نشریه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد ۲۶ شماره ۲، صفحه ۳۵۱-۳۴۰، (۱۳۹۸)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijrdr.2019.119356
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0875.1398.26.340.75.2.1576.115

بررسی و مقایسه توان تولید بیواتانول از بیوماس و ذخایر کربوهیدرات‌های ساختاری و غیرساختاری گونه‌های *Suaeda vermiculata*، *Halocnemum strobilaceum* و *Seidlitzia rosmarinus*

داریوش قربانیان[۱]، احسان زندی اصفهان[۲*] و فرزانه بهادری [۳]

۱- مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: zandi@rifr-ac.ir

۳- استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۷

چکیده

برای مقایسه بیوماس و تعیین قابلیت تولید بیواتانول گونه‌های *Suaeda vermiculata*، *Halocnemum strobilaceum* و *Seidlitzia rosmarinus* نمونه‌برداری از مواد گیاهی (ساقه‌ها و برگ‌ها) طی سه مرحله رشد گیاه شامل رشد رویشی، گلدهی و بذردهی انجام و پس از آماده سازی، مورد تجزیه لیگنوسلولزی برای تعیین مقدار سلولز، همی‌سلولز و لیگنین قرار گرفت. میزان تولید بیوماس آنها نیز در پایان رشد سالانه محاسبه شد. نتایج بدست‌آمده در قالب مدل بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار آنالیز شد. نتایج نشان داد که میزان لیگنین در گونه *Ha.strobilaceum* در مرحله بذردهی بیشتر از میزان سلولز و همی‌سلولز بوده، ازاین‌رو قابلیت تولید اتانول ندارد. اما در مراحل رشد رویشی و گلدهی میزان همی‌سلولز افزایش یافت، بنابراین می‌توان اتانول کمی را استحصال نمود. در گونه *Se.rosmarinus* به علت افزایش درصد سلولز و همی‌سلولز نسبت به لیگنین، توان بالایی برای تولید بیواتانول وجود دارد که این قابلیت در مرحله پایانی رشد گیاه به حداکثر می‌رسد. اما میزان تولید بیوماس آن کمتر از دو گونه دیگر است. در گونه *Su.vermiculata* نیز درصد سلولز و همی‌سلولز نسبت به درصد لیگنین بیشتر است، ازاین‌رو بیشترین قابلیت را برای تولید بیواتانول دارد. مناسب‌ترین زمان برداشت برای استحصال بیواتانول نیز قبل از مرحله گلدهی است. تولید زیتوده آن بیشتر از دو گونه قبلی (۱۱۷۴ kg/h) و با رعایت برخی اصول اولیه زراعت، قابل استقرار در سطح وسیع و تولید انبوه است. بنابراین *Su.vermiculata* گونه مناسب برای استحصال بیواتانول در اراضی شور و کم‌بازده و اقلیم‌های خشک و بیابانی بوده و با توجه به وجود آن در حاشیه مزارع و مراتع مناطق خشک و شور مانند جنوب گرمسار و جنوب ورامین، معرفی آن به بهره‌برداران و کارشناسان حوزه کشاورزی و منابع طبیعی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیواتانول، گیاهان هالوفیت، مناطق خشک و نیمه‌خشک، استان سمنان.

مقدمه

اتانول یا الکل اتیلیک (CO2H5OH)، الکلی با ساختار دو کربن است که از منابع مواد اولیه زیستی با منشأ گیاهی تولید می‌شود. بیواتانول کاربرد زیادی در صنایع بهداشتی و آرایشی، صنایع غذایی و نظامی دارد. اتانول به صورت خالص می‌تواند به‌عنوان سوخت وسایل نقلیه مورد استفاده قرار گیرد ولی معمولاً به‌عنوان مکمل بنزین برای افزایش اکتان و بهبود گازهای خودرو استفاده می‌شود. تولید بیواتانول از زیست‌توده، یکی از راه‌های کاهش مصرف نفت خام و آلودگی زیست‌محیطی است. با توجه به اینکه منبع تولیدی بیواتانول یک منبع بیولوژیکی تجدیدپذیر بوده و همچنین یک سوخت اکسیژنه است که منجر به کاهش نشر ذرات CO، SO و NO می‌شود (Hansen,2005)، ازاین‌رو سوختی مورد توجه و جذاب برای حافظان محیط‌زیست است. مواد اولیه برای تولید بیواتانول از گیاهان روغنی (بیودیزل)، چغندرقند، غلات و ضایعات آلی بدست می‌آید. مواد اولیه بیولوژیکی که شامل مقادیر مناسب قند ۶ کربنه یا مواد قابل تبدیل مثل نشاسته و سلولز هستند، برای تبدیل به بیواتانول تخمیر شده و در موتورهای بنزینی استفاده می‌شوند (Malka,۲۰۰۶). به‌طور کلی مواد اولیه تولید بیواتانول شامل مواد اولیه حاوی ساکارز (نیشکر، چغندرقند، سورگوم)، مواد نشاسته‌ای (گندم، ذرت و جو) و زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی (چوب و کاه و انواع علف‌ها) هستند. ازاین‌رو بیوماس سلولزی حاصل از منابع غیرغذایی مانند بوته‌های چندساله مرتعی و گراس‌ها نیز به‌عنوان مواد خام برای تولید اتانول مطرح است. هالوفیت‌ها و گونه‌های مقاوم به شوری به‌عنوان یکی از منابع غنی از نظر بیوماس لیگنوسلولزی محسوب می‌شوند. این گیاهان به فراوانی در طبیعت یافت می‌شوند و خارج از زنجیره غذایی انسان هستند و چون شرایط نگهداری پایینی را می‌طلبند، رشد آنها مقرون به صرفه است. Zandi Esfahan (۲۰۱۳)، در بررسی ارزیابی توان تولید اتانول از گونه‌های هالوفیت و مقاوم به شوری در اراضی شور مناطق خشک و بیابانی بیان کرد که ایران در حدود ۳۶۵ گونه دائمی و یکساله هالوفیت دارد. Zainul Abideen و همکاران (۲۰۱۱)، در بررسی توان گونه‌های هالوفیت به‌عنوان منبع بیوماس لیگنوسلولزی نشان دادند که برخی از گونه‌های هالوفیت مانند *Halopyrum mucronatum*، *Desmostachya bipinnata*، *Phragmites karka*، *Typha domingensis* و *Panicum turgidum* در مناطق ساحلی پاکستان قابلیت محصولات بیواتانول را دارند. آنان گزارش کردند که این گراس‌های دائمی مقاوم به شوری بوده و میزان رشد بالایی را برای تولید بیوماس لیگنوسلولزی با کیفیت شامل ۳۷-۲۶ درصد سلولز، ۳۸-۲۴ درصد همی‌سلولز و کمتر از ۱۰ درصد لیگنین دارند. آنان این‌گونه نتیجه گرفتند که بهره‌برداری از اراضی شور برای تولید بیوماس لیگنوسلولزی که فاقد ارزش غذایی است و می‌تواند به اتانول تبدیل شده و در عین حال تأثیری بر تولید غذای انسان ندارد، ضروریست. Hallac و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی ویژگی‌های بیوماس گونه *Buddleja davidii* به‌عنوان یک ماده خام برای تولید سوخت زیستی، این گونه را به دلایل مختلف ازجمله ترکیب بیوماس شامل ۳۰ درصد لیگنین، ۳۵ درصد سلولز و ۳۴ درصد همی‌سلولز به‌عنوان یک منبع زیستی جدید و بالقوه برای تولید بیواتانول معرفی کردند.

