

# تولید پایدار اتانول زیستی در ارتباط با منابع آب و خاک در ایران<sup>۱</sup>

## Sustainable Bio-Ethanol Production in Relation to Water and Soil Resources in Iran

علیرضا سپاسخواه<sup>۲، ۳</sup>

### چکیده

به خاطر مصرف بیش از اندازه سوخت فسیلی در جهان، ایده تولید انرژی‌های تجدید پذیر به ویژه تولید سوخت زیستی طرفداران زیادی پیدا کرده است. از سوی دیگر تولید اتانول با منشأ زیستی یکی از ۱۵ فناوری بالقوه برای پایداری دی اکسید کربن اتمسفر تا سال ۲۰۵۴ می باشد. ولی سوال‌های راهبردی به شرح زیر بایستی پاسخ داده شود: ۱- آیا بقایای گیاهی بایستی برای افزایش مواد آلی خاک، کیفیت خاک و بهبود زیست بوم به کار برده شوند یا برای تولید انرژی؟ ۲- آیا بایستی اثرهای مثبت اقتصادی کوتاه مدت بر اثرهای بلند مدت استفاده پایدار از منابع طبیعی ترجیح داده شود؟ ۳- آیا بایستی نیاز به سوخت نسبت به امنیت غذایی جهان برتری داشته باشد؟ پاسخ به این پرسش‌ها در این است که منابع آب و زمین‌ها بیشتر برای کشت گیاهان زیست-انرژی تامین شود. مواد خام برای تولید اتانول زیستی عبارتند از: مواد قندی (نیشکر و چغندر قند)، مواد نشاسته‌ای (گندم، ذرت و سیب زمینی) و مواد سلولزی (بقایای گیاهی، کاه گندم، کاه برنج، شاخساره ذرت و مواد چوبی). مصرف مواد قندی و نشاسته‌ای منجر به موضوع رقابت غذا-سوخت شده است که باعث افزایش قیمت مواد غذایی در جهان گردیده است. برای مقابله با این موضوع سوال‌های زیر مطرح شده است: ۱- چه گیاهانی بایستی برای تولید اتانول زیستی کشت شوند؟ ۲- کجا بایستی این گیاهان کشت شوند؟ ۳- چگونه بایستی این گیاهان کشت شوند تا تولید اتانول زیستی پایدار باشد؟ گیاهان سلولزی با تولید زیست توده زیاد در شرایط خاک‌های با حاصلخیزی کم و تنش رطوبتی و شوری و مقاوم به آفت‌ها و بیماری‌ها، مناسبترین انتخاب هستند. میزان مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایران حدود ۰.۴٪ کل مصرف انرژی کشور است در عوض خاک‌های ایران با فقر مواد آلی رو به رو بوده، منابع آبی ایران با کمبود مواجه است و کمبود علوفه نیز در ایران وجود دارد. بنابراین استفاده از زباله، علوفه و یا محصول‌های قندی و نشاسته‌ای برای تولید بیوگاز، انرژی الکتریکی و یا اتانول زیستی پذیرفتنی نیست. در حالی که می توان از انرژی گاز طبیعی استفاده کرد، یا روی تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر دیگری مانند انرژی خورشید و یا تولید انرژی بدون کربن مانند انرژی هسته‌ای سرمایه گذاری کرد.

**واژه‌های کلیدی:** انرژی‌های تجدید پذیر، سوخت دیزل زیستی، سوخت زیستی.

### نیاز انرژی جهانی

بین سال‌های ۱۸۶۰ تا ۲۰۰۵ میلادی مصرف انرژی جهان ۴۰ برابر افزایش یافت. مصرف انرژی جهانی در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۳ در جدول ۱ ارایه شده است (۱۱). پیش بینی نیاز انرژی جهانی دارای سرعت رشد ۲/۲۳٪ در سال بوده و در سال ۲۰۱۰،  $10^{17} \times 1/18$  کیلو کالری شده و در سال ۲۰۲۵،  $10^{17} \times 1/56$  کیلو کالری خواهد بود. مصرف انرژی در ایالات متحده آمریکا حدود  $10^{16} \times 2/5$  کیلو کالری در سال یا حدود ۲۳/۷٪ مصرف انرژی جهانی است (۳۹). افزایش نیاز انرژی از راه افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی بر آورده می گردد. نیاز به نفت در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۵ در جدول ۲ ارایه شده است.

۱- تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: [sepas@shirazu.ac.ir](mailto:sepas@shirazu.ac.ir)

۳- عضو پیوسته فرهنگستان علوم، تهران و استاد دانشگاه شیراز، شیراز، جمهوری اسلامی ایران.

جدول ۱- مصرف انرژی جهانی در سال های مختلف (۱۱).

سال	مصرف انرژی (کیلو کالری)
۱۹۷۰	$۵/۱۸ \times ۱۰^{۱۶}$
۱۹۸۰	$۷/۱۳ \times ۱۰^{۱۶}$
۱۹۹۰	$۸/۷۰ \times ۱۰^{۱۶}$
۲۰۰۰	$۱/۰۰ \times ۱۰^{۱۷}$
۲۰۰۳	$۱/۰۶ \times ۱۰^{۱۷}$

جدول ۲- نیاز به نفت در سال های مختلف در کشورهای مختلف دنیا (میلیون بشکه در روز) (۷).

کشور	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۲۵	درصد افزایش
آمریکا	۲۰/۰۰	۲۱/۱۱	۶/۰
چین	۴/۵۵	۶/۵۹	۴۵/۰
هند	۲/۳۱	۲/۶۰	۱۲/۰
عربستان سعودی	۱/۵۸	۲/۰۶	۳۰/۰
ایران	۱/۳۰	۱/۵۸	۲۱/۰

چین دومین وارد کننده نفت می باشد. رشد فزاینده تقاضای انرژی در کشورهای پرجمعیت مانند چین و هند اثر شدیدی بر تقاضای نفت و قیمت های انرژی جهانی و تولید گاز کربنیک دارد. در حال حاضر آمریکای شمالی برای هر نفر هشت برابر انرژی بیشتری نسبت به آمریکای لاتین مصرف می کند. قیمت نفت از سال ۲۰۰۰ به این طرف به سرعت افزایش یافته و به بالاترین میزان حدود بیش از ۱۰۰ دلار در بشکه رسیده است که باعث افزایش هزینه زندگی ماشینی در دنیا شده است.

با توجه به نکته های یاد شده، توجه جهانیان بیشتر به تولید انرژی های تجدیدپذیر و به ویژه به تولید سوخت زیستی معطوف شده است (۱۵). در حال حاضر از کل منابع انرژی در آمریکا فقط ۲/۸٪ آن سوخت زیستی می باشد (۱۱) و سوخت زیستی مایع نقش بسیار کمی در تأمین نیاز انرژی در آمریکا و جهان دارد. انتظار می رود که در آمریکا تا سال ۲۰۳۰ سوخت زیستی ۵٪ از انرژی لازم و ۲۰٪ از سوخت حمل و نقل را تأمین کند (۳۵). در کشورهای اروپایی تا سال ۲۰۱۰ انتظار می رفت که از میزان مصرف سوخت حدود ۶٪ از محصولات زراعی تولید شود (۳۷).

مصرف اتانول در زمان های مختلف در آمریکا در جدول ۳ ارایه شده است. از تولیدهای ذرت و سورگوم آمریکا تا ۱۱٪ برای تولید اتانول مصرف شده است. پیش بینی ظرفیت تولید اتانول تا ژانویه ۲۰۰۸، ۲۶/۵ میلیارد لیتر بوده است (۹) و بی شک هم اکنون این ظرفیت بیشتر هم شده است.

جدول ۳- مصرف اتانول زیستی در سال های مختلف در آمریکا (میلیارد لیتر) (۸، ۹، ۲۸، ۲۹، ۳۶).

