impact catagories of 1 t.km transportation using ethanol or gasoline**




**شکل (۱۱) مقایسه اثرات زیست محیطی ناشی از انتقال یک تن بار در یک کیلومتر با استفاده از سوخت اتانول و گازوییل**

**Figure (11) Comparison of environmental impacts of 1 t.km transportation using ethanol or gasoline**

**جدول(۲) مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای اتانول حاصل از ملاس نیشکر بر حسب گرم بر مگاژول**

**Table (2) Greenhouse gasses emissions in the system of ethanol production from sugarcane molasses (gr/MJ)**

| $CO_2$معادل ($CO_2$ Equivalent) | N2O | CH4 | CO2 | نوع سوخت (Fuel Type) |
|---|---|---|---|---|
| 26.29 | 0.02 | 0.13 | 18.01 | اتانول (Ethanol) |
| 87.64 | 0 | 0 | 87.64 | گازوییل (Diesel) |
| 66.59 | 0.0002 | 0.2 | 61.58 | گاز طبیعی (Natural Gas) |
| 83.8 | | | | بنزین (Gasoline) |

جدول(، گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته به ازای یک مگاژول اتانول تولید شده از ملاس نیشکر را بر اساس مدل بیوگریس نشان می‌دهد. انتشار گازهای گلخانه‌ای اتانول نسبت به بنزین، گازوییل و گاز طبیعی به ترتیب ۶۹، ۷۰ و ۶۰ درصد کاهش یافته است. در مطالعه نانا‌کی و کرونئوس (۱۷) فقط میزان گروه اثر "تنفس غیرآلی" مربوط به زیست سوخت از سوخت فسیلی بیشتر بوده است و میزان بقیه گروه‌های اثر از جمله گروه اثر سرطان-زا مربوط به زیست سوخت از سوخت فسیلی کمتر بوده است.

پس از وزن‌دهی به گروه‌های اثر و جمع نمودن اثرات، نمره نهایی اثرات زیست محیطی ماده مورد مطالعه به دست می‌آید (شکل ()). با توجه به نتایج نهایی، اختلاف چندانی از نظر اثرات زیست محیطی بین دو سوخت اتانول تولیدی از ملاس نیشکر و گازوییل مرسوم وجود ندارد اما با اعمال سناریوی ۲ اثرات زیست محیطی به مقدار ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل () که عمدتا ناشی از کاهش مقدار مصرف انرژی‌های فسیلی (در تولید برق) می‌باشد.

در زمینه میزان انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست در حال حاضر تفاوت معنی‌داری بین اتانول و گازوییل دیده نمی‌شود (مقدار آلاینده‌های هر دو سوخت به یک اندازه است). اما با تولید برق از باگاس، مقدار اثرات زیست محیطی ناشی از تولید اتانول تا ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. در حال حاضر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای اتانول ۶۰ درصد کمتر از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به گازوییل می‌باشد که با تولید برق از باگاس این میزان کاهش به ۷۰ درصد هم خواهد رسید.

با اعمال راهکارهای مدیریتی مناسب ذکر شده می-توان منافع زیست محیطی و انرژی فراوانی را کسب کرد که جایگزینی سوخت فسیلی مصرفی در حمل و نقل را با اتانول موجه می‌سازد. حتی با وضعیت موجود و از آنجا که محصول اصلی صنایع نیشکر در ایران، شکر می‌باشد و ملاس به عنوان یک محصول جانبی و درجه دوم اهمیت قرار دارد، تولید اتانول از ملاس، توجیه‌پذیر می‌باشد چرا که تولید آن از اتلاف یک ماده گران‌بها جلوگیری به عمل آورده و از تحمیل بارهای زیست محیطی بیشتر (در اثر دفع ملاس) ممانعت به عمل می‌آورد.

## نتیجه‌گیری

## منابع

1. Anonymous. 2014. Energy balance sheet of Iran in 2012. Department of power and energy affairs in ministry of energy. Office of macro planning of energy and power. (in Persian).

2. Anonymous. 2014. Detailed stats of Iran's power industry, electric power generation in 2013. Tavanir Holding. (in Persian).

3. Beer, T., and Grant, T. 2007. Life-cycle analysis of emissions from fuel ethanol and blends in Australian heavy and light vehicles. Journal of Cleaner Production, 15 (8): 833-837.

