فناوری تولید و کاربرد سوخت بیودیزل

دکتر برات قبادیان

۱۴۰۲

سرشناسه: قبادیان، برات، ۱۳۳۵ –
عنوان و نام پدیدآور: فناوری تولید و کاربرد سوخت بیودیزل/ برات قبادیان.
مشخصات نشر: تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس ، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری: ۶۸۵ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک: ۹۸۷-۶۰۰-۷۵۸۹-۸۱-۶
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: واژه‌نامه.
یادداشت: کتابنامه.
موضوع: سوخت‌های بیودیزل
موضوع: Biodiesel fuels
موضوع: سوخت‌های بیودیزل — نفت، صنعت و تجارت
موضوع: Biodiesel fuels industry
شناسه افزوده: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس
شناسه افزوده: Tarbiat Modares University. TMU Press
رده بندی کنگره: TP۳۵۹/س۹ق۲ ۱۴۰۲
رده بندی دیویی: ۶۶۲/۸۸
شماره کتابشناسی ملی: ۵۶۷۳۲۶۵

فناوری تولید و کاربرد سوخت بیودیزل

نگارنده: دکتر برات قبادیان
ویراستار ادبی و فنی: فاطمه کلانتری خلیل آبادی
طراح جلد: ترنج
صفحه‌آرایی: سمیه زهانی
شماره انتشار: ۲۴۴
شماره پیاپی: ۳۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲
شمارگان: ۲۰۰
شابک چاپی: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۸۱-۶ شابک الکترونیکی: ۹۷۸-۶۲۲-۸۳۷۶-۲۰-۲
ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس
نوبت چاپ: اول
کارشناس اجرایی: مرسده برنجی
ناظر چاپ: مصطفی جانجانی
لیتوگرافی: ایران گرافیک
چاپ و صحافی: قشقایی
مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های جلال آل‌احمد و دکتر چمران، مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۱۸-۱۴۱۱۵
تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹۶
دورنگار: ۸۲۸۸۳۰۳۲
نشانی اینترنتی فروش: pub.modares.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب کتاب برعهدهٔ نگارنده است.

تمام حقوق این اثر برای مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس محفوظ است و تکثیر کتاب به هر روشی بدون اجازه کتبی ناشر پیگرد قانونی دارد.

تقدیم به:

همسرم خانم دکتر پروانه سلحشوری

تقدیر و تشکر

این اثر تحت حمایت مادی بنیاد ملی علم ایران (INSF) برگرفته از طرح به شماره ۹۷۰۲۱۷۷۹ انجام شده است.

همچنین پژوهش‌های انجام‌شده در آزمایشگاه‌های پژوهشکده انرژی‌های تجدیدپذیر وابسته به دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفته است.

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... ف

۱ آشنایی با سوخت بیودیزل ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ بیودیزل- یک سوخت بومی تجدیدپذیر ۵

۱-۲-۱ سوخت بیودیزل ۵

۱-۲-۲ مصرف‌کنندگان بیودیزل ٦

۱-۲-۳ رفتار موتور با سوخت بیودیزل ۷

۱-۲-٤ آثار زیست‌محیطی بیودیزل ۸

۱-۲-۵ توزیع بیودیزل ۹

۱-۲-٦ اقتصاد بیودیزل ۹

۱-۳ مزایا و معایب بیودیزل ۱۱

۱-۳-۱ مزایای بیودیزل ۱۱

۱-۳-۱-۱ مزایای زیست‌محیطی ۱۱

۱-۳-۱-۲ مزایای فنی ۱۲

۱-۳-۱-۳ مزایای اقتصادی و امنیت مَلی ۱۲

۱-۳-۱-٤ مزایای بهداشتی ۱۳

۱-۳-۲ معایب بیودیزل ۱۳

۱-۳-۳ مشکلات فنی بیودیزل ۱۵

۱-٤ حلقهٔ بسته چرخه کربن ۱٦

۱-۵ وضعیت تولید و توسعه بیودیزل ۱۸

۱-۵-۱ تولید بیودیزل در جهان ۱۸
۱-۵-۲ توسعه بیودیزل در جهان ۲۳
۱-۵-۲-۱ توسعه بیودیزل در آمریکا ۲٤
۱-۵-۲-۲ توسعه بیودیزل در کانادا ۲۵
۱-۵-۲-۳ توسعه بیودیزل در برزیل ۲٦
۱-۵-۲-٤ توسعه بیودیزل در آرژانتین ۲۷
۱-۵-۲-۵ توسعه بیودیزل در استرالیا ۲۷
۱-۵-۲-٦ توسعه بیودیزل در هندوستان ۲۸
۱-۵-۲-۷ توسعه بیودیزل در تایلند ۲۸
۱-۵-۲-۸ توسعه بیودیزل در مالزی ۲۹
۱-۵-۲-۹ توسعه بیودیزل در اتحادیه اروپا ۲۹
۱-۵-۳ تولید و توسعه بیودیزل در ایران ۳۰
۱-٦ چالش‌های پیش رو در کاربرد بیودیزل در جهان ۳۵
۱-۷ دورنمای سوخت بیودیزل ۳٦
۲ تاریخچه تولید و کاربرد سوخت بیودیزل در جهان ۳۹
۲-۱ مقدمه ۳۹
۲-۲ توسعه تولید روغن‌های گیاهی در جهان ٤۰
۲-۳ سابقه کاربرد روغن‌های گیاهی در موتور ٤۱
۲-۳-۱ کاربرد روغن گیاهی خالص ٤۱
۲-۳-۲ کاربرد مخلوط سوخت دیزل و روغن گیاهی ۵۳
۲-٤ سابقه فناوری تولید و کاربرد سوخت بیودیزل ۵۹
۲-٤ -۱ سابقه فناوری تولید سوخت بیودیزل ۵۹
۲-٤-۱-۱ رقیق‌سازی ٦۰
۲-٤-۱-۲ میکرو امولسیفیکاسیون ٦۰
۲-٤-۱-۳ پیرولیز ٦۱
۲-٤-۱-٤ ترانس استریفیکاسیون ٦۲
۲-٤-۲ سابقه کاربرد سوخت بیودیزل در جهان ٦۵

