مروری بر سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت و کاربرد آن در کشاورزی

محمدحسین کیانمهر[۱] مرضیه قربانی[۲]

[۱] استاد گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان - دانشگاه تهران؛ kianmehr@ut.ac.ir
[۲] دانشجو دکتری گروه فنی کشاورزی، پردیس ابوریحان - دانشگاه تهران؛ marzie.ghorbani@ut.ac.ir

چکیده

تمرکز شدید جهانی بر مسئولیت‌های زیست‌محیطی جوامع، صنایع و سیاست‌گذاران را مجبور به ایجاد راهکارهایی برای کاهش میزان مصرف سوخت‌های فسیلی، جلوگیری از انتشار بیش از اندازه گازهای گلخانه‌ای، امنیت انرژی و حفظ محیط‌زیست نموده است. برای مقابله با تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین، نیاز به ایجاد فن‌آوری‌هایی با تولید کمتر کربن است. از جمله این فن‌آوری‌ها، سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت هستند که با بهره‌وری بالای انرژی، از ضایعات موجود در بخش کشاورزی (زیست‌توده)، صنعتی، مسکونی و تجاری، حرارت و برق تولید می‌کنند و می‌توانند در پیشبرد اهداف جهانی برای کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر و مضرات ناشی از آن‌ها تأثیرگذار باشند. در این راستا، با توجه به اهمیت مبحث انرژی در جهان امروزی و کاربرد گسترده سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت در بخش‌های مختلف، در این مقاله به معرفی بیشتر سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت و کاربرد آن در بخش کشاورزی و گلخانه‌ای اشاره می‌شود.

کلمات کلیدی: انرژی، تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، زیست‌توده، گلخانه، محیط‌زیست

A review of combined heat and power systems and its application in agriculture

Mohamad Hosein Kianmehr[1], Marzieh Ghorbani[2]

[1] Full Professor, Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran; kianmehr@ut.ac.ir
[2] Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran; marzie.ghorbai@ut.ac.ir

ABSTRACT

The intense global focus on environmental responsibility has forced industry and policymakers to create solutions to reduce fossil fuel consumption, prevent excessive emissions of greenhouse gases, energy security, and environmental protection. To overcome climate change and global warming, it is necessary to create low-carbon technologies. Among these technologies are combined heat and power systems that heat and electricity produce with high-energy from the waste in the agricultural sector (biomass), industrial, residential and commercial and can be effective to the global goal of reducing unreleased energy consumption and harm caused by them. According to this, considering the importance of the energy issue in the modern world and the widespread use of combined heat and power systems in different sectors, this paper introduces more combined heat and power systems and its application in agriculture and greenhouse.

Keywords: Energy, Combined Heat and power (CHP), Biomass, Greenhouse, Environment

۱- نویسنده مسئول: kianmehr@ut.ac.ir، نشانی: تهران، پاکدشت، بلوار امام رضا (ع)، دانشگاه تهران - پردیس ابوریحان، تلفن همراه: ۰۹۱۲۶۴۵۷۷۱۹

۱- مقدمه

در سه دهه اخیر با افزایش عمده بهای سوخت، اهمیت بحث سوخت جایگزین، افزایش کارآیی انرژی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی، تمایل به استفاده از فن‌آوری‌های جدید از جمله تولید همزمان برق و حرارت (CHP)[1] افزایش یافته است.

در روش‌های معمول برای تأمین نیازهای الکتریکی و حرارتی، الکتریسته از شبکه توزیع سراسری برق و حرارت بوسیله سوزاندن سوخت در بویلرها و تجهیزات گرمازا به روش تولید جداگانه تأمین می‌گردد که انرژی قابل توجهی به گونه‌های متفاوت از طریق گازهای داغ خروجی دودکش، برج‌های خنک‌کن، کندانسورها، خنک‌کننده‌ها در موتورهای احتراق داخلی، تلفات توزیع و انتقال الکتریسیته در شبکه سراسری به هدر می‌رود؛ درحالیکه بیشتر این حرارت قابل بازیافت است و می‌تواند در تأمین انرژی حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی الکتریسیته تولیدی به روش معمول به صورت متمرکز (نیروگاهی) بوده و تلفات انرژی زیادی را در بردارد.

در مقابل این سیستم‌های متمرکز، روش‌های تولید غیرمتمرکز و مستقل با استفاده از فن‌آوری CHP قرار دارد. از لحاظ ترمودینامیکی این روش به معنی تولید همزمان دو شکل معمول انرژی یعنی الکتریکی و حرارتی، با استفاده از یک منبع انرژی اولیه مانند نفت، زغال‌سنگ، گاز طبیعی یا مایع، زیست‌توده و خورشید است (Onovwiona & Ugursal, 2006). درواقع CHP ترکیب ترمودینامیکی فرآیندها است که منجر به اثرگذاری بالاتر (تا ۲۰ درصد)، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و در نتیجه کاهش انتشار CO_2 می‌شود (Liszka et al., 2013).

تولید CHP در سراسر جهان به عنوان جایگزین اصلی برای سیستم‌های سنتی از نظر کاهش مصرف انرژی و حفاظت از محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است (Dentice d'Accacia et al., 2003). در این روش، انرژی گرمایی از بازیافت اتلاف حرارتی مولدهای مستقل بدست می‌آید و این حرارت در بخش‌های مختلف صنعتی، تجاری، مسکونی و کشاورزی بکار گرفته می‌شود و از طرفی الکتریسیته تولیدی توسط این فن‌آوری به صورت محلی، مستقل و غیرمتمرکز است. این دو ویژگی در کنار یکدیگر، کارآیی مولدهای تولید برق را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. کارآیی سیستم‌های معمول به روش متمرکز در حدود ۲۷ تا ۵۵ درصد می‌باشد که بیشترین کارآیی مربوط به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد؛ در حالیکه با بهره‌گیری از فن‌آوری CHP بصورت مستقل، کارآیی انرژی این مولدها به حدود ۹۰ درصد نیز خواهد رسید، تا آنجا که دولت‌های اروپایی، امریکا و حتی در کشورهای آسیایی نظیر ژاپن، سیاست‌ها و قوانینی برای ترغیب به استفاده از سیستم‌های CHP وضع نموده‌اند (Ministry of Energy, 2009).