سال	مصرف اتانول زیستی
۱۹۸۰	۰/۶۶۰
۱۹۹۰	۲/۹۰
۲۰۰۰	۵/۶۰
۲۰۰۵	۱۵/۰
ژانویه ۲۰۰۶	۱۶/۰

**مصرف انرژی در کشاورزی ایران**

کل مصرف انرژی ایران و در بخش کشاورزی در سال‌های مختلف (۱۳۸۳-۱۳۸۸) در جدول ۴ ارایه شده است (۲). میزان مصرف در کشاورزی نسبت به کل انرژی مصرفی در ایران نیز در همان جدول نشان داده شده است که در سال‌های جدول به تقریب برابر ۴/۱٪ است که بخش کمی از کل مصرف انرژی کشور می‌باشد. بنابراین بخش کشاورزی مصرف کننده اصلی انرژی در کشور نمی‌باشد. افزایش مصرف کل انرژی و در بخش کشاورزی سالانه حدود ۵ تا ۶٪ است ولی نسبت مصرف در بخش کشاورزی نسبت به مصرف کل انرژی در کشور تغییر چندانی نکرده است.

جدول ۴- مصرف انرژی بخش کشاورزی و کل ایران در سال‌های مختلف (میلیون بشکه معادل نفت خام). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو (۲).

مصرف	سال										نرخ افزایش سالانه (%)
	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	
کشاورزی	۳۲/۲	۳۳/۷	۳۶/۸	۳۷/۶	۴۱/۹	۴۳/۴	۴۵/۵	۴۵/۸	۴۷/۶	۴۹/۶	۵/۳
کل	۷۷۶/۴	۸۴۰/۱	۹۱۴/۷	۹۷۹/۴	۹۹۳/۷	۱۰۴۲/۰	۱۱۳۴/۹	۱۱۸۴/۶	۱۱۸۲/۱	۱۲۲۹/۷	۵/۵
نسبت (%)	۴/۲	۴/۰	۴/۰	۳/۸	۴/۲	۴/۲	۴/۲	۳/۹	۴/۰	۴/۰	

**منابع آب و خاکی برای تولید زیست-انرژی**

Pacala & Socolow (۲۶) اتانول با منشا زیستی را یکی از ۱۵ فناوری بالقوه برای پایداری گاز دی اکسیدکربن در اتمسفر تا سال ۲۰۵۴ می‌دانند که در آن با تولید و مصرف اتانول به میزان ۳۶ میلیون بشکه در روز از میزان دی اکسید کربن به اندازه یک گیگا تن کربن در سال کاسته می‌شود. بنابراین معرفی منابع لازم برای تولید اتانول هم از اولویت بالایی برخوردار است و هم موضوع بحث انگیزی می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران بقایای گیاهی مانند ذرت، گندم و جو را برای تولید اتانول توصیه کرده اند (۱۸). بقایای گیاهی و سایر مواد سلولزی منابع غنی انرژی هستند در حالی که مقدار کمی از بقایای گیاهی (کمتر از ۲۵٪) را می‌توان از بعضی از خاک‌ها خارج کرد (۴۰) در بعضی دیگر، خارج کردن بقایای گیاهی خطر تخریب خاک و محیط را به ویژه در مناطقی که منابع خاکی در حال تخریب هستند، افزایش می‌دهد (۱۹). بنابراین پرسش‌های راهبردی که بایستی پاسخ داده شوند عبارتند از:

- ۱- آیا بقایای گیاهی بایستی برای افزایش کربن خاک، کیفیت خاک و بهبود زیست بوم به کار برده شوند یا برای تولید انرژی؟
- ۲- آیا بایستی اثرهای مثبت اقتصادی کوتاه مدت بر اثرهای بلند مدت استفاده پایدار از منابع طبیعی ترجیح داده شود؟
- ۳- آیا بایستی احتیاج به سوخت بر امنیت غذایی جهان برتری داشته باشد؟

پاسخ به این سوال‌ها در گرو تامین منابع آب و زمین‌های بیشتر برای کشت گیاهان زیست-انرژی می‌باشد.

**محصول‌های گیاهی برای تولید پایدار اتانول زیستی: کدام گیاهان؟ چرا؟ کجا؟ و چگونه؟****تعریف‌ها**

امروزه توجه زیادی به سوخت زیستی حاصل از توده گیاهی می‌شود تا بتوان با گرم شدن زمین مقابله کرد و جایگزینی برای نفت یافت. زیست توده عبارت است از مواد آلی تجدید پذیر و میکروبوگرا و جدای از منابع فسیلی. نمونه‌ای از این مواد عبارتند از گیاهان، پسماندهای غذایی، فضولات دامی، مواد چوبی و کاغذ باطله.

سوخت زیستی عبارت است از سوخت های مایع، جامد و گازی حاصل از زیست توده. نمونه‌ای از این سوخت عبارتند از اتانول زیستی حاصل از دانه ذرت یا نیشکر، سوخت دیزل زیستی حاصل از بذر کلزا یا آفتابگردان و گاز متان حاصل از فضولات دامی.

### فایده‌ها

سوخت زیستی فایده‌ها متعددی در مقابله با گرم شدن کره زمین به عنوان یک سوخت جایگزین دارد که عبارتند از ۱- تجدیدپذیر بودن، ۲- از نظر کربن خنثی بودن یعنی از افزایش دی اکسید کربن کره زمین جلوگیری می‌کند، زیرا کربن آزاد شده از سوخت زیستی به وسیله جذب کربن برای تولید مواد گیاهی جبران می‌شود، ۳- برخلاف نفت، زیست توده‌ها در همه جا گسترده هستند. افزون بر این فایده‌ها، هرکدام از سوخت‌های زیستی، ویژگی‌های مخصوص به خود را دارند.

### تولید اتانول زیستی

فایده‌های اتانول زیستی و شرایط اجتماعی آن کشورهای زیادی را ترغیب کرده است تا به تولید و مصرف اتانول زیستی بپردازند. تولید اتانول زیستی در جهان به سرعت در حال رشد است. تولید این ماده از ۳۰۰۰ میلیارد لیتر در سال ۲۰۰۰ به ۶۳۰۰ میلیارد لیتر در سال ۲۰۰۷ افزایش یافته است (۲۰).

بر اساس نوع مواد خام، اتانول زیستی به سه گروه تقسیم می‌شود. گروه اول اتانولی است که از مواد قندی مانند نیشکر و چغندر قند به دست می‌آید. گروه دوم اتانولی است که از مواد نشاسته‌ای مانند دانه ذرت و گندم و ریشه گیاهان غده‌ای تولید می‌شود. گروه سوم اتانولی است که از مواد سلولزی حاصل می‌شود و به نسل دوم اتانول زیستی اطلاق می‌شود. این مواد سلولزی عبارتند از بقایای گیاهی، مانند کاه برنج، ذرت و مواد چوبی.

کشورهای پیشرو در تولید اتانول زیستی آمریکا و برزیل هستند که به ترتیب از ذرت و نیشکر، اتانول تولید می‌کنند. تولید اتانول از ذرت در آمریکا در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ هر ساله ۱۲/۹۰٪ و در برزیل از نیشکر در همان دوره سالانه ۱/۷٪ افزایش یافته است. در کشور آمریکا افزایش تولید اتانول از ذرت منجر به افزایش تقاضا برای ذرت شده است و رقیب جدی برای مصرف ذرت به عنوان مواد غذایی و علوفه به شمار می‌آید. به همین علت قیمت دانه ذرت افزایش یافته است. این موضوع به نام رقابت غذا-سوخت نامیده شده است. البته دلیل‌های دیگری هم برای افزایش قیمت دانه ذرت مانند خشکسالی و کاهش تولید گندم در استرالیا، ورود نقدینگی در بازار خرید تولیدهای دانه‌ای، افزایش قیمت جهانی نفت و رشد سریع جمعیت جهان می‌توان نام برد. بنابراین پژوهش‌هایی برای ارزیابی اثر تولید سوخت زیستی بر قیمت غلات انجام شده است. Mitchell (۲۲) تخمین زد که ۷۰ تا ۷۵٪ افزایش قیمت مواد غذایی مربوط به تولید سوخت‌های زیستی و عامل‌های مربوط به آن مانند کاهش تولید غلات و تغییر کاربری زمین‌ها می‌باشد. در مقابل، وزیر کشاورزی وقت آمریکا اعلام کرد که تولید اتانول سوختی فقط باعث ۲ تا ۳٪ افزایش قیمت غذا شده است. Rosegrant (۳۰) گزارش کرد که افزایش تقاضای سوخت زیستی، باعث افزایش ۳۰٪ در قیمت غلات شده و بیشترین اثر را بر قیمت ذرت داشته است.