مهمترین اهداف این تحقیق، بررسی توان بیوماس لیگنوسلولزی سه گونه مقاوم به شوری در تولید اتانول و بررسی تأثیر مراحل مختلف فنولوژیک بر بیوماس لیگنوسلولزی هالوفیت‌ها و گونه‌های مقاوم به شوری است.

مواد و روش‌ها

با توجه به شرایط اقلیمی و نوع پوشش گیاهی مناطق بیابانی، کویری و حاشیه پلایای استان سمنان، سه گونه شورپسند شامل *Halocnemum strobilaceum*، *Seidlitzia rosmarinus* و *Suaeda vermiculata* برای تحقیق و بررسی در نظر گرفته شد. این گونه‌ها پراکنش وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک داشته و زیتوده زیادی تولید می‌کنند و توانایی تحمل دامنه گسترده‌ای از شرایط محیطی نامناسب به‌ویژه شوری و خشکی را دارند. از نظر تولید بذر

و زادآوری نیز در صورت مهیا بودن شرایط خوب عمل می‌کنند و می‌توانند تراکم در واحد سطح را با سرعت افزایش دهند. گونه‌های مورد مطالعه بومی، پرتولید و هالوفیت یا مقاوم به شوری بوده و در سایت‌های مورد مطالعه پراکنش قابل توجه همراه با تراکم زیاد هستند (Ghorbanian & Khosroshahi, 2014). همچنین در اراضی شور (Ghorbanian and Jafari, ۲۰۰۷) در صورت آبیاری با آب شور تولید بیوماس زیادی خواهند داشت.

مناطق اجرای طرح

– ایستگاه تحقیقات بیابان نورالدین‌آباد (گونه *Suaeda vermiculata*): این سایت در ۲۰ کیلومتری جنوب‌شرقی گرمسار و در حد فاصل طول جغرافیایی "۲۲' ۲۷°۵۲ و عرض جغرافیایی " ۲۱,۸ '۰۷ °۳۵ قراردارد. ارتفاع از سطح دریای آزاد ۸۱۰ متر، شیب زمین حدود ۲ در هزار و جهت آن شمالی– جنوبی است. متوسط بارندگی سالانه بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی گرمسار طی سال‌های ۹۱ تا ۹۴، ۷۷/۹۵ میلیمتر و بیشتر به شکل باران پاییزه، زمستانه و بهاره و با پراکنش نامناسب بود. دمای متوسط منطقه ۱۸/۵ درجه سانتیگراد و دوران خشکی تقریباً ۸/۵ (فروردین و تا اوایل آذر) برآورد شد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده خشک بیابانی است. خاک این منطقه در زیر رده Salisols قرار دارد. اسیدیته خاک بیش از ۸ و شور و قلیایی است. دارای ساختمان ریز دانه و بافت رسی– شنی و همراه با رس، سیلت و یون‌های سدیم همراه با سولفات می‌باشد. تیپ گیاهی غالب منطقه - *Alhagi camelorum* *Phragmetis australis* است.