تکنولوژی‌های پاک می‌توانند به تولید پایدار انرژی کمک کنند. تکنولوژی‌های باد، خورشید و زیست‌توده[2] مثال‌هایی معمول از این دست می‌باشند. همچنین CHP می‌تواند به عنوان یک فن‌آوری مهم به منظور کاهش تولید کربن ناشی از تولید انرژی باشد (Lund, 2007). پتانسیل توسعه CHP در بسیاری از صنایع از جمله لبنیات (Ramírez et al., 2006)، قند (Bhattacharyya & Thang, 2004)، کارخانه‌های ماکارونی (Panno et al., 2007) وجود دارد. با توجه به اهمیت مبحث انرژی در جهان امروزی و کاربرد گسترده سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت در بخش‌های مختلف، هدف این مقاله مروری بر سیستم‌های CHP و کاربرد گسترده آن دربخش کشاورزی در برخی نقاط جهان می‌باشد.

۲- عملکرد سیستم‌های CHP

در سیستم‌های CHP یک محرک اولیه (موتور یا توربین) انرژی شیمیایی سوخت را آزاد و به توان مکانیکی در محور خروجی تبدیل می‌کند. در این موارد، محور محرک با یک ژنراتور کوپل شده و توان الکتریکی تولید می‌شود. از طرف دیگر، حداکثر راندمان موجود برای محرک اولیه دستگاه و مولد کمتر از ۵۰ درصد است که به معنی اتلاف بیش از نیمی از انرژی سوخت بصورت حرارت می‌باشد. در این سیستم منابع اتلاف حرارت شامل گازهای خروجی از محرک اولیه، سیکل خنک‌کن و روغن روان‌کاری شناسایی شده و با قرار دادن مبدل‌های حرارتی، گرمای اتلافی بشکل حرارت با دمای بالا (حرارت قابل استفاده) بازیافت می‌شود. با فراهم شدن امکان استحصال حرارت اتلافی در سیستم CHP خصوصیات منحصر بفرد این سیستم بدست می‌آید (Miri et al., 2004). شکل ۱ نمونه‌ای از سیستم CHP در مقیاس کوچک را نشان می‌دهد.

[1] Combined Heat and power
[2] Biomass

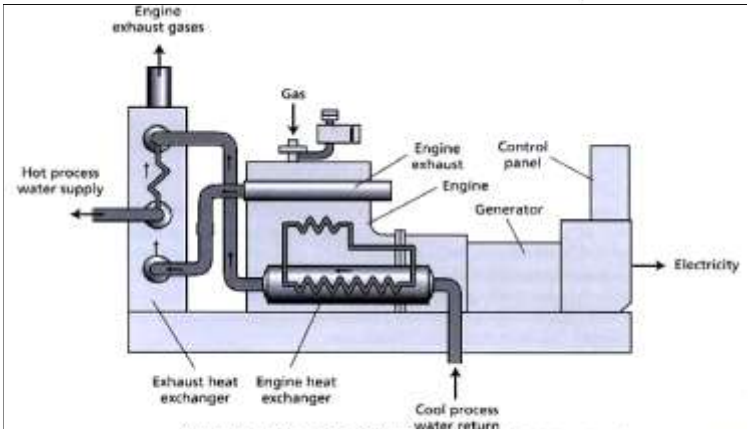

Figure 1. Showing the main components of a small-scale CHP system (Miri et al., 2004).
شکل ۱- نمایش مؤلفه‌های اصلی نوعی سیستم CHP مقیاس کوچک (Miri et al., 2004).

۳- سوخت سیستم‌های CHP و تولید قدرت

مولد قدرت اولیه در سیستم‌های CHP معمولاً موتورهای احتراقی، توربین‌گاز، میکروتوربین و سلول سوختی است. کیفیت گرمای خروجی از هر یک از فن‌آوری‌ها متفاوت بوده و بسته به کاربردهای مختلف و نیاز گرمایشی می‌توان یکی از فن‌آوری‌ها را بکار برد. از نظر هزینه نصب و راه‌اندازی، امروزه موتورهای احتراقی پایین‌ترین قیمت و سیستم‌های سلول سوختی با توجه به آنکه هنوز به مرحله تجاری شدن نرسیده‌اند، هزینه نصب اولیه آن‌ها بالاترین مقدار است (Nurozi, 2015).

منبع تولید انرژی اولیه شامل دامنه وسیعی است که می‌تواند زیست‌توده (مواد صنعتی، سبزیجات و ضایعات کشاورزی)، زیست‌گاز (متان تولیدی از تجزیه هوازی یا بی‌هوازی زیست‌توده)، سوخت‌های فسیلی، زمین‌گرمایی یا انرژی خورشیدی باشد. روش‌های هضم بی‌هوازی به عنوان یکی از مهمترین روش‌های مدیریت ضایعات جامد شهری است که گاز تولید شده در آن می‌تواند جهت مصرف در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار گیرد و علاوه بر این به عنوان روشی برای کاهش حجم ضایعات و تبدیل آن به مواد کم‌خطر و یا بی‌خطر تلقی گردد (Neysari et al., 2016). در جدول ۱ مقادیر زیست‌گاز تولیدی (متان) برخی از ضایعات آلی توسط فرآیند هضم بی‌هوازی نشان داده شده است.

جدول۱- مقادیر زیست‌گاز تولید شده ضایعات آلی توسط فرآیند هضم بی‌هوازی (Neysari et al., 2016).

Table 1. Quantities of biogas produced by organic waste by anaerobic digestion process.

Waste material	Methane Production (1/kg VS*)	Reference
Municipal solid	530	Forster-Carneiro et al., 2007
Household	350	Ferrer et al., 2011
Fruit and vegetable	420	Bouallagui et al., 2005
Food water	294	Behera et al., 2010
Food	396	Zhang et al., 2011
Rice straw	350	Lei et al., 2010
Mixture of maize silage and straw	312	Mumme et al., 2010
Jatropha oil seed cake	422	Chandra et al., 2011
Palm oil mill effluent	610	Fang et al., 2011
Organic substances lignin-rich	200	Jayasinghe et al., 2011

*VS: Volatile Solids

در حال حاضر با توجه به ارزش بالای سوخت‌های فسیلی، می‌توان کاربرد سوخت‌های زیستی و طبیعی را به عنوان یک فرصت ویژه در پیشرفت‌های صنعتی و کشاورزی با توجه به مزیت‌های تجدیدپذیری و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی دانست.