### روش‌های تولید اتانول زیستی

اهمیت تولید اتانول زیستی به روش‌های تجزیه مواد، عامل تجزیه مواد و عوامل دیگر بستگی دارد. به اعتقاد بعضی از پژوهشگران این موارد نمی‌توانند نشانگر کامل رقابت غذا-سوخت باشند. زمینه‌های واقعی برای چنین رقابتی نه تنها رقابت مستقیم بین استفاده از دانه‌های غلات و علوفه و تولید اتانول زیستی است، بلکه رقابت غیر مستقیم مانند تخصیص منابع محدود مانند زمین‌های کشت، آب آبیاری، کود و انرژی فسیلی برای تولید غلات، علوفه و گیاهان سوختی می‌باشد. عوامل رقابت‌های غیر مستقیم می‌تواند به عنوان عوامل اصلی افزایش قیمت مواد غذایی (غلات) در آینده باشد.

در حال حاضر کشورهای زیادی در حال تغییر تولید اتانول زیستی از گیاهان قندی یا گیاهان نشاسته‌ای به گیاهان سلولزی هستند تا از رقابت بین این مواد و مواد غذایی جلوگیری نمایند. بعضی از این کشورها اعتقاد دارند که اگر از منابع سلولزی برای تولید

اتانول استفاده شود رقابتی بین مواد غذایی و مواد سوختی به وجود نخواهد آمد. به هر حال بایستی به رقابت این‌ها در آینده توجه شود. از این رو سیستم موجود برای تولید زیست توده در تولید اتانول بایستی به دقت ارزیابی شود. با این هدف، در این مقاله سوال‌های زیر برای تولید اتانول زیستی مطرح می‌شود:

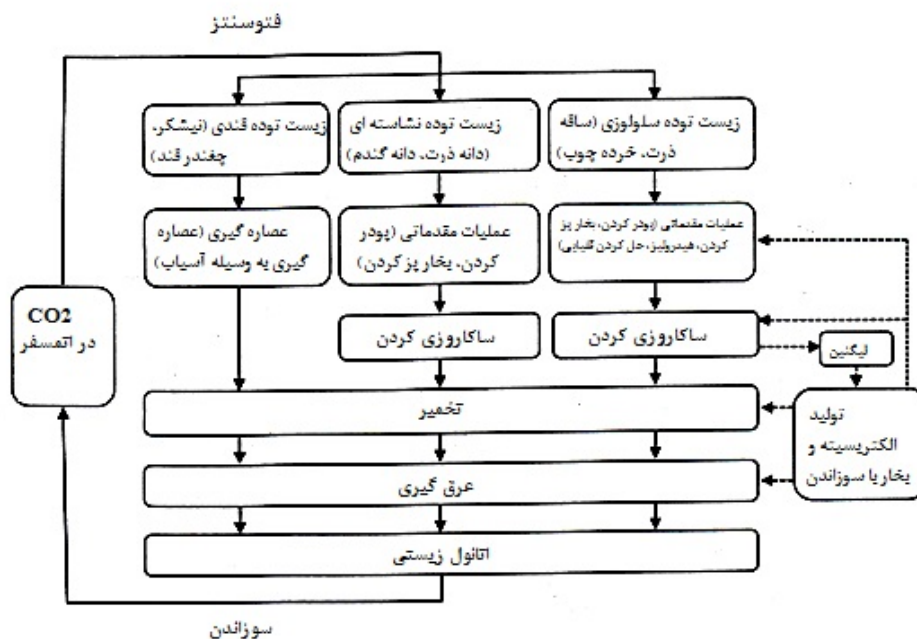
۱- چه نوع گیاهانی برای تولید اتانول زیستی کشت شوند؟

۲- کجا بایستی این گیاهان کشت شوند؟

۳- چگونه بایستی این گیاهان کشت شوند تا تولید اتانول زیستی پایدار باشد؟

### کدام گیاهان کشت شوند؟

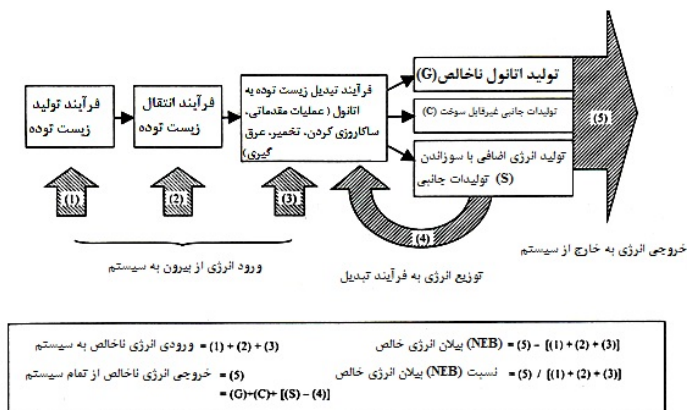
اتانول زیستی بر اساس مواد خام به کار رفته و فرایند تولید اتانول از مواد خام به سه گروه تقسیم می‌شود (شکل ۱). تولید اتانول از مواد قندی مانند نیشکر و چغندر قند دارای ساده‌ترین فرایند تولید می‌باشد، زیرا شیره شکر حاصل از نیشکر یا چغندر قند به طور مستقیم تخمیر شده و اتانول تولید می‌شود. اتانول تولید شده از مواد نشاسته‌ای از موادی مانند دانه ذرت و گندم ابتدا نیاز به تولید قند از نشاسته داشته تا بعد در اثر تخمیر، اتانول تولید شود. علاوه بر این ابتدا دانه غلات بایستی پودر شده و سپس بخارپز شود تا عمل ساکروزی شدن (تولید ماده قندی) سرعت گیرد. بنابراین اتانول تولید شده در این فرایند نسبت به تولید اتانول از مواد قندی انرژی بیشتری لازم دارد. نوع سوم تولید اتانول از مواد سلولزی است. در این فرایند انرژی بیشتری برای تولید لازم است، زیرا ابتدا بایستی مواد سلولزی پودر شده را با اسید هیدرولیز کرد و سپس بخارپز کرد. از طرف دیگر، لیگنین تولید شده در این فرایند می‌تواند برای تولید الکتریسته و بخار سوزانده شود. سوزاندن لیگنین به کاهش مصرف انرژی فسیلی در فرایند تولید اتانول از مواد سلولزی کمک می‌نماید. در این راستا، فناوری تبدیل سلولز به اتانول در حال توسعه می‌باشد تا برای تولید تجارتي مهیا شود. در مبحث انتخاب نوع گیاه برای تولید اتانول، این تفاوت‌ها در فرایند تبدیل و همچنین کارایی تولید و سایر ویژگی‌ها بایستی در نظر گرفته شود.



شکل ۱- فرایند تولید اتانول زیستی از سه نوع ماده خام (۱۶).

**گیاهان سنتی:** گیاهان قندی و نشاسته‌ای مانند نیشکر، چغندر قند و غلات از جمله گیاهان سنتی برای تولید اتانول هستند، اما رقابت غذا-سوخت و بازده پایین انرژی از عوامل محدود کننده این گیاهان هستند. شکل ۲ مسیر جریان انرژی را در یک سیستم کامل تولید اتانول زیستی نشان می‌دهد. کل انرژی ورودی عبارت است از جمع انرژی فسیلی لازم در تمام سیستم تولید اتانول شامل تولید،

ترابری و تبدیل زیست توده. کل انرژی خروجی به طور معمول شامل انرژی موجود در اتانول و مواد تولیدی جنبی می‌گردد که می‌تواند در خارج از سیستم مصرف شود مانند مواد جنبی تولیدی از دانه ذرت که می‌تواند به عنوان غذای دام مصرف شود.



شکل ۲ - مسیر جریان انرژی در یک سیستم جامع تولید اتانول زیستی (۱۶).

**گیاهان سلولزی:** به تازگی توسعه فناوری تبدیل زیست توده سلولزی به اتانول، گیاهان زیادی را به عنوان منبع تولید اتانول زیستی شناسایی کرده است. انواع زیادی از این گیاهان در لیست گیاهان سلولزی تولید اتانول وجود دارند (۱۲) که عبارتند از: *Pennisetum purpureum* Schumacher، *Panicum virgatum* L. نوعی ارزن، *Phalaris arundinacea* L. علف قناری. این گیاهان سلولزی برای تولید انرژی دارای زیست توده زیادی هستند (جدول ۵).