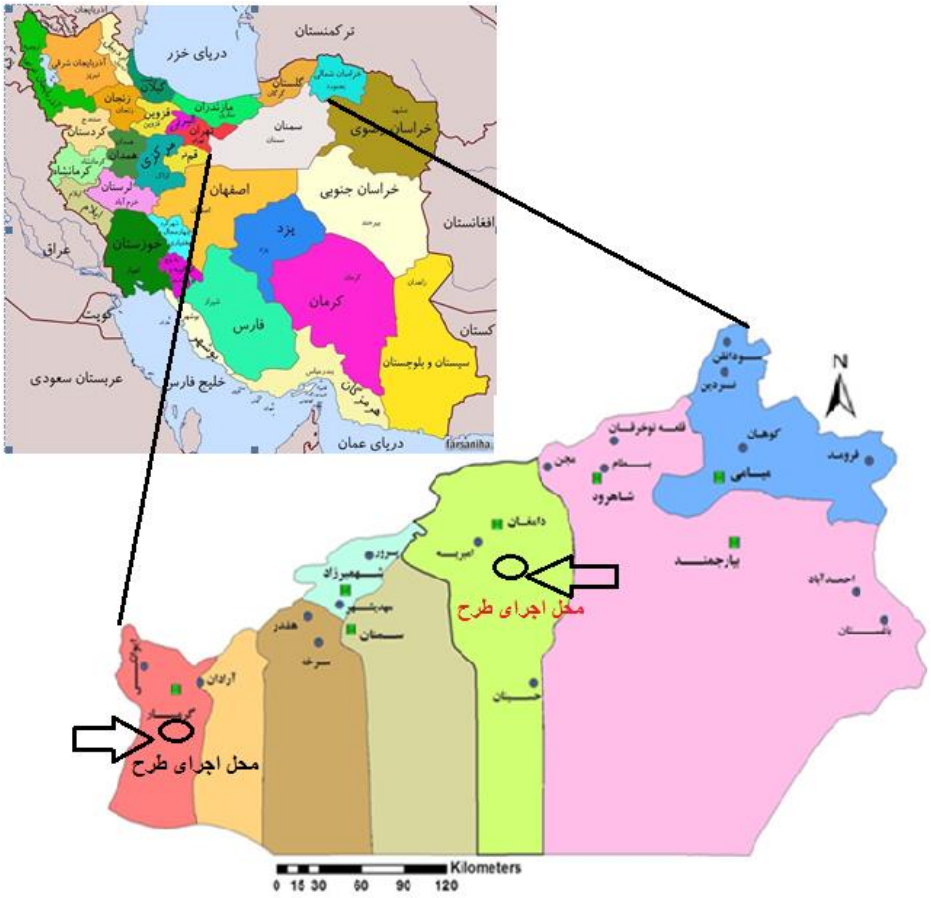
– جنوب کویر دامغان (گونه‌های *Seidlitzia rosmarinus* و Halocnemum *strobilaceum*): این سایت در فاصله ۵۵ کیلومتری جنوب دامغان و در حاشیه جنوب‌غربی کویر حاج‌علیقلی واقع است. طول جغرافیایی "۵۴۲۳'۰۲ و عرض جغرافیایی "۵۰۳۵'۵۲ نشان‌دهنده موقعیت منطقه دارای پراکنش *Seidlitzia rosmarinus* و طول جغرافیایی" ۵۴۲۸'۲۶ و عرض جغرافیایی"۵۱۳۵'۳۶ نشان‌دهنده موقعیت منطقه دارای پراکنش *Halocnemum strobilaceum* است. ارتفاع نقطه از سطح دریا ۱۰۷۳ متر و منطقه مذکور جزو مراتع میان‌بند و قشلاقی محسوب می‌شود و بیشتر مورد استفاده شتر قرار می‌گیرد. بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک دامغان میانگین بارش طی سال‌های اجرای طرح ۷۸/۲۳ میلی‌متر و میانگین تبخیر ۲۶۵۴/۰۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

مشخصات گونه‌های مورد مطالعه

– *Halocnemum strobilaceum*: گیاه شور باتلاقی با نام علمی (*Halocnemum strobilaceum*)، گونه‌ای از گیاهان گلدار از راسته میخک‌سانان و خانواده تاج‌خروسیان *Amaranthaceae*(هم‌خانواده یا زیرخانواده اسفناجیان *Chenopodiaceae*) است. گیاهی چند ساله، بوته‌ای یا درختچه‌ای، گوشتی و بدون کرک است (Assadi و همکاران، ۲۰۰۳).

– اشنان: با نام علمی *Seidlitzia rosmarinus* در شاخه پیدازادان *Spermatophyta* قراردارد. جنس *Seidlitzia* از طایفه *Salsolaceae*، زیرخانواده *Spirolobeae* و از خانواده *Chenopodiaceae* می‌باشد. گیاهی یکساله و چندساله و درختچه‌ای، انشعابات ساقه متقابل، برگ‌ها متقابل، گوشتی و کاملاً رشدکرده است. زمان گلدهی پاییز و رسیدن میوه اوایل زمستان است (Assadi و همکاران، ۲۰۰۳).

– *Suaeda vermiculata*: گیاهی چند ساله است. درختچه‌ای به ارتفاع ۱۶۱ سانتیمتر، قطر تاج تا ۳ متر، برگ‌ها متنوع به طول ۱۰ و قطر یا عرض ۶ میلیمتر، مستطیلی، بیضوی، دایره‌ای و گاهی کمانی با نوک کند می‌باشد. زمان گلدهی تابستان و رسیدن دانه در اواخر تابستان یا پاییز است (Assadi و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۱- جانمایی مکان اجرای طرح در استان سمنان و کشور

روش تحقیق

ابتدا مناطق معرف در هر تیپ گیاهی در سایت‌های مورد مطالعه شناسایی و محل نمونه‌برداری تعیین شد. در نقاط تعیین شده از هر گونه گیاهی ۳۰ پایه در قالب ۳ تکرار ۱۰ تایی انتخاب و با رنگ علامت‌گذاری شد (۳۰ پایه *Suaeda vermiculata* در ایستگاه نورالدین‌آباد گرمسار، ۳۰ پایه *Seidlitzia rosmarinus* در جنوب‌غرب کویر دامغان و ۳۰ پایه *Halocnemum strobilaceum* در جنوب کویر دامغان). از پایه‌های منتخب طی سه مرحله رشد (رشد رویشی، گلدهی و بذردهی) نمونه‌برداری شد. از هر پایه به‌طور متوسط ۳۰۰ گرم سرشاخه سبز برداشت و داخل پاکت‌های کاغذی جمع‌آوری گردید. با توجه به اینکه هر تکرار شامل ۱۰ پایه منتخب بود، ازاین‌رو از هر تکرار حدود ۳ کیلوگرم و در مجموع از هر گونه منتخب ۳ نمونه از سرشاخه سبز جمع‌آوری گردید. سپس نمونه‌ها به مدت چهار ماه در انبار بذر به صورت باز، کاملاً خشک و بعد آسیاب شدند و پودر حاصل در ظرف‌های پلاستیکی دردار ریخته شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه حمل و مراحل تجزیه لیگنوسلولزی با استفاده از دستگاه NIR (Near InfraredSpectroscopy) مدل INFRAMATIC8620 و روش AOAC که شامل توابع چندگانه برای جداسازی کربوهیدرات‌های ساختمانی (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) از سایر اجزاء بیوماس لیگنوسلولزی است، انجام شد (جعفری و همکاران، ۲۰۰۳). این روش با تعیین NDF که بیانگر مقدار سلولز، همی‌سلولز و لیگنین است و قسمت اعظم فیبر یا دیواره سلولی را در بیوماس دربرمی‌گیرد، ارتباط دارد. ADF با استفاده از قسمت به جای

مانده از تعیین NDF محاسبه شد. همی‌سلولز از تفریق ADF از NDF بدست آمد. برای تعیین مقدار سلولز، NDF و ADF گیاهان مورد آزمایش با اسید سولفوریک ۷۲ درصد هیدرولیز شد. لیگنین از خاکستر باقیمانده هیدرولیز به‌دست آمد.