۴- اندازه سیستم‌های CHP

نوع منبع تولید همزمان را بر حسب میزان توان الکتریکی تولیدی، مطابق جدول ۲ طبقه‌بندی می‌کنند.

جدول ۲- اندازه سیستم CHP بر حسب توان الکتریکی (Nurozi, 2015).

Table 2. CHP system size based on electrical power (Nurozi, 2015).

Source type CHP	Productive power
Micro-Scale CHP	< 20Kw
Mini-Scale CHP	< 500Kw
Small-Scale CHP	< 1Kw
Large-Scale CHP	> 10Kw

گرچه بطور قطع نمی‌توان زمینه استفاده CHPها را بر این طبقه‌بندی منطبق دانست، اما عموماً اندازه‌های بیش از چند مگاوات در بخش صنعت، کمتر از ۱ مگاوات در بخش تجاری و اندازه‌های کوچک در مصارف خانگی استفاده می‌شود. البته از CHP در اندازه‌های کوچک، تنها در تولید برق، آب داغ یا بخار کم‌فشار استفاده می‌شود و در اندازه‌های بزرگ‌تر از توان محور برای بکار انداختن کمپرسورهای چیلر، یخچال‌های صنعتی و هوای فشرده و از حرارت استحصالی برای گرمایش محیط بطور مستقیم، چیلرهای جذبی و حرارت مورد نیاز فرآیندهای صنعتی مانند خشک‌کن استفاده می‌شود (Nurozi, 2015). سیستم‌های CHP در مقیاس کوچک می‌توانند به تعدادی از اهداف سیاست‌های انرژی، از جمله کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود امنیت انرژی، صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری ناشی از حذف شبکه انتقال و توزیع برق و نیز کاهش قیمت انرژی مصرف‌کنندگان پاسخ دهند (Hawkes & Leach, 2007). موتورهای گاز، میکروتوربین‌ها و سلول‌های سوختی، سیستم‌های مناسبی برای تولید برق در مقیاس کوچک به علت راندمان بالا در محدوده‌های کم قدرت هستند (Karellas et al., 2008).

۵- محصولات احتراق در موتور CHP

CO_2: مهمترین محصول احتراق که در پدیده گلخانه‌ای و تغییر آب و هوا نیز مؤثر است. مقدار تولید این گاز وابسته به مقدار سوخت مصرفی است و لذا با بکارگیری سیستم CHP و کاهش مصرف سوخت از تولید CO_2 نیز کاسته می‌شود.

NO_x: اکسیدهای نیتروژن محصول احتراق هر نوع سوختی می‌باشد، اما میزان تولید آن به عواملی چون دما و فشار احتراق، هندسه محفظه احتراق و نسبت سوخت به هوا بستگی دارد. انتشار بی‌رویه این گاز در جو باعث پدیده‌های دودمه[1]، تجزیه ازن و باران‌های اسیدی است و به همین دلیل بیشترین تحقیقات بر کاهش این گاز متمرکز شده است.

SO_2: این گاز محصول احتراق سوخت‌های سولفوردار است و در کنار آب، اسید خورنده‌ای را تشکیل می‌دهد، لذا انتشار بیش از حد آن در جو موجب ریزش باران‌های اسیدی خواهد شد و همچنین اگر گازهای خروجی از CHP تقطیر شوند، خوردگی بسیار شدید در دودکش و مبدل‌ها بوجود می‌آورد. مقدار سولفور در گاز طبیعی بسیار کم است ولی در دیزل و بیوگاز قابل توجه بوده و باید تمهیدات لازم اندیشیده شود.

CO: یک گاز سمی و مرگبار است که بر اثر احتراق ناقص تشکیل و با کنترل صحیح نسبت سوخت به هوا قابل رفع می‌باشد.

هیدروکربن‌های نسوخته (UHC): مولکول‌های آلی با زنجیر بلند کربنی هستند که در اثر کنترل ضعیف فرآیند احتراق به همراه ذرات معلق و CO تولید می‌شوند. در شرایط عادی میزان خروج این ترکیبات به عنوان یک مسأله مهم مورد توجه نمی‌باشد، ولی انتشار بی‌رویه آن باعث آلودگی هوا و پدیده گلخانه‌ای می‌شود.

ذرات معلق: این ذرات ریز جامد نیز بر اثر احتراق ناقص موتور تشکیل شده و بشکل دود رنگ‌دار وارد محیط بیرون می‌شوند. به این ترتیب علاوه بر اختلال در تنفس جانوران، عکس‌العمل شدید عمومی را نیز بدنبال دارد (Miri et al., 2004).

۶- مزایای استفاده از سیستم‌های CHP

سیستم‌های CHP می‌تواند نقش بسیار مهمی در نیاز به انرژی از یک طرف و حفظ محیط زیست از طرف دیگر ایفا کنند. از جمله مزایای آن‌ها می‌توان به افزایش بازدهی (به دلیل مصرف کمتر سوخت، تولید انرژی بیشتر و همچنین عدم نیاز به انتقال و توزیع گسترده انرژی)، قابلیت اطمینان بالا (قابلیت استفاده مطمئن‌تر در طراحی سیستم‌هایی با کیفیت بالا و در تجهیزات دارای حساسیت بالا نسبت به انرژی ورودی، به ویژه در شرایط مواجهه با قطعی‌های زیاد در شبکه‌های سراسری برق)، سازگاری با محیط زیست (تولید آلودگی کمتر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به دلیل مصرف کمتر سوخت در تولید انرژی)، مزیت اقتصادی (دارای صرفه بالای اقتصادی به ویژه در بلندمدت با توجه به شرایط بد اقتصادی جهان و قیمت بالای حامل‌های انرژی)، تأمین انرژی الکتریسیته با کیفیت بسیار بالاتر، صرفه‌جویی در هزینه سوخت برای تأمین برق، انرژی حرارتی و دی‌اکسید کربن، استفاده از انرژی گرمایی برای تأمین بخار، آب داغ و هوای داغ جهت مصرف در محل برای سیستم گرمایشی،