جدول ۵ - چکیده‌ای از میزان تولید زیست توده توسط گیاهان با انرژی سلولزی (۱۶).

نوع گیاه	میزان محصول های ماده خشک (تن در هکتار)	محل تولید
Napier grass	۹۳	السالوادور
پنیستوم	۸۵	پورتوریکو
	۶۷	ژاپن
	۲۳	شمال آلمان
<i>Erianthus</i> spp.	۶۰ تا ۴۰	فلوریدا (آمریکا)
سورگوم	۴۷ تا ۱۹	جنوب ایتالیا
	۳۳ تا ۲۲	مرکز یونان
	۱۰	ویرجینیا (آمریکا)
<i>Miscanthus</i> spp.	۴۰	چین
میسکانتوس	۲۶ تا ۱۵	ایتالیا
	۱۸	جنوب غربی آلمان
Switchgrass	۱۲	ترکیه
ارزن وحشی	۳۵ تا ۷	آلاباما (آمریکا)
	۲۱ تا ۱۳	جنوب شرقی آمریکا
	۱۱ تا ۱۰	ویرجینیا (آمریکا)
Reed canary grass	۱۹ تا ۱۱	سوئد
علف قناری		

همچنین انتظار می‌رود که این گیاهان نسبت به بیماری‌ها و آفت‌ها مقاوم بوده و در شرایط خاک‌های غیر حاصل خیز و تنش خشکی و شوری رشد خوبی داشته باشند. این ویژگی‌ها کمک می‌کند تا زیست توده بیشتری در واحد زمین و انرژی مصرف شده به دست آید. در آمریکا از میان این گیاهان، *Panicum virgatum* L. بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و پژوهش‌هایی برای به‌هنگامی و کشت آن در پروژه‌هایی انجام شده است. انواع دیگر این گونه گیاهان در نقاط دیگر در جدول ۶ ارائه شده است (۱۶).

فناوری‌های جدید برای تبدیل سلولز به اتانول از بقایای گیاهی برای این کار توسعه یافته است. در این راستا بسیاری از بقایای گیاهی بدون استفاده مانده‌اند. برای مثال، حدود ۹۰٪ از شاخساره ذرت بدون استفاده مانده و در مزرعه رها می‌شود (۱۸) که می‌تواند در تولید اتانول استفاده شود. در واقع، برای تولید اتانول زیستی در آمریکا از شاخساره ذرت پژوهش‌های زیادی انجام شده است (۳۱، ۳۸). به هر حال استفاده از بقایای گیاهی بایستی به دقت بررسی شود، زیرا این بقایا نقش اساسی در پایداری تولیدهای گیاهی از راه کاهش تخریب خاک، بهبود بیلان آب خاک و حفظ مقدار کربن آلی خاک دارند. وقتی که برای استفاده از بقایای گیاهی در تولید اتانول برنامه ریزی می‌شود بایستی به ویژگی‌های اجتماعی و محیطی هر منطقه توجه شود (۴۰). به طور مثال، بقایای گیاهی در کشورهای آمریکا، هند و چین سوزانده می‌شوند (۲۴) که باعث افزایش چشمگیر هواویزها و گازهای گلخانه‌ای می‌شود (۲۵، ۴۱). در منطقه کمربند ذرت در آمریکا پس از برداشت ذرت، خاک هنوز مرطوب است بنابراین امکان فشرده شدن خاک توسط چرای دام از بقایای گیاهی وجود دارد که از نظر حفاظت خاک مطلوب نیست (۳۳). در مناطقی که برنج کاری گسترده است مخلوط کردن کاه برنج با خاک شالیزارها ممکن است باعث افزایش گاز متان شود (۱۴). در چنین شرایطی استفاده از بقایای گیاهی برای تولید اتانول به سایر موارد ارجحیت دارد.

جدول ۶- انواع دیگر گیاهان سلولزی در نقاط دیگر جهان (۱۶).

اسم متداول	نوع گیاه (اسم علمی)	
Napier grass	<i>Pennisetum purpureum</i>	جنوب آمریکا
Pennisetum	Schumacher	
Bermuda grass مرغ	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	
Bahiagrass	<i>Paspalum notatum</i> Flugge	
Miscanthus	<i>Miscanthus</i> spp.	اتحادیه اروپا
Giant reed قمیش	<i>Arundo donax</i> L.	
Reed canary grass علف قناری	<i>Phalaris arundinacea</i> L.	
Miscanthus	<i>Miscanthus</i> spp.	ژاپن (میانی و شمالی)
Erianthus	<i>Erianthus</i> spp.	ژاپن (میانی و جنوبی)

### گیاهان زیست-انرژی در کجا کشت شوند؟

پاسخ به این سوال ساده نیست. برای این منظور بایستی تولید گازهای گلخانه‌ای را در تولید این گیاهان در نظر گرفت، زیرا یکی از مهمترین انگیزه‌ها برای تولید این گیاهان کاهش گازهای گلخانه‌ای است. نه تنها دی اکسید کربن بلکه تولید گاز اکسید نیتروژن در فرایند تولید این گیاهان بایستی مد نظر قرار گیرد (۲۷). در جدول ۷ مقدار کاهش گازهای گلخانه‌ای در اثر تولید گیاهان زیست-انرژی برای گیاهان مختلف ارائه شده است. بازده کاهش گازهای گلخانه‌ای به میزان زیادی به مقدار انرژی ورودی برای تولید اتانول و نسبت انرژی تجدید پذیر ورودی به کل انرژی لازم در سیستم تولید اتانول بستگی دارد. این عوامل به نوع گیاهان تولید انرژی بستگی دارد. به تازگی *Searchinger et al.* (۳۲) و *Fargione et al.* (۱۳) ایرادهای اساسی برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در سیستم مصرف اتانول زیستی مطرح کرده‌اند. آن‌ها ادعا کردند که تغییر کاربری زمین که در تولید زیست توده حاصل شده است در تحلیل‌های قبلی منظور نشده است. به ادعای آن‌ها افزایش تولید اتانول زیستی موجب تسریع در جنگل تراشی، تخریب مراتع (به طور

مستقیم) و اصلاح زمین (غیر مستقیم) برای توسعه مزرعه‌های تولید گیاهان زیست- انرژی شده است. جنگل تراشی و تخریب مراتع انتشار کربن ذخیره شده در چوب و علوفه را به اتمسفر تشدید می‌کند. حتی وقتی که جنگل و مراتع برای تولید اتانول زیستی برداشت شوند آن‌ها از نظر کربن خنثی نیستند، زیرا کربن ذخیره شده در آن‌ها مانند سوخت‌های فسیلی مدفون در خاک پایدارند به شرطی که برداشت نشده باشند. با در نظر گرفتن اثرهای مستقیم و غیرمستقیم تغییر کاربری زمین در فرایند استفاده از اتانول زیستی، انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش می‌یابد (۱۲، ۳۲). بنابراین لازم است که مصرف دراز مدت اتانول زیستی در نظر گرفته شود تا تولید گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید. طول زمان لازم برای جبران گازهای گلخانه‌ای به مواد به کار رفته در تولید اتانول زیستی بستگی دارد و تخمین *Fargione et al.* (۱۳) نشان داده است که مصرف اتانول زیستی حاصل از ذرت پس از تغییر کاربری مرتع در آمریکای مرکزی ۹۳ سال طول می‌کشد تا تولید گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید. وقتی که از کشت نیشکر برای تولید اتانول زیستی در مراتع مناطق حاره‌ای استفاده شود، طول زمان لازم برای جبران گازهای گلخانه‌ای ۴ سال (۳۲) و ۱۷ سال (۱۲) می‌باشد، زیرا این گیاه در تولید اتانول بازده بالایی دارد.

جدول ۷- کاهش گازهای گلخانه‌ای به وسیله استفاده از اتانول زیستی تولید شده از سیستم گیاهی مختلف به جای استفاده از بنزین (۱۶).