۳ تاریخچه تولید و کاربرد سوخت بیودیزل در ایران ۸۳
۳-۱ مقدمه ۸۳
۳-۲ فعالیت‌های مدون در دهه ۱۳۸۰ میلادی ۸٤
۳-۳ تولید سوخت بیودیزل ۸٦
۳-۳-۱ اصول فراوری روغن‌های گیاهی ۸٦
۳-۳-۲ تولید سوخت بیودیزل ۸۷
۳-٤ طراحی و توسعه دستگاه‌های فراوری بیودیزل ۹۳
۳-٤-۱ طراحی و ساخت دستگاه BDI-80 ۹۳
۳-٤-۲ طراحی و ساخت دستگاه بیودیزل آزمایشگاهی چند منظوره ۹۸
۳-٤-۳ طراحی و ساخت دستگاه بیودیزل نیمه پیوسته ۹۹
۳-٤-٤ طراحی دستگاه‌های بیودیزل پیوسته و ناپیوسته ۱۰۲
۳-٤-۵ خالص‌سازی بیودیزل به روش خشک‌شویی ۱۰٦
۳-٤-٦ تولید بیودیزل با استفاده از فناوری فراصوت ۱۱۲
۳-٤-٦-۱ مزیت فناوری فراصوت ۱۱۲
۳-٤-٦-۲ بهینه‌سازی برخی از پارامترهای مؤثر در تولید بیودیزل به کمک توان فراصوت ۱۱۲
۳-٤-٦-۳ بررسی دما و توان فراصوت بر بازده واکنش ۱۱٤
۳-٤-٦-٤ تأثیر اندازه راکتور فراصوتی بر راندمان واکنش ۱۱٦
۳-۵ فناوری بازیافت متانول در فرایند تولید بیودیزل ۱۱۹
۳-۵-۱ معرفی فناوری بازیافت متانول ۱۱۹
۳-۵-۲ بررسی تأثیر دمای حمام در فرایند بازیافت متانول ۱۲۱
۳-۵-۳ بررسی تأثیر فشار تقطیر در فرایند جداسازی متانول ۱۲۱
۳-۵-٤ بررسی تأثیر دمای کندانسور در فرایند جداسازی متانول ۱۲۳
۳-٦ تولید پیوسته سوخت بیودیزل به کمک تابش ریزموج ۱۲۳
۳-۷ کاربرد بیودیزل ۱۲٦
٤ فناوری روغن‌کشی دانه‌های روغنی ۱۳۳
٤-۱ تاریخچه روغن‌کشی ۱۳۳
٤-۲ انواع روش‌های موجود روغن‌کشی ۱۳۷

٤-٢-١ پرس کردن یا فشردن ١٣٨
٤-٢-٢ پرس غیرمداوم ١٤٠
٤-٢-٣ پرس مداوم ١٤١
٤-٢-٤ استخراج روغن با استفاده از حلال ١٤٦
٤-٢-٥ بازیابی حلال از تفاله روغن‌کشی ١٤٨
٤-٣ اهمیت اقتصادی روغن در جهان و ایران ١٥٠
٤-٣-١ اهمیت اقتصادی روغن در جهان ١٥٠
٤-٣-٢ اهمیت اقتصادی روغن در ایران ١٥٠
٤-٤ تولید دانه‌های روغنی در جهان و ایران ١٥١
٤-٤-١ تولید دانه‌های روغنی در جهان ١٥١
٤-٤-٢ تولید دانه‌های روغنی در ایران ١٥٢
٤-٥ دانه روغنی کرچک ١٥٤
٤-٥-١ تاریخچه پیدایش ١٥٤
٤-٥-٢ میزان تولید و مصرف کرچک در جهان ١٥٥
٤-٥-٣ گیاه‌شناسی کرچک ١٥٧
٤-٥-٤ ترکیبات روغن کرچک ١٥٨
٤-٥-٥ کنجاله کرچک ١٥٨
٤-٥-٦ موارد استفاده روغن کرچک در صنعت ١٥٨
٤-٦ دستگاه‌های روغن‌کشی ١٥٩
٤-٧ وضعیت کارخانه‌های روغن کشی در ایران ١٦٠
٤-٧-١ تاریخچه ١٦٠
٤-٧-٢ پراکنش ١٦٢
٤-٧-٣ وضعیت کارخانه‌های روغن‌کشی در ایران ١٦٣
٤-٧-٤ طراحی و ساخت دستگاه روغن‌کشی در ایران ١٦٤
٤-٧-٤-١ طراحی مارپیچ دستگاه روغن‌کشی ١٦٦
٤-٧-٤-٢ طراحی پوسته ١٧١
٤-٧-٤-٣ محاسبات توان موتور ١٧١