[1] Smog

عمر مفید طولانی دستگاه، کاهش اثر نوسانات شبکه، کاهش نگرانی‌های ناشی از نوسانات قیمت برق، منبع جدید کسب درآمد با فروش مازاد انرژی مصرفی، بهبود بهره‌وری سوخت (هزینه‌های پایین‌تر برای انرژی)، بهبود کیفیت توان و قابل اعتماد بودن، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، کاهش تراکم شبکه انتقال و توزیع سرمایه‌گذاری، کاهش آسیب‌پذیری سیستم در برابر خطرات امنیتی، کوتاه‌تر کردن مدت زمان نصب و راه‌اندازی در مقایسه با نیروگاه‌های متمرکز، کاهش تلفات در خطوط انتقال نیرو، بهینه‌سازی منابع کمیاب گاز طبیعی برای بهبود بخشیدن به قیمت گاز، عرضه آن و پشتیبانی از تکنولوژی پیشرفته اشاره نمود. از طرفی دستگاه CHP بیشترین بهره‌وری در مصرف انرژی سوخت را دارد. متوسط راندمان یک مولد برق در حدود ۳۵ درصد و متوسط راندمان یک بویلر ۹۰ درصد است. در حالیکه یک سیستم CHP با تولید هر دو محصولات، راندمانی بیش از ۸۵ درصد دارد. یعنی راندمان الکتریکی حدود ۳۵ درصد و راندمان حرارتی (انرژی حرارتی تولید شده به انرژی سوخت مصرفی) ۵۰ درصد است. از طرف دیگر در مقایسه با سیستم‌های تولید برق و تولید حرارت مشابه که بصورت مجزا هستند، حدود ۳۵ درصد سوخت کمتری مصرف می‌کند (Miri et al., 2004; Karimzadeh & Aeenmehr, 2010; Nurozian et al., 2014).

۷- مکان‌های مناسب برای نصب و اجرای CHP

مکان‌هایی که در اولویت نصب سیستم‌های همزمان هستند، شامل واحدهای صنعتی و کارخانجات صنایع شیمیایی، غذایی، نساجی، چوب، کاغذسازی، فلزکاری، فولاد، شیشه، سرامیک و سفال‌گری، سیمان، پتروشیمی، آب شیرین‌کن، پزشکی، پالایشگاه، بازیافت، مجتمع‌های تجاری و مراکز خدماتی (مسکونی، دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها، فرودگاه‌ها، خانه سالمندان، هتل، فروشگاه‌های خرده‌فروشی، رستوران، تئاتر) و در بخش کشاورزی (بویژه گلخانه‌ها و سردخانه) است (Miri et al., 2004; Karimzadeh & Aeenmehr, 2010; Nurozian et al., 2014).

۸- کاربرد CHP در کشاورزی

با توجه به تقاضای روز افزون انرژی‌های تجدیدپذیر برای گرمایش و تولید برق که عمدتاً به دلیل افزایش هزینه‌های سوخت، مسائل مربوط به امنیت سوخت و نگرانی‌های زیست‌محیطی است (Hall & Scrase, 1998; Fischer & Schrattenholzer, 2001)، مجلس شورای اروپا در همه کشورهای عضو آن، در رسیدگی به این مسائل نقش مهمی ایفا کرده و به دنبال افزایش میزان جذب زیست‌توده برای تولید انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای‌است (Fischer & Schrattenholzer, 2001)؛ با اینحال اغلب عدم انطباق در قابلیت دسترسی سوخت و محل مناسب نیروگاه‌ها وجود دارد (Hoogwijk et al., 2003; Fischer & Schrattenholzer, 2001). مزارعی که هر دو قابلیت پرورش دام و محصولات زراعی را با هم دارند، می‌توانند پتانسیل بالایی برای تولید برق و گرما از ضایعات حیوانی و محصولاتی که تولید آن‌ها به طور خاص برای تأمین انرژی است، فراهم کنند. هضم بی هوازی (AD) می‌تواند از پسماندهای حیوانی و محصولاتی مانند سیلوهای گیاهی و علوفه ذرت برای تولید بیوگاز و در نهایت تولید گرما و برق استفاده کند. تعداد قابل ملاحظه‌ای از این نیروگاه‌ها در مزارع سراسر اروپا نصب شده است (Cantrell et al., 2008; Holm-Nielsen et al., 2009). ساختمان‌های موجود در مزرعه و محیط آن‌ها برای گرمایش خورشیدی و تولید برق مناسب هستند (Rourke et al., 2009). سلول‌های خورشیدی فتوولتائیک (PV) بطور مداوم (در طول ساعات روز) برق و آب گرم تولید می‌کنند و برای مزارع مناسب هستند (Rourke et al., 2009) و سیستم‌های مدیریت جامع و کنترل عملکرد برای ایجاد قابلیت اعتماد و کارآیی کلی نیروگاه‌های تولید انرژی مشترک ضروری است (Loeser & Redfern, 2008; Zhao et al., 2013)؛ با این حال، چالش بحرانی برای طرح‌های انرژی تجدیدپذیر در کشاورزی، دستیابی به انرژی است که از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی قابل اطمینان باشد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد (Loeser & Redfern, 2008; Fiorese et al., 2013). در انگلستان کاهش ۳۵ درصدی گازهای گلخانه‌ای با افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت فسیلی منجر به افزایش علاقه به فن‌آوری‌های تجدیدپذیر انرژی شده است.

۸-۱- تولید CHP از زیست‌توده

تغییر آب و هوا، امنیت انرژی و کاهش سوخت‌های فسیلی به طور فزاینده‌ای شناخته شده است، و ترکیب آن‌ها باعث توجه جهانی به یافتن راه‌های تولید انرژی پایدار شده است (Bang-Møller et al., 2013). زیست‌توده اصطلاح مورد استفاده برای توصیف هر گونه مواد با منشاء بیولوژیکی شامل مواد گیاهی مانند درختان، علف‌ها و محصولات کشاورزی، همچنین کود حیوانی و زباله‌های شهری می‌باشد (Amiri et al., 2017). زیست‌توده به عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر با پتانسیل بالایی برای کمک به نیاز انرژی جهان محسوب می‌شود. این انرژی به عنوان