نوع گیاه	درصد کاهش گازهای گلخانه‌ای
دانه ذرت	۱۲ تا ۱۸
دانه گندم	۴۹
نیشکر	۸۵ تا ۹۰
چغندرقد	۴۰
کاه گندم	۹۱
کاه ذرت	۱۰۶
ارزن وحشی (Switch grass)	۹۴

این اطلاعات نشان می‌دهد که نیشکر یکی از مناسبترین گیاهان در مناطق حاره‌ای و نیمه حاره‌ای برای تولید اتانول می‌باشد زیرا وقتی که گیاهان دیگری برای این منظور کشت شوند طول مدت لازم برای جبران گازهای گلخانه‌ای چندین دهه و حتی بیش از یک صد سال می‌باشد. بنابراین زمین‌های کشت گیاهان زیست-انرژی بایستی به زمین‌های که در حال آیش بوده و یا زمین‌های حاشیه‌ای و رها شده محدود شود. براساس گزارش *Campbell et al.* (۱۰) مساحت این زمین‌ها در جهان حدود ۳۸۵ تا ۴۷۲ میلیون هکتار بوده که در آن حدود ۱/۶ تا ۲/۱ میلیارد تن زیست توده خشک (معادل ۳۲ تا ۴۱ EJ انرژی،  $EJ=10 \times 10^{18}$  Joule) می‌تواند تولید شود. همچنین انتظار می‌رود که گیاهان زیست- انرژی با بازده بالا در این زمین‌های تغییر کاربری داده شده طول زمان جبران تولید گازهای گلخانه‌ای را کوتاه نماید. از طرف دیگر، لازم است تا این گیاهان به تنش‌های محیطی برای تولید بالا و پایدار در این زمین‌های حاشیه‌ای تحمل بالایی داشته باشد.

بر اساس این اطلاعات پیشنهاد می‌شود که گیاهان زیست- انرژی در زمین‌هایی که برای کشت گیاهان غذایی مناسب نیست کشت شود. این زمین‌ها زمین‌هایی هستند که به فلزهای سنگین آلوده شده‌اند و یا دارای املاح زیاد (بُر و سدیم) هستند (۱۷).

### چگونه گیاهان زیست- انرژی کشت می‌شوند؟

یکی از اساسی‌ترین عوامل در کشت گیاهان زیست- انرژی این است که بازده انرژی را افزایش دهد، یعنی تولید زیست توده را در برابر یک واحد انرژی فسیلی مصرف شده و انتشار یک واحد از گازهای گلخانه‌ای افزایش دهد. بر اساس پژوهش‌های پیشین،



در فرایند تولید گیاهان زیست- انرژی (به جز نیشکر و سورگوم شیرین) مصرف انرژی فسیلی برای هر واحد زیست توده تولیدی (مگاژول بر یک تن زیست توده) به نسبت بالا است (جدول ۸). دلیل های این یافته عبارتند از (۱) تنها بخش هایی که به راحتی تخمیر می شوند (مثل دانه) به عنوان محصول منظور می گردند و بقیه مواد سلولزی به عنوان بقایای غیرقابل استفاده منظور می شود، (۲) گیاهان زیست- انرژی گیاهان متداول در محصول های غذایی بودند و صرف نظر از افزایش انرژی ورودی، بیشینه سازی تولید بخش های خوراکی از مهمترین اهداف بهنژادی می باشند. از سوی دیگر، همانطوری که در جدول ۸ نشان داده شده است، مصرف انرژی فسیلی در واحد تولید زیست توده در فرایند تولید گیاهان زیست- انرژی سلولزی اغلب پایین تر از گیاهان سنتی (نشاسته ای و قندی) می باشد.

جدول ۸- چکیده ای از نتایج پژوهش های پیشین روی انرژی فسیلی ورودی و تولید زیست توده برای گیاهان مختلف زیست- انرژی (۱۶).

نوع گیاه انرژی	اسم گیاه	کل انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار)	محصول زیست توده (تن بر هکتار)	انرژی ورودی در برابر واحد تولید زیست توده (مگا ژول بر تن)
سنتی	نیشکر	۱۱۱۹۶	۱۹/۲۳	۵۸۲
	چغندر قند	۳۱۶۷۰ تا ۲۳۸۹۰	۱۴/۵۰ تا ۱۱/۰۰	۲۱۷۲ تا ۲۱۸۴
	سورگوم شیرین	۱۴۷۱۳ تا ۱۵۹۰۵	۲۱/۴۹ تا ۱۰/۲۰	۷۴۰ تا ۱۴۴۳
	دانه ذرت	۱۸۳۷۵ تا ۳۴۰۰۱	۷/۷۵ تا ۶/۶۷	۲۵۲۷ تا ۴۶۱۳
	دانه برنج	۴۸۰۲۳	۷/۰۱	۶۸۵۱
	دانه گندم	۸۷۵۷ تا ۱۷۶۲۰	۷/۵۳ تا ۱/۹۱	۱۹۵۰ تا ۴۵۸۵
	سیب زمینی	۲۳۰۷۰ تا ۴۰۹۶۰	۸/۸۵ تا ۷/۷۰	۲۶۰۷ تا ۵۳۱۹
سلولزی	ارزن وحشی (Switch grass)	۱۳۹۱۰ تا ۵۴۳۸	۹/۰۱ تا ۷/۱۰	۷۶۶ تا ۱۵۴۶
	میسکانتوس ( <i>Miscanthus spp.</i> )	۱۰۷۹۲ تا ۱۷۸۶۰	۲۸/۱۳ تا ۱۳/۱۹	۶۳۵ تا ۸۱۸
	علف قناری (Reed canary grass)	۹۹۷۰	۶/۵۰	۱۵۳۴
	سورگوم علوفه ای	۱۵۹۰۵	۱۸/۷۱	۸۵۰

به طور خلاصه، تولید یک تن ماده خشک زیست توده نیاز به ۴۰۰۰-۲۰۰۰ مگا ژول انرژی فسیلی برای گیاهان زیست- انرژی سنتی به جز نیشکر دارد. در حالی که برای گیاهان سلولزی این نیاز ۱۶۰۰-۶۰۰ مگا ژول می باشد. علت این تفاوت به تولید بیشتر گیاهان زیست- انرژی سلولزی در شرایط کاربرد کمتر انرژی ورودی (کود و سموم کمتر) مربوط می شود. همچنین کشت گیاهان زیست- انرژی چند ساله مانند ارزن وحشی (Switch grass) و میسکانتوس (*Miscanthus spp.*) که به غیر از سال اول نیاز به شخم و بذر کاری ندارد، مصرف سوخت فسیلی را برای ماشین های کشاورزی کاهش می دهند. به همین دلیل این گیاهان در پژوهش های آمریکا و اروپا به عنوان گیاهان زیست- انرژی معرفی شده اند (۲۱). به هر حال انتظار می رود که در آینده پتانسیل تولید گیاهان زیست- انرژی سلولزی کاهش یابد، زیرا تولید آنها تنها به زمین های حاشیه ای و متروکه محدود خواهد شد. بنابراین بهنژادی گیاهان زیست- انرژی سلولزی با مقاومت بیشتر به تنش های محیطی برای تولید آنها بسیار مهم خواهد بود.

برای افزایش تولید زیست توده در واحد انرژی فسیلی بایستی کمینه سازی انرژی فسیلی ورودی و بیشینه سازی تولید زیست توده با هماهنگی هم انجام شود. هم اکنون روش های متعددی برای کاهش انرژی فسیلی ورودی از راه انتخاب روش های سنتی مانند کشت بین ردیفی یا مخلوط، تناوب کشت، سیستم جمع آوری رواناب، کمینه شخم و بدون شخم وجود دارد. بیشتر این روش ها دارای اثرهای منفی کمتری روی محیط زیست هستند. به ویژه، کشت بین ردیفی و یا مخلوط گیاهان لگوم روش موثری برای کاهش مصرف نیتروژن می باشد که نیاز به صرف انرژی زیادی برای تولید در کارخانه دارد. روش کشت بین خطی و یا مخلوط بر اساس بهره‌وری مشترک بین گیاهان گرامینه و لگومینوز استوار است. *Tilman et al.* (۳۴) سیستم منحصر به فردی برای تولید زیست توده ارائه کرده است که بر اساس بهره‌وری مشترک بین گیاهان نیاز به انرژی فسیلی ورودی کمتری دارد. آنها یک تا ۱۶ گونه گیاه را در

ترکیب‌های مختلف در زمین‌های تخریب شده و متروکه با خاک شنی فقیر از نظر نیتروژن کشت کردند و نشان دادند که با افزایش تعداد گونه‌ها در یک مخلوط، تولید زیست توده افزایش یافته است. نسبت بیلان انرژی خالص<sup>۱</sup> (NEB) در سیستم تولید اتانول زیستی از چنین مخلوطی به بیش از ۵/۴ گزارش شده است.