اندازه‌گیری لیگنین: ۱ گرم آرد بوته خشک شده را از مش ۴۰-۶۰ عبور داده و داخل یک بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد به آن اضافه و به‌مدت دو ساعت و هر ۱۰ دقیقه یکبار (به مدت ۶۰ ثانیه) با هم‌زن شیشه‌ای هم زده شد. محتوای داخل بشر پس از دو ساعت به داخل یک بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری منتقل و ۵۶۰ سی‌سی آب‌مقطر به آن اضاف گردید. بالن را روی اجاق (گرم‌کن) گذاشته و جریان آب خشک با استفاده از کندانسور (مبرد) برقرار شد. محتوای داخل بالن پس از سه ساعت قلیان، با صافی کروز و یا کاغذ صافی صاف و به‌منظور خنثی شدن اسیدیته آن با آب‌مقطر شستشو گردید. قبل از صاف کردن بوسیله کاغذ صافی (که بدون لیگنین هستند) با ترازو وزن کاغذ صافی توزین و آنگاه کاغذهای صافی که حاوی لیگنین و رطوبت بودند را (برای از بین رفتن رطوبت) داخل آون با دمای ۱۰۲ درجه سانتی‌گراد گذاشته و بعد از یک ساعت دوباره وزن شدند. از اختلاف وزن، میزان لیگنین بدست آمد و با جایگزین کردن در فرمول زیر درصد آن تعیین شد (Schoening، ۱۹۶۵).

$$\text{درصد لیگنین} = \frac{\text{وزن لیگنین‌خشک}}{\text{وزن خشک نمونه آزمایشگاهی}} \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری همی‌سلولز: با توجه به رابطه زیر همی‌سلولز بدست آمد.

$$\text{همی سلولز} = NDF - ADF$$

اندازه‌گیری سلولز: ابتدا هلوسلولز از روش آزمایشگاهی زیر تعیین و بعد با استفاده از رابطه زیر مقدار محاسبه شد.

$$\text{سلولز} = \text{هولوسلولز} - \text{همی سلولز}$$

اندازه‌گیری هلوسلولز: در این روش ابتدا ۲/۵ گرم گیاه آسیاب شده با اندازه بین غربالی با مش ۴۰-۶۰ به همراه ۸۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر داغ و ۰/۵ میلی‌لیتر اسید استیک و ۱ گرم کلریت سدیم (۸۰ درصد) در ظرف ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته و ظرف در حمام بن‌ماری با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس هریک ساعت، نیم میلی‌لیتر اسید استیک و ۱ گرم کلریت سدیم به مخلوط اضاف شده و این کار ۶-۸ ساعت ادامه یافت. در پایان پس از یک شبانه‌روز نمونه‌ها با آب‌مقطر شستشو شده و پس از خشک شدن با اتو (دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد)، وزن مواد فیبری باقی مانده بدست آمد و درصد هلوسلولز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (ابیض و همکاران، ۱۳۹۲).

$$\text{هولوسلولز} = \frac{\text{وزن خشک هولوسلولز}}{\text{وزن خشک نمونه آزمایشگاهی}} \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری آلفا سلولز: درصد آلفا سلولز بر مبنای وزن خشک هلوسلولز به صورت زیر تعیین شد.

$$\text{درصد آلفا سلولز} = (W_2/W_1) \times ۱۰۰$$

که W_2 وزن رسوب آلفا سلولز خشک شده و W_1 وزن نمونه اولیه هلوسلولز خشک شده می‌باشد. فرایند عملیات اندازه‌گیری و سنجش آزمایشگاهی شامل: اندازه‌گیری قندهای محلول در آب با استفاده از دستگاه NIR و آنالیز داده‌های حاصل از تجزیه آزمایشگاهی در قالب مدل آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که در نهایت منجر به معرفی گیاهان با بیوماس بالا و دارای مواد لیگنوسلولزی مناسب برای تبدیل به اتانول شد. برای مطالعه خاک‌شناسی در هر منطقه مورد بررسی پس از حفر پروفیل، از سه عمق ۳۰- ۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتیمتری خاک نمونه‌برداری و نمونه‌ها برای تعیین میزان EC، pH و بافت به آزمایشگاه ارسال شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و به‌روش تجزیه واریانس یک‌طرفه انجام شد.

مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن انجام گردید.

نتایج

مقایسه میانگین پارامترهای مورد سنجش نشان داد که بیشترین مقدار لیگنین در گونه *Ha. strobilaceum* و کمترین میزان در *Su. vermiculata* اندازه‌گیری شد. همچنین بیشترین میزان هلوسلولز در *Se. rosmarinus* و کمترین میزان در *Ha. strobilaceum* و بیشترین مقدار سلولز در *Se. rosmarinus* و کمترین مقدار در *Ha. strobilaceum* و در نهایت بیشترین میزان همی‌سلولز در *Su. vermiculata* و کمترین مقدار در *Ha. strobilaceum* اندازه‌گیری گردید (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین اثرهای متقابل گونه گیاهی و زمان برداشت بر مقدار پارامترهای مورد سنجش

گونه	زمان برداشت	لیگنین(٪)	هلوسلولز	آلفاسلولز(٪)	همی‌سلولز(٪)
Halocnemom strobilaceum	رشد رویشی	a۱۰/۶۴	f۲۱/۰۵۳۳	f۷/۹۲۳۳	f۱۳/۱۳۳۳
	گلدهی	b۹/۶۲	f۲۳/۵۰	g۶/۰۴۳۳	e۱۷/۴۶
	بذردهی	e۶/۸۵	g۱۳/۲۴۶۷	h۴/۱۳۶۷	g۹/۲۸
Seidlitzia rosmarinus	رشد رویشی	ab۱۰/۲۴۶۷	e۴۲/۱۸۶۷	c۱۷/۴۲۶۷	c۲۴/۷۶
	گلدهی	d۸/۱۸۳۳	b۷۷/۷۰۶۷	b۵۸/۴۶	d۱۹/۲۴۳۳
	بذردهی	e۶/۲۸۶۷	a۹۰/۳۰	a۷۶/۷۵۶۷	g۱۳/۵۴۶۷
Suaeda aegyptiaca	رشد رویشی	f۵/۵۷۶۷	b۷۷/۹۵۳۳	c۱۷/۶۷	a۶۰/۲۸۳۳
	گلدهی	e۶/۶۹	d۶۰/۸۴	e۱۰/۶۳	b۵۰/۲۱
	بذردهی	c۸/۹۳۶۷	c۶۴/۰۸۳۳	d۱۳/۸۹	b۵۰/۱۹۳۳