[1]Anaerobic Digestion
[2]Photo Voltaic

یک منبع انرژی تجدیدپذیر با کربن بی‌اثر در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا همان مقدار CO_2 را که در طی فرآیند احتراق آزاد می‌کند، در طول رشد خود جذب کرده است. تأمین برق از انرژی زیستی به طور پیوسته از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است؛ در سال ۲۰۱۰، انرژی زیستی در حدود ۲۸۰ تن‌وات‌ساعت برق تولید کرد که برابر با ۱/۵ درصد از تولید برق جهان است (IEA, 2012). عمده انرژی زیستی از ضایعات چوبی و پس از آن زباله‌های جامد شهری، گازهای دفن زباله و همچنین باقی‌مانده‌های کشاورزی مانند ساقه‌های پنبه، کاه گندم، کاه برنج، پوست نارگیل، ذرت، سیب‌زمینی، برنج و غیره تولید می‌شود (Fatih Demirbas, 2007). مواد زیست توده، مانند کود و کمپوست[1]تولیدی از زباله‌های شهری دارای رطوبت، حجم بالا و مواد غیر یکنواختی هستند که باعث محدودیت استفاده از آن‌ها می‌شود. متراکم کردن و تبدیل این مواد به پلت[2]باعث همگن‌تر شدن، افزایش مواد آلی، بهبود ذخیره‌سازی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل می‌شود (Zafari & Kianmehr, 2013). استفاده از زیست‌توده یک راه‌حل مناسب و منبع تجدیدپذیر انرژی، از قبیل گرما، انرژی الکتریکی و انتقال سوخت است که می‌تواند انتشار CO_2، گوگرد و فلزات سنگین را در جو کاهش دهد و باعث بهبود درآمد روستاییان و امنیت انرژی از طریق جایگزینی با زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی شود (IEA & Bioenergy, 2009). بنابراین، بخش کشاورزی دارای ظرفیت قابل توجهی از تولید مواد خام برای تولید انرژی است. بویژه، واحدهای تولید انرژی در مقیاس کوچک برای استفاده انرژی از بقایای کشاورزی در مناطق روستایی که مقدار زیادی از زیست‌توده در دسترس است، از طریق ترویج و تشویق به تولید غیرمتمرکز انرژی، اهمیت زیادی در تولید انرژی پایدار دارد.

موتور و توربین‌های بخار، توربین‌های گاز، توربین‌های هوای گرم، موتورهای گاز، فرآیند ORC[3] (چرخه راکتین ارگانیک)، موتورهای استرلینگ و سلول‌های سوختی، گزینه‌های مستعد فن‌آوری CHP برای زیست‌توده هستند (Kempegowdaa et al., 2012). واحدهای مقیاس کوچک (تا ۱۰۰ کیلووات) معمولاً فن‌آوری‌های احتراق با موتور استرلینگ و گازسیون[4](تبخیرشدگی) با موتور احتراق داخلی را اعمال می‌کنند. از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات، فن‌آوری‌های مناسب‌تر شامل موتورهای بخار، توربین¬های بخار و به خصوص فرآیند ORC هستند. در نهایت، در مقیاس وسیع (بیشتر از ۲ مگاوات)، توربین بخار، فن‌آوری مناسب برای تولید CHP از زیست‌توده است (Danon et al., 2012).

واحد CHP هوشمند[5]از مخلوط¬های کشاورزی برای تولید گرما و برق ترکیبی استفاده می‌کند. این واحد ترکیبی از فن‌آوری‌های BFBG[6] (گازسیون بستر حباب مایع) و موتور احتراق داخلی (ICE)[7] است. BFBG ذرات زیست‌توده را به یک سوخت گازی تبدیل (گازسیون) و پس از عبور از یک ژنراتور مجهز به ICE، برق تولید می‌کند. حرارت اتلافی ICE به دیواره‌های موتور و گازهای خروجی برای گرم شدن آب بکار می‌رود. طرح کلی واحد در شکل ۲ نشان داده شده است.

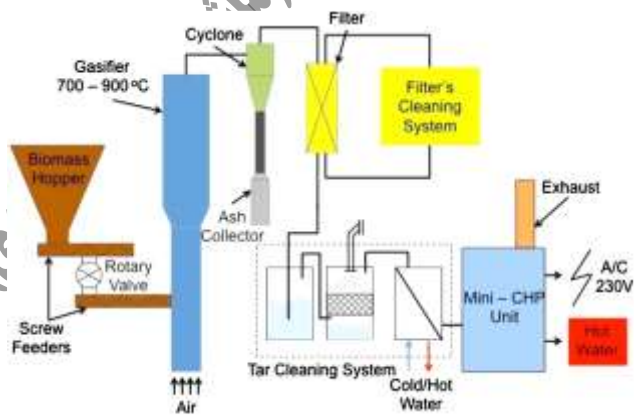

Figure 2. Smart CHP unit layout (Mertzis et al, 2014).

شکل ۲- طرح واحد CHP هوشمند (Mertzis et al, 2014).

با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از تلاش‌های اخیر پژوهش‌ها، ارزیابی عملکرد زیست‌توده از محصولات کشاورزی انرژی‌زا و تعیین قیمت‌های رقابتی برای تولید و جایگزینی کشت محصولات انرژی‌زا با محصولات کشاورزی سنتی است (Downing & Graham, 1996; Venendaal et

[1]Compost
[2]Pellet
[3]Organic Rankine Cycle
[4]Gasification
[5]Smart-CHP Unit
[6]Bubbling Fluidized Bed Gasification
[7]Internal Combustion Engine