برای این که تاثیر صرفه جویی انرژی در فرایند تولید زیست توده بحث شود، بررسی‌های انجام شده در مورد گیاهان زیست-انرژی مختلف و بیلان انرژی لازم در تولید اتانول زیستی در جدول ۹ خلاصه شده است. برای تولید اتانول زیستی از گیاهان سنتی به جز نیشکر، انرژی فسیلی ورودی در فرایند تولید زیست توده به طور معمول ۲۰ تا ۴۰٪ تمام انرژی لازم را در بر می‌گیرد. در مقابل برای تولید اتانول زیستی از گیاهان سلولزی این انرژی ۵ تا ۸٪ انرژی لازم را شامل می‌شود (جدول ۹). این تفاوت به علت میزان کمتر انرژی فسیلی لازم برای فرایند تبدیل مواد سلولزی به خاطر سوزاندن مواد جانبی مانند لیگنین تولید شده در این فرایند است. برای تولید اتانول زیستی از نیشکر، انرژی لازم در فرایند تولید زیست توده ممکن است که ۵ تا ۶٪ از انرژی فسیلی ورودی را برای تمام سیستم شامل شود که این هم به خاطر سوزاندن مواد جانبی باگاس (تفاله نیشکر) تولید شده در این فرایند است (۲۳).

جدول ۹- تخمین تولید اتانول و نسبت بیلان انرژی خالص در سیستم تولید اتانول زیستی از گیاهان مختلف زیست-انرژی (۱۶).

نوع گیاه	نام گیاه	وزن تر زیست توده	تولید اتانول	تخمین نسبت
زیست-انرژی		تن بر هکتار	کیلو لیتر بر هکتار	بیلان انرژی خالص
سنتی	نیشکر	۶۸/۷	۵/۹	۶/۶۹
	چغندر قند	۴۵/۸ تا ۵۸/۱	۵/۰ تا ۶/۳	۱/۱۹ تا ۱/۲۰
	سورگوم شیرین	۴۲/۰ تا ۹۵/۵	۱/۴ تا ۵/۷	۰/۷ تا ۱/۲۱
	دانه ذرت	۷/۸ تا ۹/۱۰	۳/۰ تا ۳/۵	۱/۰۸ تا ۱/۳۴
	دانه برنج	۸/۳	۳/۶	۰/۷۴
	دانه گندم	۲/۲ تا ۹/۰	۰/۸ تا ۳/۱	۰/۷۹ تا ۱/۰۰
	سیب زمینی	۳۵/۰ تا ۳۸/۸	۳/۶ تا ۴/۱	۰/۸۸ تا ۱/۱۷
سلولزی	ارزن وحشی (Switch grass)	۸/۴ تا ۱۰/۶	۲/۷ تا ۳/۴	۳/۹۲ تا ۶/۳۱
	میسکانتوس ( <i>Miscanthus spp.</i> )	۲۲/۰ تا ۵۹/۸	۵/۰ تا ۱۰/۷	۵/۸۸ تا ۶/۵۷
	علف قناری (Reed canary grass)	۷/۷	۲/۵	۳/۹۴
	سورگوم علوفه ای	۳۹/۱ تا ۸۳/۲	۷/۱ تا ۵/۱	۳/۷۹ تا ۴/۹۱

کاهش انرژی فسیلی ورودی در تولید زیست توده به اندازه ۲۰٪ معادل صرفه جویی بیش از ۱۰ تا ۱۶٪ انرژی در تمام سیستم تولید اتانول زیستی از گیاهان سلولزی و نیشکر می‌باشد در حالی که برای سیستم گیاهان نشاسته‌ای معادل ۴ تا ۸٪ می‌باشد. بنابراین صرفه جویی انرژی در تولید زیست توده، نسبت بیلان انرژی خالص (بازده) را برای گیاهان سلولزی و نیشکر بیشتر از گیاهان نشاسته‌ای بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر پیشینه‌سازی تولید زیست توده هم مهم است. حالت‌هایی وجود دارند که در آن‌ها تولید زیست توده در واحد انرژی فسیلی مصرف شده با مدیریت صحیح افزایش یافته است. این افزایش نه از راه صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بلکه با مدیریت درست کشت حاصل شده است. افزون بر این، افزایش تولید زیست توده در واحد سطح موجب کاهش نیاز انرژی برای

برداشت زیست توده و جمع‌آوری آن‌ها می‌شود. اجرای مدل‌ها می‌تواند به برقراری تعادل بهینه بین انرژی فسیلی مصرفی و تولید زیست توده کمک نماید. پژوهش‌های پیشین روی بهینه‌سازی مدیریت کشاورزی می‌تواند به تخمین موثر انرژی مصرفی کمک نماید، گرچه در این بررسی‌ها بایستی وضعیت شرایط محیطی هم ملاحظه شود.

### کشت گیاهان خاص در زمین‌های حاشیه‌ای

Pacala and Socolow (۲۶) تخمین زدند که تولید ۳۶ میلیون بشکه اتانول در روز تا سال ۲۰۵۴، ۲۵۰ میلیون هکتار زمین نیاز دارد. این زمین‌های اضافی که می‌توانند از زمین‌های حاشیه‌ای، معدنکاری و یا کویری باشند می‌توانند برای کشت گیاهان زیست-انرژی به کار برده شوند که از قسمت‌های بالایی آن‌ها برای تولید اتانول و از ریشه آن‌ها در خاک برای افزایش کربن خاک استفاده شود. در کشورهای در حال توسعه گونه‌های درختی متعددی می‌تواند برای تولید زیست-انرژی کاشته شود تا این که بتوان از بقایای گیاهی و کود دامی برای اصلاح خاک استفاده نمود. از گونه‌های مهم درختی می‌توان موارد زیر را نام برد:

*Capparis deciduas* (گونه‌ای لگجی)

*Acacia spp.* (گونه‌های آکاسیا)

*A. tortilis* (گونه‌ای آکاسیا)

*A. nilotica* (گونه‌ای آکاسیا)

*A. auriculiformis Albizia lebbeck* (گل ابریشم، شب خسب)

*Dalbergia sissoo* (نوعی افاقیای بلند)

*Terminalia arjuna*

در آمریکا در بعضی از ایالت‌ها انتظار دارند که کشت گیاهان خاص زیست-انرژی در زمین‌های حاشیه‌ای توسعه بیشتر پیدا کند. گرچه اطلاعات درباره اثرهای گیاهان زیست-انرژی روی محیط محدود هستند ولی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که گراس‌های گرمسیری و گونه‌های درختی با رشد سریع می‌توانند فرسایش خاک را کاهش داده، کربن را در خاک ذخیره کنند، آلوده کننده‌ها را از رواناب فیلتر نموده و جمعیت گونه‌های وحشی را بهبود بخشند.

نتایج پژوهش‌ها نشان داد که به عنوان نمونه، ارزن وحشی می‌تواند در زمین‌های حاشیه‌ای با فرسایش پذیری متوسط و به کمک کارهایی مانند شخم کمینه و کشت روی خطوط همتراز، کشت شود. همچنین، درخت سپیدار<sup>۱</sup> و درخت بید<sup>۲</sup> می‌توانند در زمین‌های پست و زهدار به خوبی رشد نمایند. همچنین این نوع درختان را می‌توان در زمین‌های دیواره رودخانه‌ها که مساعد فرسایش هستند کشت نمود. این گیاهان می‌توانند عناصر غذایی در خاک را که به سمت رودخانه‌ها منتقل می‌شوند جذب کرده و از آلودگی رودخانه‌ها نیز بکاهند. همچنین ارزن وحشی می‌تواند در زمین‌های پر شیب که برای کشت گیاهان زراعی مناسب نیستند، کشت شود.

### تولید بیودیزل (گازوئیل زیستی)

فناوری‌های تولید سوخت زیستی از زیست توده‌های نسل اول (ذرت، سویا، سورگوم و نیشکر) و نسل دوم (گیاهان علوفه‌ای و مواد سلولزی) جا افتاده است. چالشی که در استفاده از زیست توده‌های نسل اول و دوم وجود دارد این است که عده‌ای معتقدند نباید از موادی که برای سیر کردن و رفع نیاز انسان‌های گرسنه کاربرد دارد برای تولید سوخت زیستی استفاده شود، زیرا این کار غیراخلاقی است. بنابراین همین امر باعث شده است تا برای تولید سوخت زیستی به نسل‌های بعدی زیست توده مانند ریزجلبک‌ها روی آورده شود که کاربرد خوراک انسانی ندارند. ریزجلبک‌ها می‌توانند در آب‌های شور دریا هم رشد کرده و تولید شوند (۵).