٤-٧-٤-٤ ساخت دستگاه روغن‌کشی ۱۷۲

۵ فناوری تولید سوخت بیودیزل ۱۷۵

۵-۱ اساس کار تولید بیودیزل ۱۷۵

۵-۲ روش‌های تولید بیودیزل ۱۷۸

۵-۲-۱ روش تولید پیرولیزیز ۱۸۰

۵-۲-۲ روش تولید میکروامولسیون ۱۸۰

۵-۲-۳ روش تولید ترانس استریفیکاسیون ۱۸۱

۵-۲-۳-۱ آماده‌سازی روغن تازه و پسماند ۱۸۳

۵-۲-۳-۲ مخلوط کردن الکل و کاتالیزور ۱۸٤

۵-۲-۳-۳ فرایند واکنش ۱۸٦

۵-۲-۳-٤ تیتراسیون ۱۸۸

۵-۲-۳-۵ بازیافت متانول اضافی ۱۸۹

۵-۲-۳-٦ جداسازی گلیسیرین ۱۹۰

۵-۲-۳-۷ آبشویی بیودیزل ۱۹۰

۵-۲-٤ فراوری فراصوتی بیودیزل ۱۹٤

۵-۲-٤-۱ هزینه‌های اولتراسونیکاسیون ۱۹٦

۵-۲-٤-۲ تجهیزات اولتراسونیکاسیون ۱۹۷

۵-۲-٤-۳ روش فرایند ۱۹۸

۵-۲-٤-٤ سامانه تولید بیودیزل برپایه فناوری فراصوت ۱۹۸

۵-۳ تعیین ویژگی‌های سوخت بیودیزل ۲۰۰

۵-۳-۱ استاندارد روش‌های آزمون ویژگی‌های سوخت بیودیزل ۲۰۰

۵-۳-۲ ویژگی‌های سوخت بیودیزل ۲۰۰

۵-۳-۲-۱ وزن مخصوص سوخت ۲۰۰

۵-۳-۲-۲ گرانروی سینماتیکی ۲۰۰

۵-۳-۲-۳ نقطه اشتعال و احتراق ۲۰۲

۵-۳-۲-٤ آزمون تعیین نقطه ریزش روغن ۲۰۳

۵-۳-۲-۵ آزمون تعیین میزان کف در سوخت ۲۰٤

۵-۳-۲-۶ آزمون تعیین میزان خاکستر سولفاته..... ۲۰۴
۵-۳-۲-۷ آزمون تعیین میزان خورندگی مس..... ۲۰۵
۵-۳-۲-۸ آزمون تعیین رنگ..... ۲۰۶
۵-۴ فناوری های تولید بیودیزل به روش ترانس استریفیکاسیون- از نقطه نظر نوع فرایند ۲۰۷
۵-۴-۱ تولید بیودیزل در فرایند ناپیوسته ۲۰۸
۵-۴-۲ تولید بیودیزل در فرایند نیمه پیوسته..... ۲۱۱
۵-۴-۳ تولید بیودیزل در فرایند پیوسته ۲۱۱
۵-۴-۳-۱ راکتورهای مرسوم مخزن همزن‌دار ۲۱۱
۵-۴-۳-۲ فناوری‌های شدت‌بخشی تولید پیوسته بیودیزل ۲۱۳
الف- راکتور همزن استاتیکی ۲۱۶
ب- میکرو راکتورها..... ۲۱۸
پ- راکتورهای جریان نوسانی ۲۱۹
ت- راکتورهای با سازوکار امواج مایکروویو..... ۲۲۳
ث- راکتورهای غشایی ۲۲۴
ج- راکتورهای تقطیر واکنشی..... ۲۲۵
چ- راکتورهای با سازوکار کانتکتورهای سانتریفیوژی..... ۲۲۷
ح- راکتورهای با سازوکار حفره‌زایی..... ۲۲۹
خ- راکتورهای برشی ۲۳۴
۱- راکتور دیسک چرخان..... ۲۳۵
۶ فرایند تولید انبوه سوخت بیودیزل..... ۲۳۹
۶-۱ مقدمه ۲۳۹
۶-۲ مواد اولیه..... ۲۳۹
۶-۲-۱ مواد نسل اول ۲۳۹
۶-۲-۲ مواد نسل دوم..... ۲۴۰
۶-۳ مواد شرکت‌کننده در واکنش شیمیایی ۲۴۱
۶-۳-۱ روغن‌ها و چربی‌ها..... ۲۴۱
۶-۳-۲ الکل..... ۲۴۳

٦-٣-٣ کاتالیزورها و خنثاکننده‌ها ٢٤٤
٦-٣-٤ انتخاب کاتالیزور ٢٤٦
٦-٤ سامانه‌های فرایند تولید بیودیزل ٢٤٨
٦-٤-١ سامانه فراوری ناپیوسته ٢٤٨
٦-٤-٢ سامانه‌های فراوری پیوسته ٢٥٠
٦-٤-٣ سامانه‌های اسید چرب زیاد ٢٥٢
٦-٤-٤ سامانه‌های غیرکاتالیزوری ٢٥٥
٦-٤-٤-١ سامانه فرایند بیوکس ٢٥٥
٦-٤-٤-٢ سامانه فرآیند فوق بحرانی ٢٥٦
٦-٥ تجهیزات کارخانهٔ تولید بیودیزل ٢٥٧
٦-٥-١ راکتورها ٢٥٨
٦-٥-٢ پمپ‌ها ٢٦٠
٦-٥-٣ سانتریفیوژها ٢٦٢
٦-٥-٤ ستون تقطیر ٢٦٣
٦-٦ سامانه‌های کنترلی کارخانه بیودیزل ٢٦٥
٦-٦-١ کنترل ویژگی‌های مواد اولیه ٢٦٥
٦-٦-٢ کنترل سامانه‌های شیمیایی ٢٧٠
٦-٦-٢-١ اندازه‌گیری دما ٢٧١
٦-٦-٢-٢ اندازه‌گیری فشار ٢٧٣
٦-٦-٢-٣ اندازه‌گیری سطوح متغیرها ٢٧٤
٦-٦-٢-٤ اندازه‌گیری نرخ جریان ٢٧٥