(al., 1997، در این راستا باکوس و همکاران به بررسی پتانسیل سیستم‌های CHP از بقایای کشاورزی در یونان پرداختند و تأثیر تأسیس نیروگاه‌های CHP در جزیره کرت[1] و برنامه‌ریزی طولانی مدت استفاده از انرژی این نیروگاه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها بر استفاده بیشتر منابع انرژی تجدیدپذیر، مخصوصاً استفاده از نیروگاه‌های CHP با منابع سوخت زیست‌توده تأکید داشت (Bakos et al., 2008). در پژوهشی دیگر در مناطق روستایی مقدونیه غربی یونان، محققان یک واحد گازسیون با زغال چوب به همراه موتور احتراق داخلی برای تولید غیرمتمرکز CHP با حداکثر خروجی حرارتی ۱۲ کیلووات و خروجی الکتریکی ۵ کیلوولت طراحی و ساختند. آن‌ها چهار مکان مختلف نزدیک به مواد اولیه زیست‌توده را برای عملیات آزمایشگاهی انتخاب و بقایای محصولات هلو، زیتون و انگور را به عنوان مواد اولیه زیست‌توده مورد آزمایش قرار دادند و عملکرد واحد را از لحاظ پایداری عملیات، استفاده از بقایای مختلف کشاورزی و همچنین تولید انرژی فرآیند گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مواد اولیه مختلف زیست‌توده، پارامتر گازسیون و مخلوط ورودی موتور برای عملیات طولانی مدت بر خروجی انرژی تأثیرگذار است و با بهینه‌سازی دستگاه، امکان تجاری‌سازی آن مقدور است (Mertzis et al., 2014). فربس و همکاران نیز به ارزیابی هزینه، عملکرد و کارایی انرژی تولید شده از محصولات زراعی و زباله‌های مزرعه‌ای در صنعت پرداختند. آن‌ها پنج تکنولوژی مختلف انرژی تجدیدپذیر را در مرکز تحقیقاتی کشاورزی و زیست‌محیطی ایرلند شمالی که در طول یک دوره شش ساله و با توجه به تقاضای سیستم گرمایش بخش محلی با واحدهای CHP انجام می‌شد، مورد بررسی قرار دادند. هدف آن‌ها، ارزیابی عملکرد واحدهای تولید انرژی، برآورد مصرف سوخت فسیلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و صرفه‌جویی در میزان کربن بود. نتایج عملیاتی گزارش شده در این مطالعه از تأسیسات CHP نشان داد که جایگزینی سوخت فسیلی و کاهش انتشار CO_2 توسط سیستم‌های انرژی زیست‌توده، بیوگاز و انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، صرفه‌جویی‌های قابل توجه مالی و مزایای زیست‌محیطی زیادی را به همراه داشتند (Forbes et al., 2016).

۲-۸- کاربرد CHP در گلخانه‌ها

گلخانه‌ها فضاهایی با قابلیت کنترل شرایط محیطی مناسب برای رشد گیاهان در طی فصول مختلف سال می‌باشند. رسیدن به شرایط مناسب نیازمند تأمین نور، درجه حرارت مناسب و دی‌اکسید کربن کافی است. گلخانه‌ها بطور کلی از یک شیشه یا پلاستیکی روشن ساخته شده‌اند، که اجازه می‌دهد تا بسیاری از طیف‌های خورشید برای فتوسنتز گیاهی عبور کند اما مانع از عبور پرتوهای مادون قرمز می‌شوند. نور مرئی که توسط شاخ و برگ گیاهان در گلخانه جذب می‌شود، تغییر یافته و به طور عمده در محدوده مادون قرمز تابش می‌شود و بنابراین بخش بزرگی از انرژی خورشیدی وارد شده به گلخانه، حفظ می‌شود (Andrews & Pearce, 2011).

تأمین برق و گرما از جمله الزامات گلخانه‌های تجاری می‌باشد که در گلخانه‌های مقیاس بزرگ نیاز به برق سه فاز مخصوصاً اگر نوردهی اضافی برای افزایش عملکرد محصول نیاز باشد، بسیار مهم است و گرما به طور سنتی توسط سوخت گاز طبیعی (مرسوم‌ترین روش)، نفت یا زغال سنگ تأمین می‌شود، اما حرارت می‌تواند توسط پساب‌های صنعتی نیز تأمین شود (Tiwari, 2003).

در کشور ایران در بسیاری از نقاط، به دلیل اختلاف زیاد دمای شبانه روز و وجود فصول سرد، نیاز به یک سیستم گرمایشی برای گلخانه وجود دارد. از طرفی با توجه قرارگیری مناسب گیاهان از لحاظ نوری، با بالا بردن مصرف دی‌اکسید کربن، می‌توان راندمان تولید محصولات را نیز بالا برد.

در حالت متداول برای تأمین برق مورد نیاز گلخانه‌ها از شبکه سراسری (نیروگاه‌های کشور)، تأمین درجه‌حرارت مناسب از سیستم‌های گرمایشی (شامل کوره‌های هوای گرم، گرمکن و یا گرمایش از کف) و تولید دی‌اکسید کربن نیز از مشعل‌های سوخت استفاده می‌شود. اما روش دیگری نیز وجود دارد و آن تولید همزمان برق، حرارت و دی‌اکسید کربن توسط یک سیستم است. در این سیستم به کمک یک مجموعه موتور-ژنراتور گازسوز با راندمان بالا برق تولید می‌شود و به کمک بازیافت‌های حرارتی در این سیستم، گرمای اتلافی به صورت انرژی حرارتی قابل استفاده در اختیار قرار می‌گیرد. انرژی الکتریکی حاصل از این سیستم قابل استفاده در محل تولید و یا قابل فروش به شبکه سراسری برق می‌باشد و انرژی حرارتی آن برای تولید هوای گرم و یا آب گرم، آب داغ و بخار در سیستم گرمایشی استفاده می‌شود. همچنین با عبور گازهای حاصل از احتراق از کاتالیزورهای نصب شده در مسیر دود می‌توان پس از حذف گازهای مضر، دی‌اکسید کربن با کیفیت و خلوص بالا برای استفاده در فضای پرورش گیاهان بدست آورد. شکل ۳ نمایش بهتری از کاربرد سیستم CHP در گلخانه نشان می‌دهد.

[1] Crete

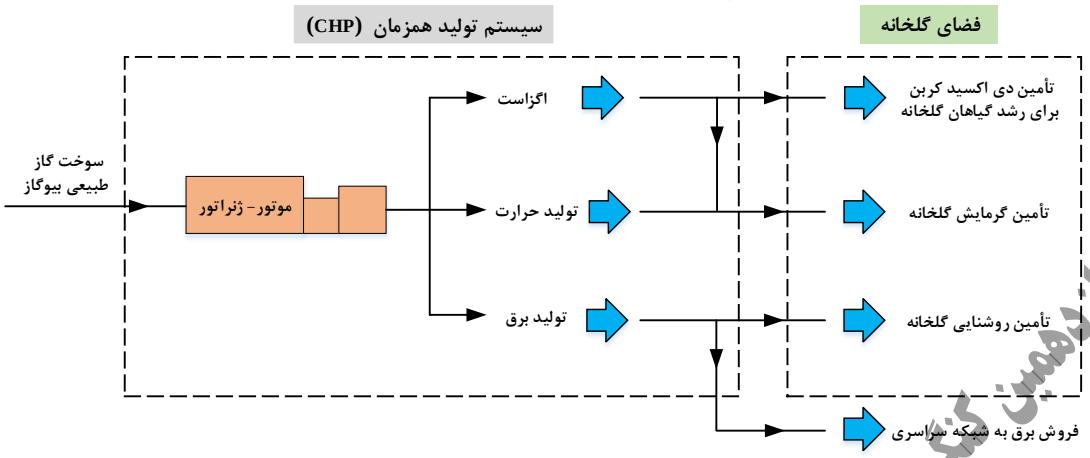

Figure 3. Application of CHP in greenhouse space.
شکل ۳- کاربرد CHP در فضای گلخانه.