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرهای ساده و متقابل گونه گیاهی و زمان برداشت بر مقدار پارامترهای مورد سنجش

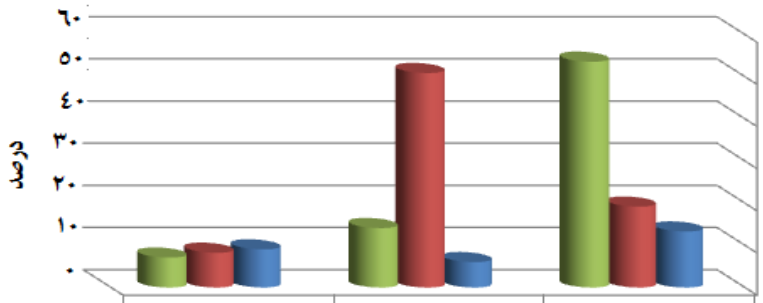
		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	لیگنین	هلوسلولز	آلفاسلولز	همی‌سلولز
تکرار	۲	۰/۳۲۷	۰/۲۳۴	۰/۱۴۳	۱۰۰۰/۸۴۶
گونه گیاهی	۲	۲۲/۷۲۵**	۷۸۳۷/۶۹۴**	۴۶۶۰/۱۹۳**	۱۹۰۴۴/۷۵۳**
زمان برداشت	۲	۱۹/۴۷۶**	۳۶۵/۱۰۴**	۹۵۷/۳۳۱**	۰/۰۳۱**
گونه گیاه* زمان برداشت	۳	۶/۰۲۱**	۱۲۶۵/۸۸۷**	۱۲۸۸/۶۴۰**	۳۲۹۱/۸۸۹**
خطا	۱۷	۰/۵۸۸	۳/۰۹۰	۱/۲۳۱	۱۳۹/۳۶۵

**: احتمال معنی‌دار بودن در سطح ۱٪ *: احتمال معنی‌دار بودن در سطح ۵٪

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین گونه‌های گیاهی مورد بررسی در میزان درصد لیگنین، هلوسلولز، آلفا سلولز و همی‌سلولز در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر گونه‌های گیاهی دارای

سطوح مختلفی از مقدار لیگنین، سلولز و همی‌سلولز به‌عنوان پارامترهای مؤثر بر میزان اتانول هستند. همچنین مراحل رشد فنولوژیکی نیز بر تغییرات میزان درصد پارامترهای مؤثر بر میزان اتانول تأثیر دارد. به‌طوری‌که بین مراحل رشد فنولوژیکی نیز در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. اثر متقابل بین گونه‌های مورد بررسی و مراحل فنولوژیکی در تعیین درصد پارامترهای مورد سنجش نشان می‌دهد که هر سه گونه در مراحل مختلف فنولوژیکی (رشد رویشی، گلدهی و رسیدن بذر) با یکدیگر در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌دار دارند. ازاین‌رو تعیین زمان برداشت برای بهره‌برداری حداکثر از قابلیت تولید اتانول ضروریست (جدول ۲).

مقایسه میانگین پارامترهای مورد سنجش نشان داد که بیشترین مقدار لیگنین در گونه *Ha. strobilaceum* و کمترین میزان در *Su. vermiculata* اندازه‌گیری شد. همچنین بیشترین میزان هلوسلولز در *Se. rosmarinus* و کمترین میزان در *Ha. strobilaceum* و بیشترین مقدار سلولز در *Se. rosmarinus* و کمترین مقدار در *Ha. strobilaceum* و در نهایت بیشترین میزان همی‌سلولز در *Su. vermiculata* و کمترین مقدار در *Ha. strobilaceum* اندازه‌گیری گردید (شکل ۲).



	٪ لیگنین	٪ سلولز	همی سلولز ٪
Halocnemum	۹/۰٤	٦/۰۳	۱۳/۲۹
Seidlitzia	۸/۲٤	۵۰/۸۸	۱۹/۱۸
Sueda	۷/۱	۱٤/۱	۵۳/۵٦

شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده گونه بر مقدار پارامترهای مورد سنجش

نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به تفکیک هریک از گونه‌های منتخب به‌شرح زیر می‌باشد.

۱- *Halocnemom strobilaceum*: بررسی جدولهای مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان درصد لیگنین در این گونه طی دوره رشد فنولوژیکی تغییر می‌کند. به‌طوری‌که درصد لیگنین طی دوره رشد رویشی بیشترین مقدار (۱۰/۶۴درصد) و در زمان بذردهی کمترین مقدار (۶/۸۵ درصد) برآورد شده است. البته سلولز نیز با افزایش تکامل گیاه از مرحله رویشی تا بذردهی کاهش یافته است (۷/۹۲ درصد = رشد رویشی، ۶/۰۴ درصد =گلدهی، ۴/۱۴ درصد= بذردهی). همی‌سلولز شرایط متفاوتی را نشان داد و درصد آن در مرحله گلدهی بیشتر از مراحل رشد رویشی و بذردهی بود (۱۳/۱۳ درصد = رشد رویشی، ۱۷/۴۶ درصد =گلدهی، ۹/۲۸ درصد= بذردهی). بنابراین با توجه به اینکه درصد لیگنین در هر سه مرحله رشدی گیاه بیشتر از درصد سلولز اندازه‌گیری شده، ازاین‌رو قابلیت تولید اتانول این گونه کم است.