یکی از تولیدهای حاصل از زیست توده‌هایی که دارای روغن و چربی هستند بیودیزل یا گازوئیل زیستی می‌باشد. همه جاندارانی که در دریا زندگی می‌کنند دارای درصدی چربی و روغن هستند که برای تولید گازوئیل زیستی مناسب‌اند ولی بسیاری از آن‌ها برای خوراک انسان کاربرد دارند ولی ریزجلبک‌ها برای این منظور مناسب و مفید هستند به طوری که ریزجلبک‌های روغنی امید

آینده دنیا برای جایگزین کردن سوخت تولید شده از آن‌ها با سوخت فسیلی می‌باشد. عوامل اصلی برای تولید ریزجلبک‌ها عبارتند از نور خورشید، آب و دی اکسید کربن و آب مورد استفاده می‌تواند آب شور دریا هم باشد که برای آن محدودیتی وجود ندارد. جلبک‌ها به دو گروه درشت جلبک‌ها و ریزجلبک‌ها تقسیم می‌شوند (۵):

بیشتر درشت جلبک‌ها کاربردهای ویژه‌ای دارند که شاید صلاح نباشد که در تولید گازوئیل زیستی به کار برده شوند ولی به نظر می‌رسد که ریزجلبک‌ها برای این منظور محدودیتی نداشته باشند. جلبک‌ها دارای ارگانسیم‌های فتوسنتزی و هتروفوبیکی هستند که می‌توانند مواد تولید کننده انرژی ایجاد نمایند. جلبک‌ها دارای سبزینه بوده و غذای خود را از راه فرایندهای فتوسنتز تولید می‌کنند. این جلبک‌ها عمل فتوسنتز را در ساختار غشایی خود که کلروپلاست نامیده می‌شود انجام می‌دهند که نقش مهمی در چرخه غذایی جهان بر عهده دارند. آن‌ها بیشتر از گیاهان تولید اکسیژن کرده و منبع غذایی مهمی برای جانوران دیگر هستند.

در حال حاضر آب به عنوان مهمترین محدودیت برای تولید زیست توده در ایران می‌باشد که حتی برای تولید مواد غذایی جمعیت روبه رشد کشور کفایت نمی‌کند. در حالی که برای تولید ریزجلبک‌ها از آب شور دریا می‌توان استفاده کرد. بنابراین به نظر می‌رسد که برنامه‌ریزی برای پرورش ریزجلبک‌ها و تولید گازوئیل زیستی از آن‌ها می‌تواند در دستور کار برنامه‌ریزان قرار گیرد و برنامه‌های پژوهشی و فناوری آن مورد بررسی قرار گیرد.

### وضعیت علوفه و مواد آلی در خاک‌های ایران

مواد آلی به علت اثرهای سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک دارند، به عنوان یکی از ارکان باروری خاک شناخته شده‌اند. خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک از نظر مواد آلی بسیار فقیر هستند. مقدار مواد آلی در بیش از ۶۰٪ خاک‌های زیر کشت در ایران کمتر از ۱٪ و در بخش قابل توجهی از آن‌ها کمتر از ۰/۵٪ است (۵). منابع تأمین مواد آلی برای خاک زیر کشت در ایران بسیار محدود بوده و بیشتر شامل کودهای دامی، بقایای گیاهی و کودهای کمپوست می‌باشد که در حال حاضر حداکثر حدود ۳۵٪ نیاز زمین‌های زیر کشت آبی کشور را به مواد آلی تأمین می‌کند.

کلباسی (۶) بیان می‌کند که دستیابی به محصول بالقوه در خاک‌های زیرکشت ایران بدون تأمین مواد آلی کافی در خاک امکان پذیر نمی‌باشد. از این رو، مطالعه همه راه‌هایی که بتوان مواد آلی را در خاک افزایش داد و مواد آلی موجود در خاک را نگهداری نمود از اولویت خاص برخوردار است. بر اساس گزارش کلباسی (۶) راه‌های پیشنهاد شده عبارتند از:

- ۱- جلوگیری از سوزاندن کاه و کلش پس از برداشت محصول.
  - ۲- قرار دادن کود سبز در گردش زراعی.
  - ۳- حفظ مواد آلی خاک با اعمال مدیریت زراعی.
  - ۴- استفاده از همه منابع مواد آلی از جمله زباله‌های خانگی و لجن فاضلاب‌ها برای تولید کود کمپوست.
- برخی بقایا و پسماندهای گیاهی باید فراوری شده و سپس به خاک اضافه گردند. کلباسی (۶) بیان می‌کند که اگر همه زباله‌های خانگی در شهرها در کشور جمع آوری و به کمپوست تبدیل شوند سالانه حدود ۲/۵ میلیون تن کود کمپوست تولید خواهد شد که کمک قابل ملاحظه‌ای به بهبود وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ایران خواهد کرد، بنابراین با داشتن منابع گازی، سوزاندن زباله و یا تولید انرژی بیوگاز از زباله در شرایط ایران به علت ضعف مواد آلی خاک پذیرفتنی نیست.
- میزان جمعیت دامی کشور بر اساس آمار معاونت امور دام ۱۲۴ میلیون واحد دامی است که از این تعداد ۸۳ میلیون واحد دامی به مدت ۷ ماه از سال از مراتع استفاده می‌کنند و بقیه حدود ۴۱ میلیون واحد دامی به علوفه بخش زراعت وابسته است. از سوی دیگر، در اغلب مراتع کشور کمبود بارندگی یکی از عوامل محدود کننده پوشش گیاهی محسوب می‌شود و در حدود ۱۳٪ از سطح کشور بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است. همچنین، تولید علوفه در بخش زراعت نیز با کمبود منابع آبی مواجه است (۳، ۱). بنابراین به کارگیری علوفه تولید شده در کشور برای تهیه اتانول زیستی پذیرفتنی نیست.

همچنین باتوجه به کمبود منابع آبی برای تولید مواد غذایی (۴) و کاغذ در ایران، به کارگیری مواد غذایی مانند نیشکر و ذرت و یا دورریز نیشکر برای تولید اتانول-زیستی قابل قبول نیست. در عوض می توان از منابع انرژی خورشیدی مانند انرژی باد که از خورشید سرچشمه می گیرد و یا مستقیم از خورشید به صورت گرما و الکتریسته فتوولتاییک که شناخته شده است، بهره برداری کرد. همچنین می توان برای استفاده از انرژی بدون کربن که یکی از آن ها انرژی هسته ای است سرمایه گذاری کرد.

### سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز مطالعات خشکسالی دانشگاه شیراز برای در اختیار قرار دادن امکانات پژوهشی و همچنین از جناب آقای دکتر یحیی امام به خاطر کمک در معادل یابی فارسی برای اسامی لاتین گیاهان قدردانی می شود.