بعضی از واحدهای CHP نیز می‌توانند به طور موقت حرارت را در یک بافر[1]حرارتی ذخیره کنند و به این ترتیب ارتباط بین عرضه گرما و تقاضا را از بین می‌برند و این در صورتی امکان‌پذیر است که گرما بشکل آب گرم تولید شود. با نصب تأسیسات CHP در گلخانه‌ها می‌توان در طول روز برق تولید و در شب از گرما برای گرمایش استفاده کرد (Buck et al., 2014). شکل ۴ شماتیکی از کارکرد سیستم CHP در گلخانه را نشان می‌دهد.

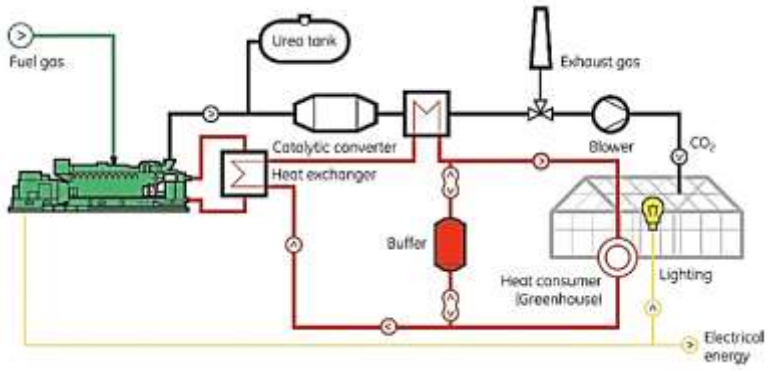

Figure 4. Schematic of the CHP system function in the greenhouse.
شکل ۴- شماتیک کارکرد سیستم CHP در گلخانه.

فشار ناشی از افزایش رقابت عرضه‌کنندگان بین‌المللی به همراه افزایش هزینه‌های انرژی به ویژه در گاز طبیعی باعث شده است که بسیاری از گلخانه‌ها به فکر منابع جایگزین سوخت باشند (Nederhoff, 2008; Maare, 1992). با توجه به هزینه‌های اقتصادی انرژی و معایب احتراق سوخت‌های فسیلی، پژوهشگران در تحقیقی به ارزیابی محیطی و اقتصادی گلخانه گوجه‌فرنگی با بکارگیری گرمای اتلافی کارخانه تولید شیشه تخت برای گرم کردن گلخانه در آب و هوای شمالی کشور کانادا پرداختند. آن‌ها صنعت شیشه را برای مطالعه خود برگزیدند، زیرا مقدار زیادی از حرارت توسط کوره‌های گاز طبیعی تأمین و با استفاده از فن‌آوری‌های مناسب فیلتراسیون، از گازها به عنوان غنی‌سازی دی‌اکسید کربن استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کارخانه با تولید ۵۰۰ تن در روز و استفاده ۱/۲۵PJ از گاز طبیعی توانست یک گلخانه ۳/۹ هکتاری با درآمد سالانه ۱/۳ میلیون دلاری را حمایت، سالانه ۱۰۴۲ تا ۲۱۲۵ تن CO_2 را جبران کند و بعد از ۲۰ سال سیستم حرارت اتلافی به طور قابل توجهی عملکرد ارزان‌تری از سیستم گاز طبیعی داشته باشد (Andrews & Pearce, 2011). کریتن و بایلی (۲۰۰۲) نیز بیان کردند که استفاده از سیستم‌های CHP می‌تواند اهداف صرفه‌جویی در انرژی را تأمین کند؛ زیرا حرارت تولید شده می‌تواند به طور کامل مورد استفاده قرار گیرد (Critten & Bailey, 2002).

[1]Buffer

کمپرنول و همکاران در سال ۲۰۱۱ به تجزیه و تحلیل یک سیستم CHP برای کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی با نیاز حرارتی بالا و برق کم و محصول کاهو که با حرارت پایین‌تر و برق بیشتر رشد می‌کند، پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ظرفیت سیستم CHP مورد نیاز برای محصول کاهو به دلیل نیاز کمتر انرژی از گوجه‌فرنگی پایین‌تر است؛ بطوریکه توان سیستم CHP مورد نیاز برای تولید کاهو و گوجه‌فرنگی را به ترتیب ۲۳۹KW و ۲/۱MW بیان کردند. همچنین با توجه به تأثیرات زیست‌محیطی، در زمان سرمایه‌گذاری یک سیستم CHP، صرفه‌جویی در مصرف اولیه بیش از ۲۰ درصد را برای هر دو محصول بدست آوردند و میزان کاهش CO_2 برای محصول گوجه‌فرنگی ۳۰ درصد و برای کاهو ۳۹ درصد در مقایسه با تولید جداگانه حرارت و برق محاسبه کردند و در نهایت دریافتند که یک سیستم CHP از نظر اقتصادی برای کشت گلخانه‌ای قابل قبول است و میزان انتشار CO_2 را کاهش می‌دهد (Compernolle et al., 2011).

در سراسر اتحادیه اروپا، یک بازار داخلی رقابتی برای برق و گاز از سال ۲۰۰۰ به طور مداوم اجرا شده است. CHP یکی از روش‌هایی است که معمولاً در هلند برای گرمایش گلخانه استفاده می‌شود و در حال حاضر دارای ۲۵۰۰ مگاوات گلخانه است که با CHP کار می‌کنند (Nederhoff, 2008). از آنجا که سوخت سیستم‌های CHP گاز طبیعی یا بیوگاز می‌باشد، انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند اکسید نیتروژن را کاهش و به طور مستقیم به گلخانه برای غنی‌سازی دی‌اکسید کربن کمک می‌کند. در کانادا نیز گلخانه‌های مجهز به سیستم‌های CHP وجود دارد و ۵۰ هکتار گلخانه با یک ژنراتور CHP در انتاریو[1] اجرا شده است (Soave Enterprises, 2009). در سال‌های اخیر، آزادسازی بازار انرژی، به باغداران فرصتی برای فروش برق اضافی تولید شده به بازار می‌دهد. علاوه بر این، دولت‌ها گواهینامه‌ای را به کشاورزان می‌دهند که می‌توانند برق تولیدی با استفاده از سیستم‌های کیفی خود را به نیروگاه‌های برق بفروشند. همچنین دولت‌های اروپایی با قرار دادن یارانه یا کمک‌هزینه سرمایه‌گذاری، باغداران را به استفاده از سیستم‌های CHP تشویق می‌کنند.