جدول ۳- مقایسه میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده طی دوره رشد فنولوژیکی در گونه هالوکنموم

گونه	زمان برداشت	لیگنین ٪	سلولز ٪	همی‌سلولز ٪
Halocnemom strobilaceum	رشد رویشی	a۱۰/۶۴	f۷/۹۲۳۳	f۱۳/۱۳۳۳
	گلدهی	b۹/۶۲۳۳	g۶/۰۴۳۳	e۱۷/۴۶
	بذردهی	e۶/۸۵	h۴/۱۳۶۷	g۹/۲۸

مطالعه پوشش گیاهی نیز حکایت از آن دارد که میانگین تولید هالوکنموم ۱۱۵۱/۹۴ کیلوگرم در هکتار بوده که با توجه به شرایط سخت اکولوژیکی حاکم بر مناطق خشک و نیمه‌خشک، این میزان قابل توجه است.

۲- *Seidlitzia rosmarinus*: بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میانگین درصد لیگنین طی دوره‌های رشد فنولوژیکی از میانگین درصد سلولز و همی‌سلولز کمتر است (رشد رویشی برابر ۱۰/۲۵ درصد = لیگنین، ۱۷/۴۳ درصد = سلولز، ۷۶/ درصد همی‌سلولز و در گلدهی ۸/۱۸ درصد = لیگنین، ۵۸/۴۶ درصد = سلولز، ۱۹/۲۴ درصد= همی‌سلولز). در طی فصل رشد نیز میانگین درصد لیگنین کمتر از سلولز و همی‌سلولز بوده، به‌طوری‌که در مرحله بذردهی به حداکثر اختلاف می‌رسد (۶/۲۹ درصد = لیگنین، ۷۶/۷۶ درصد = سلولز، ۱۳/۵۵ درصد= همی‌سلولز). بررسی نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میزان درصد لیگنین در هر سه مرحله رشد فنولوژیکی گیاه کمتر از درصد سلولز و همی‌سلولز است که حکایت از این دارد که این گونه قابلیت بالایی برای تولید اتانول دارد. بر اساس نتایج حاصل، مراحل پایانی رشد گیاه بیشترین قابلیت استحصال بیواتانول را دارد. با توجه به اینکه بیشترین رشد تاج‌پوشش اشنان در اواخر دوره رشد مشاهده می‌شود، ازاین‌رو میزان سلولز و همی‌سلولز بیشتری را نسبت به لیگنین شاهد هستیم. بنابراین به نظر می‌رسد که بیشترین رشد خشبی اشنان از همان ابتدای فصل رویش اتفاق می‌افتد.

جدول ۴- مقایسه میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده طی دوره رشد فنولوژیکی در گونه اشنان

گونه	زمان برداشت	لیگنین ٪	آلفاسلولز ٪	همی‌سلولز ٪
Seidlitzia rosmarinus	رشد رویشی	ab۱۰/۲۴۶۷	c۱۷/۴۲۶۷	c۲۴/۷۶
	گلدهی	d۸/۱۸۳۳	b۵۸/۴۶	d۱۹/۲۴۳۳
	بذردهی	e۶/۲۸۶۷	a۷۶/۷۵۶۷	g۱۳/۵۴۶۷

میانگین تولید برآورد شده در منطقه اجرای طرح ۶۷۶/۵۳ کیلوگرم در هکتار بوده که البته با توجه به اینکه رشد تاج‌پوشش اشنان تحت تأثیر رطوبت خاک قرار دارد، ازاین‌رو این میزان در حاشیه مرطوب کویرهای داخلی بیشتر است (شکل ۵).

۳- *Sueda sp.*: بررسی جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بین میزان درصد لیگنین نسبت به سلولز و همی‌سلولز طی دوره رشد گیاه اختلاف فاحشی وجود دارد. این اختلاف در مرحله رشد رویشی نسبت به سایر مراحل رشد بیشتر بوده (۵/۵۸ درصد = لیگنین، ۰/۶۷ درصد = سلولز، ۶۰/۲۸ درصد= همی‌سلولز) و در مرحله بذردهی کمتر می‌شود (۸/۹۴ درصد = لیگنین، ۱۳/۸۹ درصد = سلولز، ۵۰/۱۹ درصد= همی‌سلولز).

جدول ۵- مقایسه میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده طی دوره رشد فنولوژیکی در گونه سوئدا

گونه	زمان برداشت	لیگنین ٪	سلولز ٪	همی‌سلولز ٪
Suaeda vermiculata	رشد رویشی	f۵/۵۷۶۷	c۱۷/۶۷	a۶۰/۲۸۳۳
	گلدهی	e۶/۶۹	e۱۰/۶۳	b۵۰/۲۱
	بذردهی	c۸/۹۳۶۷	d۱۳/۸۹	b۵۰/۱۹۳۳

در مرحله گلدهی نیز درصد لیگنین کمتر از درصد سلولز و همی‌سلولز برآورد شده است. بنابراین این گونه شورپسند قابلیت تولید اتانول را دارد. مناسب‌ترین زمان برداشت برای استحصال اتانول نیز قبل از مرحله گلدهی است. زیرا در این مرحله کمترین میزان لیگنین و بیشترین میزان سلولز و همی‌سلولز اندازه‌گیری شده است. علت آن را می‌توان در خشبی نشدن ساقه‌ها تا قبل از گلدهی دانست. ضمن اینکه برداشت سوئدا در این مرحله آسان‌تر است. میانگین تولید در عرصه مورد نظر ۱۱۷۳/۵۹ کیلوگرم در هکتار برآورد شد، این میزان تولید در منطقه شور و کم بازده قابل توجه است.