4. Bringezu, S., Ramesohl, S., Arnold, K., Fischedick, M., and von Geibler, J. 2007. Towards a sustainable biomass strategy: What we know and what we should know. Wuppertal Papers, 163: 1-50.

5. Crutzen, P. J., Mosier, A. R., Smith, K. A., and Winiwarter, W. 2008. N2O release

from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmospheric Chemistry and Physics, 8 (2): 389-395.

6. Dragone, G., Fernandes, B.D., Vicente, A.A., and Teixeira, J.A. 2010. Third generation biofuels from microalgae. Available at: <http://www.formatex.info/microbiology2/1355-1366.pdf> (accessed 7. 9.13)

7. Edwards, R., Mahieu, V., Griesemann, J.C., Larive, J.F., and Rickeard, D.J. 2004. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. SAE transactions, 113 (4): 1072-1084.

8. Eisentraut, A. 2010. Sustainable production of second-generation biofuels: potential and perspectives in major economies and developing countries (No. 2010/1). OECD Publishing.

9. FAO. 2008. Bioenergy, food security and sustainability – towards an international framework. High-level conference on world food security: The challenges of climate change and bioenergy, Rome 3 -5 June.

10. Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'hare, M., and Kammen, D M. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. Science, 311 (5760): 506-508.

11. Franke, B., and Reinhardt, G. 1998. Environmental impacts of Biodiesel use. In Proceedings, Bio Energy, 98: 1032-1041 .

12. Guinée, J. B. 2002. Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. The International Journal of Life Cycle Assessment, 7 (5): 311-313.

13. Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., and Tiffany, D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proceedings of the National Academy of Sciences, 103 (30): 11206-11210.

14. Hodge, C. 2002. Ethanol use in US gasoline should be banned, not expanded. Oil and Gas Journal, 100 (37): 20-20.

15. Jung, K.A., Lim, S.R., Kim, Y., and Park, J.M. 2012. Potentials of macroalgae as feedstocks for biorefinery. Bioresource Technology, 135: 182–190.

16. Kim, S., and Dale, B.E. 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. Biomass and Bioenergy, 29 (6): 426-439.

17. Nanaki, E.A., and Koroneos, C. J. 2012. Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation. Journal of Cleaner Production, 20 (1): 14-19.

18. Nguyen, T.L.T., Gheewala, S.H., and Garivait, S. 2007. Full chain energy analysis of fuel ethanol from cassava in Thailand. Environmental Science and Technology, 41 (11): 4135-4142.

19. Pieragostini, C., Aguirre, P., and Mussati, M.C. 2014. Life cycle assessment of corn-

based ethanol production in Argentina. Science of the Total Environment, 472: 212-225.

20. Pimentel, D. 2003. Ethanol fuels: energy balance, economics, and environmental impacts are negative. Natural Resources Research, 12 (2): 127-134.

21. Pleanjai, S., Gheewala, S.H., and Garivait, S. 2009. Greenhouse gas emissions from production and use of used cooking oil methyl ester as transport fuel in Thailand. Journal of Cleaner Production, 17 (9): 873-876.

22. Pradhan, A. 2010. Life cycle analysis of soybean biodiesel production. Ph. D. desertation. University of Idaho .

23. Puppan, D. 2002. Environmental evaluation of biofuels. Social and Management Sciences, 10 (1): 95-116.

24. Renó, M.L.G., Lora, E.E.S., Palacio, J.C.E., Venturini, O.J., Buchgeister, J., and Almazan, O. 2011. A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. Energy, 36 (6): 3716-3726.

25. Roesijad, G., Jones, S.B., Snowden-Swan, L.J., and Zhu, Y. 2010. Macroalgae as a biomass feedstock: a preliminary analysis, PNNL 19944. Pacific Northwest National Laboratory, USA Cross Ref.

26. Silalertruksa, T., and Gheewala, S.H. 2009. Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. Energy, 34 (11), 1933-1946.

27. Worldwatch Institute. 2007. Biofuels for transport: Global potential and implications for sustainable energy and agriculture. Prepared by the worldwatch institute for the German federal ministry of food, agriculture and consumer protection (BMELV), in cooperation with the agency for technical cooperation (GTZ) and the agency of renewable resourcs (FNR). Washington, D. C.