٧ تجهیزات اندازه‌گیری ویژگی‌های سوخت بیودیزل ٢٧٩
٧-١ مقدمه ٢٧٩
٧-٢ چگالی ویژه ٢٧٩
٧-٣ گرانروی سینماتیک ٢٨١
٧-٤ نقطه اشتعال ٢٨٣
٧-٥ دمای تقطیر ٢٨٥

۷-۶ عدد ستان ۲۸۸
۷-۷ شاخص ستان ۲۹۱
۷-۸ نقطهٔ ابری شدن ۲۹٤
۷-۹ نقطه ریزش ۲۹۵
۷-۱۰ نوار خوردگی مس ۲۹٦
۷-۱۱ اندازه‌گیری پایداری سوخت ۲۹۷
۷-۱۲ اندازه‌گیری روانکاری ۲۹۸
۷-۱۳ اندزه‌گیری صابون و کاتالیست ۳۰۲
۸ استاندارد کیفیت سوخت بیودیزل ۳۰۷
۸-۱ مقدمه ۳۰۷
۸-۲ لزوم تدوین استاندارد کیفیت سوخت ۳۰۷
۸-۳ منشأ، تنوع، خصوصیات و مصرف سوخت‌ها ۳۱۰
۸-٤ راهبردهای کیفیت سوخت ۳۱۱
۸-۵ اصول کلی سیاست‌گذاری استاندارد سوخت ۳۱۵
۸-٦ پارامترهای دخیل در مطالعات کیفیت سوخت دیزل ۳۱۷
۸-۷ استانداردهای بین‌المللی سوخت گازوئیل ۳۱۷
۸-۸ فناوری موتور، کیفیت سوخت و آلایندگی ۳۱۹
۸-۹ راهبرد استانداردهای کیفیت سوخت گازوئیل در ایران ۳۲۳
۸-۱۰ اهمیت و چشم‌انداز سوخت‌های بیوفیول ۳۲۷
۸-۱۱ گسترش استانداردهای سوخت بیودیزل ۳۲۸
۸-۱۱-۱ منشور جهانی سوخت بیودیزل ۳۲۸
۸-۱۱-۲ استانداردهای بیودیزل در کشورهای مختلف جهان ۳۲۹
۸-۱۱-۲-۱ استاندارد کمیسیون اروپایی (CEN) ۳۳۰
۸-۱۱-۲-۲ استاندارد ایالات متحده امریکا (ASTM) ۳۳۱
۸-۱۱-۲-۳ استاندارد بیودیزل استرالیا ۳۳٤
۸-۱۱-۲-٤ استاندارد بیودیزل کانادا ۳۳٤
۸-۱۱-۲-۵ استاندارد بیودیزل برزیل ۳۳٤

۸-۱۱-۲-٦ استاندارد بیودیزل کشورهای آرژانتین، ژاپن و کره..... ۳۳٦
۸-۱۲ پیشنهاد استاندارد سوخت بیودیزل برای ایران..... ۳۳۷
۹ کاربرد سوخت بیودیزل موتورهای درونسوز در ایران..... ۳٤۱
۹-۱ مقدمه..... ۳٤۱
۹-۲ تجهیزات مورد نیاز برای آزمون موتور..... ۳٤۲
۹-۲-۱ تجهیزات ثابت آزمون موتور..... ۳٤۲
۹-۲-۱-۱ اتاقک آزمون موتور..... ۳٤۲
۹-۲-۱- ۲ اتاقک کنترل آزمون موتور..... ۳٤۳
۹-۲-۲ تجهیزات سیار آزمایش موتور..... ۳٤٦
۹-۳ مشخصات موتورها و سوخت‌های تحت آزمایش..... ۳۵۲
۹-۳-۱ مشخصات موتورهای تحت آزمایش..... ۳۵۲
۹-۳-۱-۱ مشخصات موتور گازوئیل‌سوز روجرینی (ورزا)..... ۳۵۲
۹-۳-۱-۲ مشخصات موتور گازوئیل‌سوز پرکینز A63544..... ۳۵۲
۹-۳-۱-۳ مشخصات موتور گازوئیل‌سوز OM 314..... ۳۵۳
۹-۳-۱-٤ مشخصات موتور XU7JP/L3..... ۳۵٤
۹-٤ ویژگی‌های سوخت‌های تحت آزمایش..... ۳۵٤
۹-۵ روش اندازه‌گیری مشخصات عملکردی موتور..... ۳۵۵
۹-۵-۱ اندازه‌گیری گشتاور..... ۳۵۵
۹-۵-۲ اندازه گیری توان ترمزی..... ۳۵۵
۹-۵-۳ اندازه‌گیری آهنگ مصرف سوخت..... ۳۵٦
۹-۵-٤ مخلوط‌های سوخت گازوئیل- بیودیزل از روغن پسماند..... ۳٦۱
۹-۵-۵ توان موتور..... ۳٦۱
۹-۵-٦ گشتاور موتور..... ۳٦٤
۹-۵-۷ آلاینده‌های اگزوز موتور..... ۳٦٦
۹-٦ سایر پارامترهای مورد مطالعه..... ۳۷۱
۹-۷ بررسی عملکرد و آلایندگی موتور MF 399 با مخلوط‌های دیزل- بیودیزل..... ۳۷٦
۹-۷-۱ تهیه سوخت و روش اندازه‌گیری پارامترها..... ۳۷٦