### منابع

- ۱- بی نام. ۱۳۹۰. بیانیه همایش مرتعداری پایدار در کشور. گروه علوم کشاورزی. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران. ۲۱ مهر ۱۳۹۰.
- ۲- توانپور، م. و ف. امینی و همکاران. ۱۳۹۰. ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۸. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی. وزارت نیرو. ۵۴۱ صفحه.
- ۳- سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۸۷. راهکارهای برای استفاده از آب های شور غیر متعارف در تولید علوفه مجموعه مقالات به مناسبت بزرگداشت مقام علمی دانشمند فرهیخته استاد دکتر بهمن یزدی صمدی. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران. صفحه های ۱۳۳ تا ۱۶۴.
- ۴- سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۹۵. راهکارهای مقابله با چالش تامین غذا در ایران. مجله پژوهش های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۳۳-۲۳:۱(۱).
- ۵- قبادیان، ب. ۱۳۹۰. تولید سوخت بیودیزل از بیوماس. مجموعه مقالات همایش بهینه سازی تولید و مصرف انرژی در کشاورزی. گروه علوم کشاورزی فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران. ۱۳ بهمن ۱۳۹۰.
- ۶- کلباسی، م. ۱۳۷۵. وضعیت مواد آلی در خاک های ایران و نقش کمپوست. پنجمین کنگره علوم خاک ایران. ۱۰ تا ۱۳ شهریور ماه. کرج. ۷ صفحه.
7. Bahree, B. and C. Cummins. 2006. In oil's new era, power shifts to countries with reserves. Wall Street J., 14 June 2006, pp. A1-A3.
8. Baldwin, S.F. 2002. Renewable energy: progress and prospects. Physics Today 55(4):62-67.
9. Cassman, K., V. Eidman, and E. Simpson. 2006. Convergence of agriculture and energy. CAST Commentary QTA 2006-3. CAST, Dec Moines, IA, USA.
10. Campbell, J.E., D.B. Lobell, R.C. Genova, and C.B. Field. 2008. The global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands. Environ. Sci. Technol. 42:5791-5794.
11. EIA (Energy Information Administration). 2004. International energy outlook. EIA, Washington, DC, USA.
13. El-Bassam, N. 1998. Energy Plant Species. James & James (Science Publishers) Ltd, London, UK. pp. 1-383.
14. Fargione, J., J. Hill, D. Tilman, S. Polasky and P. Hawthorne. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science 319:1235-1238.
14. Fumoto, T., K. Kobayashi, C.S. Li, K. Yagi and T. Hasegava. 2008. Revising a process-based biogeochemistry model (DNDC) to simulate methane emission from rice paddy fields under various residue management and fertilizer regimes. Global Change Biol. 14:382-402.
15. Herrera, S. 2006. Bonkers about biofuels. Nat. Biotechnol. 24:755-760.

16. Hattori, T. and Sh. Morita. 2010. Energy crop for sustainable bioethanol; which, where and how? *Plant Prod. Sci.* 13(3):221-234.
17. Jadia, C.D. and M.H. Fulekar. 2009. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. *Afr. J. Biotechnol.* 8:921-928.
18. Kim, S. and B.E. Dale. 2004. Global potential of bioethanol production from wasted crops and residues. *Biomass Bioener.* 26:361-375.
19. Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in developing countries through restoration of soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degrad. Dev.* 17:197-206.
20. Licht, F.O. 2007. *World Ethanol and Biofuels Report* 5(17):354.
21. Lewandowski, I., J.M.O. Scurlock, E. Lindvall and M. Christou. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioener.* 25:335-361.
22. Mitchell, D. 2008. A Note on Rising Food Prices. Policy Research Working Paper, 4682.1-20. [Available online]. The World Bank, Washington, DC, USA.
23. Macedo, I.C., M.R.L.V. Leal and J.E.A.R. Silva. 2004. Assessment of greenhouse gas emission in the production and use of fuel ethanol in Brazil, SanPaulo State Environment Secretariat. Government of the State of San Paulo. 37 p.
24. McCarty, J.L., S. Korontzi, C.O. Justice and T. Loboda. 2009. The spatial and temporal distribution of crop residue burning in the contiguous United States. *Sci. Total Environ.* 407:5701-5712.
25. Mittal, S.K., N. Singh, R. Agarwal, A. Awasthi and P.K. Gupta. 2009. Ambient air quality during wheat and rice crop stubble burning episodes in Patiala. *Atmos. Environ.* 43:238-244.
26. Pacala, S. and R. Socolow. 2004. Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science* 305:968-972.
27. Renouf, M.A., M.K. Wagener and L.K. Nielsen. 2008. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and sugar beet as producers of sugars for fermentation. *Biomass Bioener.* 32:1144-1155.
28. RFA (Renewable Fuels Association). 2005a. U.S. ethanol industry continues tremendous growth [Available online], RFA, Washington DC, USA.
29. RFA (Renewable Fuels Association). 2005b. Homegrown for the homeland: ethanol industry outlook [Available online], RFA, Washington DC, USA.
30. Rosegrant, M.W. 2008. Biofuel and grain prices: Impacts and policy responses. Testimony for the U.S. Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs. Washington D.C. 1-4 [Online]. Available at [www.ifpri.org/pubs/testimony/rosegrant\\_20080507.pdf](http://www.ifpri.org/pubs/testimony/rosegrant_20080507.pdf). International Food Policy Research Institute, Washington D.C., USA.
31. Sheehan, J., A. Aden, K. Paustian, K. Killian, J. Brenner, M. Walsh and R. Nelson. 2004. Energy and Environment aspects of using corn stover for fuel ethanol. *J. Indust. Ecol.* 7:117-146.
32. Searchinger, T., R. Heimlich, R.A. Houghton, F. Dong, A. Elobeid, J. Fabiosa, Z. Tokgoz, D. Hayes and T.H. Yu. 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increased greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319:1238-1240.
33. Sulc, R.M. and B.F. Tracy. 2007. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. *Agron. J.* 99:335-345.

34. Tilman, D., J. Hill and C. Lehman. 2006. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. *Science* 314:1598-1600.
35. USDOE (Environmental of Energy). 2005. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion ton annual supply. USDA/USDOE, National Technical Information Service, Springfield, VA, USA.
36. USGAO (U.S. General Accounting Office). 2002. U.S. Ethanol market: MTBE ban in California [Available online]. GAO-02 440R.USGAO, Washington, DC, USA.
37. Vorholz, F. 2006. The long farewell to oil. *Deuschland*. 2/2006, pp. 7-10.
38. Varvel, G.E., K.P. Vogel, R.B. Mitchell, R.F. Follett and J.M. Kimble. 2008. Comparison of corn and switch grass on marginal soils for bioenergy. *Biomass Bioenerg.* 32:18-21.
39. Weisz, P.B. 2004. Bad choices and constraints on long-term energy supplies. *Phys. Today* 57(7):47-52.
40. Wilhelm, W.V., J.M.F. Johnson, J.L. Hatfield, W.B. Vorhees, and D.R. Linden. 2004. Crop and soil productivity response to crop residue management: A literature review. *Agron. J.* 96:1-17.
41. Yang, S.J., H.P. He, S.L. Lu, D. Chen, and J.X. Zhu. 2008. Quantification of crop residue burning in the field and its influence on ambient air quality in Suqian. *China Atmos. Environ.* 42:1961-1969.

## **Sustainable Bio-Ethanol Production in Relation to Water and Soil Resources in Iran**

**A.R. Sepaskhah<sup>1,2</sup>**

Due to overuse of fossil fuels in the world, the idea of renewable energy production, especially biofuels has been popular. On the other hand, production of bio-ethanol is one of the 15 potential technologies for sustainable atmospheric CO<sub>2</sub> production in 2054. However, the following strategic questions should be answered: 1- Should the crop residues be used for increasing the soil organic matter, soil quality and improvement of ecosystem or for energy production? 2- Should the short term positive economic benefits be preferred to the long term sustainable use of natural resources? 3- Should the need of fuel be preferred to the food security in the world? Responses to these questions are related to the point that more land and water resources should be devoted to produce bio-energy plants. Raw materials for bio-ethanol production are: Sugar rich crops (sugarcane and sugarbeet), starch crops (wheat, maize and potato), and cellulosic materials (crop residues, wheat straw, rice straw, maize stover and woods). However, use of sugar rich and starch materials resulted in food-fuel competition that resulted in raising the food price in the world. To confront with this problem, the following questions should be considered: 1- Which crops should be planted for bio-ethanol production? 2- Where these crops should be planted? 3- How these crops should be cultivated for sustainable bio-ethanol production? Cellulosic energy crops that produce high biomass in soils with low fertility, water stress and saline conditions and are tolerant to pests and diseases are suitable choice. Energy use in agricultural sector in Iran is about 4% of the total energy use, on the other hand, there is organic matter deficit in soils, scarcity in water resources and forage in Iran. Therefore, using solid waste, forage or sugar rich and starch crops for bio-gas, electrical energy or bio-ethanol production is not acceptable. Whereas, natural gas or other renewable energy like solar, wind or nuclear energy can be used for electricity production.

**Key words:** Biodiesel, Biofuel, Renewable energy.

---

1. Corresponding author, Email: [sepas@shirazu.ac.ir](mailto:sepas@shirazu.ac.ir).

2. Fellow of Academy of Sciences and Professor, Shiraz University, Shiraz, I.R. Iran.