بحث

گونه‌های متعدد شورپسند و مقاوم به شوری که در سطح وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا ازجمله در ایران و استان سمنان پراکنش دارند، قابلیت تولید بیواتانول را داشته و زمینه برای فعالیت تولیدی در قالب طرح‌های کشاورزی و منابع طبیعی را دارند. این موضوع توسط Zainul Abideen و همکاران (۲۰۱۱)، Zandi esfahan (۲۰۱۳)، Gomez و همکاران (۲۰۰۸) و Flowers و Colmer (۲۰۰۸) تأیید شده است. Zainul Abideen و همکاران (۲۰۱۱) و Hallac و همکاران (۲۰۰۹) از سلولز، همی‌سلولز و لیگنین به‌عنوان سه پارامتر شاخص در تعیین قابلیت تولید بیواتانول در گیاهان نام برده‌اند. این محققان بالاتر بودن سلولز و همی‌سلولز نسبت به لیگنین را شاخص داشتن قابلیت تولید اتانول می‌دانند. بر همین اساس گونه‌های شورپسند *Suaeda vermiculata*، *Halocnemum strobilaceum* و *Seidlitzia rosmarinus* قادر به تولید بیواتانول هستند. این گیاهان می‌توانند مانند سایر گونه‌های شورپسند که تولید بیوماس بالا داشته و نسبت سلولز و همی‌سلولز آنها بیشتر از مقدار لیگنین است، با منبع زیستی جدید برای تولید بیواتانول مانند *Buddlejadavidii* (معرفی شده توسط Hallac و همکاران، ۲۰۰۹) با ۳۰ درصد لیگنین، ۳۵ درصد سلولز و ۳۴ درصد همی‌سلولز جایگزین شوند. بر اساس نتایج بدست‌آمده، این گونه‌های شورپسند سطوح مختلفی از لیگنین، سلولز و همی‌سلولز را به‌عنوان پارامترهای مؤثر بر میزان بیواتانول دارند. نتایج تحقیق Freidooni و همکاران (۲۰۱۲) و Torkan and arzani (۱۳۸۴) نیز موید این موضوع است. همچنین مراحل رشد فنولوژیکی نیز بر افزایش یا کاهش میزان درصد پارامترهای مؤثر بر میزان اتانول تأثیر دارد. به‌عبارت‌دیگر هر سه گونه در مراحل مختلف فنولوژیکی (رشد رویشی، گلدهی و رسیدن بذر) با یکدیگر اختلاف دارند. این نتیجه با مطالعات محققان یادشده و همچنین Arzani و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد.

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان درصد پارامترهای مؤثر بر تولید بیواتانول در گونه *Halocnemom strobilaceum* طی دوره رشد فنولوژیکی تغییر می‌کند. به‌طوری‌که درصد لیگنین (۱۰/۶۴٪) و سلولز (۷/۹۲٪) طی دوره رشد رویشی بیشترین مقدار و در زمان بذردهی کمترین مقدار (۶/۸۵٪ و ۴/۱۴٪) را دارد. همی‌سلولز شرایط متفاوتی را نشان داد و درصد آن در مرحله گلدهی (۱۷/۴۶٪) بیشتر از مراحل رشد رویشی و بذردهی بود (۱۳/۱۳٪ و ۹/۲۸٪). بنابراین با توجه به اینکه درصد لیگنین در هر سه مرحله رشدی گیاه بیشتر از درصد سلولز اندازه‌گیری شده می‌باشد، ازاین‌رو قابلیت تولید اتانول این گونه کم است. اما در مرحله رشد رویشی و گلدهی با توجه به افزایش درصد همی‌سلولز،

تولید بیواتانول امکان‌پذیر است. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین درصد لیگنین گونه *Seidlitzia rosmarinus* طی دوره‌های رشد فنولوژیکی از میانگین درصد سلولز و همی‌سلولز کمتر است. ازاین‌رو بر اساس نتایج Zainul Abideen و همکاران (۲۰۱۱) و Hallac و همکاران (۲۰۰۹)، این گونه توان بالایی برای تولید بیواتانول دارد. این اختلاف در مرحله بذردهی به حداکثر می‌رسد، بنابراین مراحل پایانی رشد گیاه بیشترین توان استحصال بیواتانول را دارد. رشد تاج‌پوشش در این گونه زیاد نیست و تولید سالانه آن نیز کمتر از دو گونه دیگر برآورد شده است (۶۷۶ کیلوگرم در هکتار). البته این مقدار تولید بیوماس در مناطق خشک و کم‌باران قابل‌توجه است اما رشد سال‌جاری برای برداشت قابل توصیه نیست. نتایج تحقیق حکایت از اختلاف فاحش بین میزان درصد لیگنین نسبت به سلولز و همی‌سلولز طی دوره رشد گیاه در گونه *Suaeda vermiculata* دارد. این اختلاف در مرحله رشد رویشی نسبت به سایر مراحل رشد، بیشتر بوده و در مرحله بذردهی کمتر می‌شود. بنابراین این گونه شورپسند در مقایسه با گونه *Seidlitzia rosmarinus* قابلیت بیشتری برای تولید بیواتانول دارد. مناسب‌ترین زمان برداشت برای استحصال اتانول نیز قبل از مرحله گلدهی است. زیرا در این مرحله کمترین میزان لیگنین و بیشترین میزان سلولز و همی‌سلولز اندازه‌گیری شده است. علت آن را می‌توان به خشبی نشدن ساقه‌ها تا قبل از گلدهی دانست. همچنین برداشت *Suaeda vermiculata* در این مرحله آسان‌تر است. میزان تولید زیتوده نیز قابل‌توجه بوده (۱۱۷۴ کیلو در هکتار) که در صورت رعایت برخی اصول اولیه زراعت، این مقدار به سرعت افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر کاشت و استقرار این گونه نسبت به دو گونه قبلی آسان‌تر و سرعت رشد و تکامل فیزیولوژیکی آن نیز بیشتر است. ازاین‌رو در مدت زمان کوتاه‌تری تاج‌پوشش انبوهی را تولید و امکان برداشت را مهیا می‌کند. بنابراین گونه مناسبی برای استحصال بیواتانول در اراضی شور و کم‌بازده و اقلیم‌های خشک و بیابانی بوده و با توجه به وجود آن در حاشیه مزارع و مراتع مناطق خشک و شور مانند جنوب گرمسار و جنوب ورامین، قابل معرفی به بهره‌برداران و کارشناسان حوزه کشاورزی و منابع طبیعی است. از سوی دیگر بهره‌برداری از پوشش گیاهی مراتع مناطق خشک مانند *Seidlitzia rosmarinus* و *Halocnemom strobilaceum* همیشه با مخالفت سازمان‌های متولی روبه‌رو می‌شود، ازاین‌رو با استفاده از کشت گونه *Suaeda vermiculata* به شکل زراعت با حداقل مصرف آب و خاک‌ورزی اندک، امکان بهره‌گیری از قابلیت‌های عرصه‌های شور و کم‌بازده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مهیا خواهد شد. در نتیجه، منابع جدید درآمدی برای کشاورزان و بهره‌برداران از عرصه‌های منابع طبیعی ایجاد و ضمن شکوفایی اقتصادی و ایجاد شغل، فشار بر منابع آبی و اراضی کشاورزی حاشیه پلایا کمتر می‌شود.