۹-۷-۲ ارزیابی عملکرد تراکتور MF 399 ..... ۳۷۸
۹-۷-۳ ارزیابی آلاینده‌های موتور تراکتور MF 399 ..... ۳۸۲
۱۰ فناوری کاربرد سوخت‌های پیشرفته در ایران ۳۸۷
۱۰-۱ مقدمه ۳۸۷
۱۰-۲ سوخت‌های بخش حمل و نقل ۳۸۸
۱۰-۳ کاربرد سوخت‌های پیشرفته ابداعی در دانشگاه تربیت مدرس ۳۹۰
۱۰-۳-۱ کاربرد سوخت دیسترول ۳۹۲
۱۰-۳-۱-۱ معرفی سوخت دیسترول ۳۹۲
۱۰-۳-۱-۲ توان و گشتاور موتور با سوخت دیسترول ۳۹۳
۱۰-۳-۱-۳ مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت با سوخت دیسترول ٤۰۰
۱۰-۳-۱-٤ آلاینده‌های اگزوز با استفاده از سوخت دیسترول ٤۰٤
۱۰-۳-۱-۵ دمای گازهای خروجی اگزوز با استفاده از سوخت دیسترول ٤۰۹
۱۰-۳-۲ کاربرد سوخت دیزول ٤۱۱
۱۰-۳-۲-۱ معرفی سوخت دیزول ٤۱۱
۱۰-۳-۲-۲ توان و گشتاور با سوخت دیزول ٤۱۲
۱۰-۳-۲-۳ مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت با سوخت دیزول ٤۱۵
۱۰-۳-۲-٤ آلاینده‌های اگزوز موتور با سوخت دیزول ٤۱۹
۱۰-۳-۳ کاربرد سوخت دی- سریز در یک موتور گازوئیل‌سوز ٤۲۵
۱۰-۳-۳-۱ معرفی و روش تهیه سوخت دی-سریز ٤۲۵
۱۰-۳-۳-۲ عملکرد موتور تراکتور MF-399 با سوخت‌های دی- سریز ٤۲۹
۱۰-۳-۳-۳ آلاینده‌های اگزوز موتور با سوخت دی-سریز ٤۳۲
۱۰-۳-۳-٤ ارتعاش در حوزه زمان ٤۳٦
۱۰-۳-٤ کاربرد سوخت جی- سریز در موتور اشتعال جرقه‌ای ٤۳۸
۱۰-۳-٤-۱ معرفی و روش تهیه سوخت جی- سریز ٤۳۸
۱۰-۳-٤-۲ کاربرد سوخت جی-سریز ٤٤۱
۱۰-۳-۵ کاربرد سوخت بیو- نانو ٤٤۹
۱۰-۳-۵-۱ آماده‌سازی سوخت و اندازه‌گیری داده‌ها ٤٤۹

۱۰-۳-۵-۲ توان و گشتاور با سوخت بیو- نانو ٤٥٠
۱۰-۳-۵-۳ مصرف سوخت و مصرف ویژه سوخت با سوخت بیو- نانو ٤٥٤
۱۰-۳-۵-٤ آلاینده‌های اگزوز ٤٥٩
۱۱ مواد اولیه تولید سوخت بیودیزل در ایران ٤٧١
۱۱-۱ مقدمه ٤٧١
۱۱-۲ بیوماس به عنوان ماده اولیه تولید بیودیزل ٤٧٢
۱۱-۳ نسل‌های محصولات بیوماس برای تولید بیودیزل ٤٧٥
۱۱-٤ تولید بیودیزل در جهان ٤٧٨
۱۱-٤-۱ محصولات متداول در جهان برای تولید بیودیزل ٤٧٨
۱۱-٤-۲ روند کلی تولید سوخت بیودیزل جهان ٤٨٢
۱۱-٤-۳ تولید منطقه‌ای بیودیزل در جهان و چشم‌انداز آینده ٤٨٤
۱۱-٤-٤ چشم‌انداز مواد اولیه سوخت بیودیزل در جهان ٤٨٧
۱۱-۵ تولید سوخت بیودیزل در ایران ٤٩٠
۱۱-۵-۱ مواد اولیه تولید سوخت بیودیزل در ایران ٤٩٠
۱۱-۵-۲ روغن خوراکی گیاهی ٤٩٠
۱۱-۵-۳ روغن‌های ضایعاتی و چربی‌های قابل تولید به بیودیزل ٤٩١
۱۱-۵-٤ گیاهان روغنی ٤٩٣
۱۱-۵-٤-۱ گیاهان روغنی کشت‌وکار شده در ایران ٤٩٣
۱۱-۵-٤-۲ گیاهان روغنی شناخته شده در ایران ٤٩٣
۱۱-۵-۵ گیاهان بومی روغنی ایران ٤٩٣
۱۱-۵-٦ انتخاب گیاهان روغنی غیرخوراکی برای تولید بیودیزل در ایران ٤٩٧
۱۱-۵-۷ قیمت سر به سر تولید بیودیزل ٤٩٩
۱۱-۵-۷-۱ تولید بیودیزل از روغن‌های پسماند خوراکی ٤٩٩
۱۱-۵-۷-۲ تولید بیودیزل از روغن‌های تازه غیرخوراکی ۵۰۰
۱۱-۵-۸ موانع و چالش‌های تولید سوخت بیودیزل در ایران ۵۰۰
۱۱-۵-۸-۱ چالش‌های آگرونومیک ۵۰۱
۱۱-۵-۸-۲ چالش‌های فناوریک ۵۰۲

۱۱–۵–۸–۳ موانع حقوقی و قانونی ۵۰۲
۱۱–۵–۸–٤ موانع مالی و اعتباری ۵۰۳
۱۱–۵–۸–۵ موانع برنامه‌ریزی و مدیریت ۵۰۳
۱۱–۵–۸–٦ موانع سیاست‌گذاری ۵۰٤
۱۱–۵–۹ پژوهش‌های مرتبط ۵۰۵
۱۱–۵–۱۰ اقدام‌های لازم برای توسعه سوخت بیودیزل در ایران ۵۱۰
۱۲ روش‌های جمع‌آوری و مدیریت روغن‌های پسماند ۵۱۳
۱۲–۱ مقدمه ۵۱۳
۱۲–۲ اهمیت روغن پسماند به عنوان مواد اولیه در اقتصاد بیودیزل ۵۱٤
۱۲–۳ دسته‌بندی روغن‌های پسماند و ضایعاتی در ایران ۵۱۷
۱۲–٤ روغن پسماند به عنوان ماده اولیه تولید بیودیزل در ایران ۵۱۸
۱۲–۵ کاربردهای روغن‌های پسماند و ضایعاتی در ایران ۵۱۹
۱۲–٦ انواع ضایعات و پسماندها به عنوان ماده اولیه تولید بیودیزل ۵۲۰
۱۲–٦–۱ ضایعات جامد ۵۲۰
۱۲–٦–۲ ضایعات مایع ۵۲۰
۱۲–٦–۲–۱ گریس‌های زرد ۵۲۱
۱۲–٦–۲–۲ گریس‌های قهوه‌ای ۵۲۲
۱۲–۷ چربی‌گیرها و جداسازهای روغن‌های پسماند ۵۲۳
۱۲–۷–۱ جمع‌آوری در محل ۵۲۳
۱۲–۷–۲ جمع‌آوری از راه چربی‌گیرها ۵۲٤
۱۲–۷–۲–۱ چربی‌گیرهای منازل ۵۲۵
۱۲–۷–۲–۲ چربی‌گیر آشپزخانه‌های صنعتی ۵۲۷
۱۲–۸ جداسازی گریس‌های قهوه ای (سیفونی) ۵۲۹
۱۲–۸–۱ جداسازی در مبدأ ۵۲۹
۱۲–۸–۲ جداسازی در انتها ۵۳۰
۱۲–۹ مدیریت جمع‌آوری و انتقال روغن‌های پسماند ۵۳۲
۱۲–۹–۱ برنامه روند جمع‌آوری روغن‌های پسماند ۵۳۲

۱۲–۹–۲ مدیریت اجرایی جمع آوری روغن‌های پسماند ٥٣٤
۱۲–۹–۳ حمل و نقل و ذخیره‌سازی ٥٣٧
۱۲–۹–٤ خدمات و سامانه‌های جمع‌آوری پسماندها ٥٣٩
۱۲–۹–٤–۱ خدمات جمع‌آوری ٥٤٠
۱۲–۹–٤–۲ سامانه‌های جمع‌آوری ٥٤١
الف– سامانه‌های کانتینری متحرک ٥٤١
ب– سامانه کانتینرهای ثابت ٥٤٣
۱۲–۹–٥ تحلیل سامانه‌های جمع‌آوری پسماندها ٥٤٣
۱۲–۹–٥–۱ روند جمع‌آوری و تقسیم فعالیت‌ها ٥٤٣
الف– زمان بلند کردن یا برداشتن (P) ٥٤٥
ب– زمان بردن (H) ٥٤٥
ج– زمان در محل (S) ٥٤٥
د– زمان خارج از مسیر (W) ٥٤٥
۱۲–۹–٥–۲ تحلیل سامانه‌های کانتینر متحرک ٥٤٦
۱۲–۹–٥–۳ سامانه کانتینر ثابت (H_{scs}) ٥٤٩
۱۲–۹–٥–٤ سامانه‌های کانتینر ثابت (پرشونده دستی) ٥٥١
۱۲–۱۰ مسیرها و نقشه‌های جمع‌آوری ٥٥٢
۱۲–۱۰–۱ مسیرهای جمع‌آوری ٥٥٢
۱۲–۱۰–۲ نقشه مسیرهای جمع‌آوری ٥٥٣
۱۲–۱۱ مشخصات حمل و نقل و ایستگاه‌های تخلیه ٥٥٥
۱۲–۱۱–۱ جدول‌های زمان‌بندی شده ٥٥٥
۱۲–۱۱–۲ انتقال و حمل و نقل ٥٥٥
۱۲–۱۱–۳ طراحی ایستگاه‌های انتقال ٥٥٥
۱۲–۱۱–۳–۱ نوع عملیات انتقال ٥٥٦
الف– ایستگاه‌های تخلیه مستقیم ٥٥٦
ب– ایستگاه‌های تخلیه ذخیره ٥٥٦
ج– ایستگاه‌هایی با تلفیق تخلیه مستقیم و تخلیه ذخیره ٥٥٦