منابع مورد استفاده

- Abyaz, A., Hamzeh, Y.; Abdolkahni, A. and Hedjazi, S., 2013. Effects of Pre-Extraction of Hemicelluloses on the Pulping and Papermaking Properties of Bagasse, Journal of natural resources, 66(2): 225-232.
- Arzani, H., Sadeghi manesh, M. R., Azarnivand, H., Asadian, Gh. And Shahriari,E., 2008. Study of phonological stages effect on nutritive values of twelve species in Hamadan rangelands. Iranian Journal of Range and Desert Research, 15 (1). 42-50.
- Anderson, W. F., Dien, B. S., Brandon, S. K. and Peterson, J. D. 2008. Assessment of Bermuda grass and bunch grasses as feedstock for conversion to ethanol. Journal of Applied biochemistry and biotechnology;145: 13e21.
- Assadi, M., Maassoumi, A. A., Khatamsaz, M. and Mozaffarian, V., 2003. Flora of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran.
- Flowers, T. J. and Colmer, T. D., 2008. Salinity tolerance in halophytes. Journal of New Phytologist,179:945e63.
- Freidooni, M. Amir, B. Gharadaghi, H.and Keshavarz, A., 2012. Quality changes investigating of Prangos ferulaceae in different phenological stages in two site of Fars province. Journal of plant ecophysilogy, 4(11) :87-96.
-Gomez, L. D., Steele-King, C. G. and McQueen-Mason, S. J., 2008. Sustainable liquid biofuels from biomass: the writing's on the walls. Journal of New Phytologist, 178:473e85.
-Ghorbanian, D., Khosroshahi, M. and Zandi Esfahan, E.,

2014. Quality and fluctuations of groundwater level at the humid margin of Damghan Haj Aligholi desert, European Journal of Experimental Biology, 4(3):653-658.

- Ghorbanian, D. and Jafari, M., 2007. Study of soil and plant characteristics interaction in Salsola rigida in desert lands. Iranian Journal of Range and Desert Research, 14 (1). 1-7.

-Hallac, B. B., Sannigrahi, P., Pu, Y., Ray, M., Murphy, R. J. and Ragavskas, A. R., 2009. Biomass characterization of Buddleja davidii: a potential feedstock for biofuel production. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57: 1275e81.

-Hansen, A. C., Zhang, Q. and Lyne, P. W. L., 2005. Ethanol-diesel fuel blends. Bioresource technology, 12:127-134.

- Jafari, A., Connolly, V., Frolich, A. and Walsh, E. I., 2003. A note on estimation of quality parameters in perennial ryegrass by near infrared reflectance spectroscopy, Irish Journal of agricultural and food research, 42:293-299.

-Malka, J. and Freire, F., 2006. Renewability and life cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertary butyl ether: assessing the implications of allocation. Journal of Energy;31:33623380.

-Mirdavoodi, H. R., 2014. Investigation on the feasibility of cultivation, establishment and forage quality of four halophytes in Arak Meyghan playa, Iran. Iranian Journal of Range and Desert Reseach, 21 (2):283-294.

-Karp, A. and Shield, I., 2008. Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. Journal of New Phytologist, 179:15e32.

- Torkan, J. and Arzani, H., 2005. Study of Variation of Forage Quality Of Range Species At Different Phenological Stages And In Different Climatic Zone . Iranian Journal of Natural Resources., 58 (2):459-469.

- Hoseini, Z. A., Ansari, R. and Ajmal Khan, M., 2011. Halophytes: Potential source of ligno-cellulosic biomass for ethanol production. Journal of Biomass and Bioenergy, 35: 1818-1822.

- Zandi Esfahan, E., 2013. Estimation of ethanol production of halophytic species in saline lands of the country. Journal of Agricultural and Natural Resources Engineering, 11(2): 203-215.

Bioethanol production potential of three halophytes: *Suaeda vermiculata, Halocnemum strobilaceum*, and *Seidlitzia rosmarinus*

D. Ghorbanian[1], E. Zandi Esfahan[*2] and F. Bahadori[3]

1- Research Instructor, Forests and Rangelands Research Department, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Semnan, Iran
2*- Corresponding author, Assistant Professor, Range Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran,
Email: zandi@rifr-ac.ir
3-Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Semnan, Iran

Received:04/16/2018 Accepted:07/29/2018

Abstract

The present study was aimed to determine the potential of bioethanol production in three halophytes: *Suaeda vermiculata*, *Halocnemum strobilaceum* and *Seidlitzia rosmarinus*. The plant sampling was performed in three vegetative, flowering and seeding stages to measure the content of cellulose, hemicellulose and lignin. Their biomass production was calculated at the end of annual growth. The results were analyzed in a randomized complete block design with three replications. The results showed that the content of lignin in the *Ha.strobilaceum* was more than cellulose and hemicellulose at seedling stage; therefore, it does not have the potential to produce ethanol. However, in the vegetative and flowering stages, the amount of hemicellulose increased, indicating a little potential for ethanol production.In *Se.rosmarinus*, due to an increase in cellulose and hemicellulose percentage compared to lignin, it has high potential for bioethanol production; however, its biomass production is less than the other two. In *Su.vermiculata*, the percentage of cellulose and hemicellulose is higher than lignin percentage, so it has the greatest potential for bioethanol production. The best harvesting time for bio-ethanol extraction is before flowering stage. Its biomass production is higher than the two other species (1174 kg / h); thus, following some basic principles of agriculture, it could be established on a large scale for massive production. Therefore, *Su.vermiculata* is a suitable species for bioethanol extraction in saline and low-yielding lands. Due to its presence on the margins of farms and rangelands of arid and saline areas such as southern Garmsar and south of Varamin, it is recommended to be introduced to farmers and experts in the field of agriculture and natural resources.

Keywords: Bioethanol, halophytes, arid and semi arid regions, Semnan province