۱۲-۱۱-۳-۲ ظرفیت ایستگاه‌های انتقال ۵۵۷
۱۲-۱۱-۳-۳ نیازهای زیست‌محیطی ۵۵۷
۱۲-۱۱-۳-٤ موقعیت ایستگاه‌های انتقال ۵۵۷
۱۲-۱۲ نمونه‌هایی از تجارب جهانی جمع‌آوری روغن‌های پسماند ۵۵۸
۱۲-۱۲-۱ کشور امریکا ۵۵۸
۱۲-۱۲-۲ کشور انگلستان ۵۵۹
۱۲-۱۳ عملیات پیش فراوری روغن‌های پسماند ۵٦۱
۱۳ حمل و نقل و ذخیره‌سازی سوخت بیودیزل ۵٦۵
۱۳-۱ مقدمه ۵٦۵
۱۳-۲ مشکلات حمل و نقل، ذخیره‌سازی و توزیع بیودیزل ۵٦٦
۱۳-۲-۱ اکسیداسیون سوخت بیودیزل ۵٦٦
۱۳-۲-۲ تماس با آب ۵٦۷
۱۳-۲-۳ انجماد سوخت بیودیزل ۵٦۸
۱۳-۲-٤ تنزل کیفیت سایر مواد به‌وسیله بیودیزل ۵۷۰
۱۳-۲-۵ چالش‌های مربوط به جنس مخازن نگهداری بیودیزل ۵۷۰
۱۳-۳ حمل و نقل و ذخیره‌سازی سوخت بیودیزل خالص ۵۷۱
۱۳-۳-۱ جایگاه حمل و نقل در صنعت سوخت بیودیزل ۵۷۱
۱۳-۳-۲ پایداری سوخت بیودیزل ۵۷۵
۱۳-۳-۳ آلودگی میکروبی سوخت بیودیزل ۵۸۰
۱۳-٤ اثر تمیزکاری ۵۸۱
۱۳-٤-۱ سازگاری مواد ۵۸۲
۱۳-٤-۲ مخازن ذخیره و تجهیزات توزیع ۵۸٤
۱۳-٤-۳ حمل و نقل سوخت بیودیزل ۵۸۵
۱۳-۵ اختلاط و توزیع سوخت بیودیزل ۵۸۷
۱۳-۵-۱ سوخت بیودیزل خالص (B100) ۵۸۷
۱۳-۵-۲ روش‌های اختلاط سوخت گازوئیل نفتی و بیودیزل ۵۸۸
۱۳-۵-۲-۱ روش اختلاط پخشی ۵۸۹

۱۳–۵–۲–۲ روش اختلاط درونمخزن ۵۹۱
۱۳–۵–۲–۳ روش اختلاط در خط ۵۹۲
۱۳–۵–۲–٤ روش اختلاط در پایانه ۵۹٤
۱۳–۵–۲–۵ روش اختلاط در محل توزیع ۵۹٤
منابع ۵۹۷
واژه‌نامه ٦٤۷
نمایه ٦۵۳

پیشگفتار

تأمین تقاضای انرژی جامعه بشری در حال رشد، اولین چالش بزرگ جهانی در پنجاه سال آینده است، زیرا تولید محصولات غذایی و مهیا کردن آب شیرین نوشیدنی برای انسان از آب‌های شور نیز نیازمند مصرف انرژی است. یکی از هدف‌های مهم در تغذیه انسان حصول اطمینان از کافی بودن انرژی موجود در مواد غذایی برای پاسخگویی به نیاز بدن است. بدن برای حفظ درجه حرارت، فعالیت سوخت‌وساز، رشد و انجام کار فیزیکی به انرژی نیاز دارد. بنابراین انرژی که منابع آن با استفاده از نیروهای طبیعت و یا ترکیب مواد آلی مرده به دست می‌آید، برای برآوردن نیازهای اساسی انسان، گسترش امید به زندگی و ارائه یک استاندارد قابل قبول زندگی ضروری است. در طول تاریخ، مصرف انرژی اولیه انسان بیش از یکصد برابر افزایش پیدا کرده است. در کشورهای صنعتی جهان، هر نفر در سال بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ گیگاژول انرژی مصرف می‌کند و مصرف آن نیز رو به افزایش است. همراه با افزایش مصرف انرژی، این امکان برای جهان وجود داشته است که جمعیت رو به افزایش را حفظ کند. در اینجا پیش‌بینی می‌شود که افزایش جمعیت جهان با رشد سریع ادامه پیدا کرده و از ۷/٤ میلیارد نفر در سال ۱۳۹۵ هجری شمسی (۲۰۱٦ میلادی)، به حدود ۸ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۵ و شاید به بیش از ۱۰ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ برسد. بیشترین رشد جمعیت در کشورهای در حال توسعه است که بیش از سه چهارم مردم جهان در آنجا زندگی می‌کنند. چنین افزایش جمعیتی، تأثیر زیادی بر تقاضای انرژی خواهد داشت و حتی اگر مصرف انرژی کشورهای توسعه یافته با اتخاذ سیاست‌های مؤثرتر حفاظت از انرژی در این دوره افزایش پیدا نکند، حداقل تا سال ۲۰۵۰ آن را به دو برابر خواهد رساند. تاکنون بخش عمده‌ای از نیازهای انرژی در جهان به‌وسیله سوخت‌های فسیلی تأمین شده است. سوخت‌های فسیلی هیدروکربن‌ها هستند و در درجه اول به ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی گفته می‌شود که از بقایای گیاهان و جانوران مرده تشکیل شده‌اند. از سال ۱۹۰۰ میلادی، مصرف

ص فناوری تولید و کاربرد سوخت بیودیزل

سوخت‌های فسیلی در جهان به‌طور تقریبی هر ۲۰ سال، دو برابر شده است. گرچه کاربرد سوخت‌های فسیلی، توسعه صنعتی در مقیاس بزرگ را ممکن ساخته است، اما سوزاندن سوخت‌های فسیلی به‌وسیله انسان، بزرگ‌ترین منبع انتشار دی‌اکسید کربن است. دی‌اکسید کربن یکی از گازهای گلخانه‌ای است که به گرم شدن کره زمین کمک می‌کند. علاوه بر آن، سوخت‌های فسیلی آلاینده و تجدیدناپذیر بوده و در نهایت ذخایر آنها زمانی تمام خواهد شد. از این رو منابع انرژی ناپایدار محسوب می‌شوند. این ویژگی‌ها باعث شده است تا دانشمندان به دنبال یافتن منابع پایدار انرژی باشند.

منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، آب، زمین‌گرمایی و بیوماس، منابع انرژی پاک و دوست‌دار طبیعت بوده و منابع انرژی پایدار محسوب می‌شوند. سوخت‌های بیوفیول مانند بیوگاز، بیواتانول و بیودیزل از منابع بیوماس به دست می‌آیند و سوخت‌های سبز نیز معرفی می‌شوند. سوخت‌های بیوفیول از دی‌اکسید کربن موجود در محیط به دست آمده است و از این رو مقدار خالص دی‌اکسید کربن در اتمسفر را مانند سوخت‌های فسیلی افزایش نمی‌دهند. یکی از این سوخت‌های بیوفیول، بیودیزل است که در کتاب حاضر، فناوری تولید و کاربرد آن به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. با اطمینان می‌توان گفت که کتاب حاضر حاصل عمر و نتیجه پژوهش‌های مؤلف (مؤسس آزمایشگاه‌های بیوفیول و بنیانگذار پژوهشکده انرژی‌های تجدیدپذیر دانشگاه تربیت مدرس) می‌باشد. در فصل اول کتاب آشنایی با سوخت بیودیزل مورد بحث قرار گرفته و در فصل دوم به تاریخچه تولید و کاربرد سوخت بیودیزل در جهان پرداخته شده است. فصل سوم کتاب به تاریخچه تولید و کاربرد سوخت بیودیزل در ایران اختصاص پیدا کرده است. فصل چهارم کتاب فناوری روغن‌کشی از دانه‌های روغنی و فصل پنجم آن فناوری تولید بیودیزل را در بر می‌گیرد. در فصل ششم به فرایند تولید انبوه بیودیزل پرداخته شده است. در فصل هفتم کتاب تجهیزات اندازه‌گیری ویژگی‌های سوخت بیودیزل و در فصل هشتم آن استانداردهای موجود و معتبر جهانی کیفیت سوخت بیودیزل تولیدی دنبال شده است. فصل‌های نهم و دهم کتاب به‌ترتیب فناوری کاربرد سوخت بیودیزل در موتورهای درونسوز و تکنولوژی کاربرد سوخت‌های پیشرفته در ایران است که حاصل نتایج پژوهش‌های نگارنده در ۲۰ سال گذشته است. در فصل یازدهم مواد اولیه تولید بیودیزل در ایران و در فصل دوازدهم روش‌های جمع‌آوری و مدیریت روغن‌های پسماند به منظور تولید بیودیزل پوشش داده شده است. در فصل سیزدهم، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی سوخت بیودیزل تدوین شده است که برای کاربران، علم و آگاهی امکان ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل اطمینان‌بخش بیودیزل را فراهم می‌کند.

به‌طور کلی در تدوین این کتاب چند هدف دنبال شده است. نخستین هدف این است که در استانداردسازی تولید گازوئیل براساس استاندارد یورو ۵، میزان سولفور (گوگرد) آن به زیر ۱۵ میلی‌گرم در یک کیلوگرم برسد که در این صورت سوخت ویژگی روانکاری خود را از دست می‌دهد. از این رو به یک افزودنی نیاز دارد که تاکنون بیودیزل مناسب‌ترین افزودنیِ جایگزین برای این منظور تشخیص داده شده است. دوم با ایجاد معضلات زیست‌محیطی به دلیل استفاده روزافزون از سوخت‌های فسیلی آلاینده، پرداختن به تولید و کاربرد بیودیزل در دنیا و نیز ایران دیگر یک انتخاب نیست بلکه یک اجبار است. سوم اینکه در دو دهه اخیر در دنیا و در دهه اخیر در ایران، انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت عام و سوخت‌های بیوفیول مانند بیودیزل به صورت خاص بسیار مورد توجه قرار گرفته و رشته مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر در تمام مقاطع تحصیلی دانشگاهی دایر شده است. بنابراین خلأ یک کتاب مرجع درسی به‌ویژه برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی به‌شدت احساس می‌شد که بدون شک تصنیف این کتاب پاسخی به این نیاز است. چهارم، پیش از این منبع علمی معتبری در این حوزه به منظور کاربردی کردن فناوری تولید و کاربرد بیودیزل با لحاظ شرایط بومی ایران در دسترس پژوهشگران و فناوران کشور نبوده است که به نظر می‌رسد کتاب حاضر علاوه بر پژوهشگران، نیاز مهندسان و کاردان‌های فنی مربوط را نیز برآورده می‌کند. پنجم تجاری‌سازی تولید و کاربرد بیودیزل به صورت علمی و منطقی نیازمند در دسترس بودن منبع و مرجعی علمی و فنی مورد نیاز علاقه‌مندان است که این کتاب در این مورد کمک شایانی خواهد کرد. در پایان برخود لازم می‌دانم از دانشجویان عزیزم که از مطالب مرتبط با پایان‌نامه‌ها، رساله‌ها و نیز مقالات مشترک آنان در نوشتن کتاب بهره‌گیری شده است، به‌ویژه از آقایان دکتر محمد صفی‌الدین اردبیلی و دکتر مسعود دهقانی صوفی که در تنظیم متن و شکل‌ها بسیار به اینجانب کمک کرده‌اند، سپاسگزاری کنم. همچنین علی‌رغم تلاشی که برای نوشتن کتاب با حداقل اشکال‌ها به عمل آمد، اما ممکن است نارسایی‌ها و کاستی‌های شکلی و محتوایی وجود داشته باشد که از فرهیختگان گرانقدر تقاضامندم اینجانب را مساعدت کنند تا در چاپ‌های بعدی، اصلاحات لازم لحاظ شود.

برات قبادیان

استاد مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تربیت مدرس