۹- نتیجه‌گیری

تولید ترکیبی برق و حرارت می‌تواند یک فن‌آوری با هزینه‌ای مؤثر در تمامی بخش‌های یک جامعه از جمله صنعت، تجارت، مسکن و به خصوص در بخش کشاورزی باشد که سهم مهمی در بخش انرژی تجدیدپذیر با میزان کربن کم دارد. بخش کشاورزی و به ویژه کشت گلخانه‌ای می‌تواند با دستیابی به سیستم‌های CHP در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش گازهای گلخانه‌ای، امنیت انرژی و حفظ محیط‌زیست کمک بزرگی کند. در واقع کشاورز همزمان به تولیدکننده محصولات کشاورزی و انرژی تبدیل می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش درآمد با ریسک کمتر شود. البته برای دستیابی به بهترین نتیجه، باید برنامه‌ریزی‌های دقیق و بررسی‌های علمی از تمامی ابعاد اجرای سیستم‌های CHP در منطقه مورد نظر انجام و دولت‌ها نیز نهایت همکاری لازم را با سرمایه‌گذاران داشته باشند تا اجرای این طرح‌ها با موفقیت‌های بیشتری دنبال شود.

۱۰- مراجع

Amiri, H., Kianmehr, M. H., & Arabhosseini, A. (2017). *Compression equipment of waste products and agricultural wastes and municipal waste for pellet production*. 2th National Conference on Harvest and Postharvest Novel Technologies of Agricultural Products. (Persian)

Andrews, R., & Pearce, J. M. (2011). Environmental and economic assessment of a greenhouse waste heat exchange. *Journal of Cleaner Production, 19*, 1446-1454.

Bakos, G. C., Tsioliaridou, E., & Potolias, C. (2008). Technoeconomic assessment and strategic analysis of heat and power co-generation (CHP) from biomass in Greece. *Biomass and Bioenergy, 32*(6), 558-567.

Bang-Møller, C., Rokni, M., Elmegaard, B., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U. B. (2013). Decentralized combined heat and power production by two-stage biomass gasification and solid oxide fuel cells. *Energy, 58*, 527-537.

Behera, S. K., Park, J. M., Kim, K. H., & Park, H. (2010). Methane production from food waste leachate in laboratory-scale simulated landfill. *Waste Management, 30*(8-9), 1502-1508.

Bhattacharyya, S. C., & Thang, D. N. Q. (2004). Economic buy-back rates for electricity from cogeneration: case of sugar industry in Vietnam. *Energy, 29*(7), 1039-1051.

Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R. B., & Hamdi, M. (2005). Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry, 40*(3-4), 989-995.

Buck, A. D., Hers, S., Afman, M., Croezen, H., Rooijers, F., Veen, W. V. D., Wijk, P. V. D., & Slot, Th. (2014). *The future of cogeneration and heat supply to industry and greenhouse horticulture*. Report Delft.

Cantrell, K. B., Ducey, Th., Ro, KS., & Hunt, P. G. (2008). Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. *Bioresource Technology, 99*(17), 7941-7953.

Chandra, R., Vijay, V. K., Subbarao, P. M. V., & Khura, T. K. (2011). Production of methane from anaerobic digestion of jatropha and pongamia oil cakes. *Applied Energy, 93*, 148-159.

[1]Ontario

Compernolle, T., Witters, N., Van Passel, S., & Thewys, T. (2011). Analyzing a self-managed CHP system for greenhouse cultivation as a profitable way to reduce CO_2-emissions. *Energy*, *36*(4), 1940-1947.

Critten, D. L., & Bailey, B. J. (2002). A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. *Agricultural and Forest Meteorology*, *112*(1), 1-22.

Danon, G., Furtula, M., & Mandić, M. (2012). Possibilities of implementation of CHP (combined heat and power) in the wood industry in Serbia. *Energy*, *48*(1), 169-176.

Dentice d'Accacia, M., Sasso, M., Sibilio, S., & Vanoli, L. (2003). Microcombined heat and power in residential and light commercial applications. *Applied Thermal Engineering*, *23*(10), 1247-1259.

Downing, M., & Graham, R. L. (1996). The potential supply and cost of biomass from energy crops in the Tennessee valey authority region. *Biomass and Bioenergy*, *11*(4), 283-303.

Fang, C., O-Thong, S., Boe, K., & Angelidaki, I. (2011). Comparison of UASB and EGSB reactors performance, for treatment of raw and deoiled palm oil mill effluent (POME). *Journal of Hazardous Materials*, *189*(1-2), 229-234.

Ferrer, I., Garfí, M., Uggetti, E., Ferrer-Marti, L., Calderon, A., & Velo, E. (2011). Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes. *Biomass Bioenergy*, *35*(5), 1668-1674.

Fiorese, G., Gatto, M., & Guariso, G. (2013). Optimisation of combustion bioenergy in a farming district under different localisation strategies. *Biomass Bioenergy*, *58*, 20-30.

Fischer, G., & Schrattenholzer, L. (2001). Global bioenergy potentials through 2050. *Biomass Bioenergy*, 20(3), 151-159.

Forbes, E. G. A., Olave, R. J., Johnston, C. R., Browne, J. D., & Relf, J. (2016). Biomass and bio-energy utilisation in a farm-based combined heat and power facility. *Biomass and Bioenergy*, *89*, 172-183.

Forster-Carneiro, T., Pérez, M., Romero, L. I., & Sales, D. (2007). Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of the municipal solid waste: focusing on the inoculum sources. *Bioresource Technology*, *98*(17), 3195-3203.

Hall, D. O., & Scrase, J. I. (1998). Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future?. *Biomass Bioenergy*, *15*(4-5), 357-367.

Hawkes, A., & Leach, M. (2007). Cost-effective operating strategy for residential microcombined heat and power. *Energy*, *32*(5), 711-723.

Holm-Nielsen, J., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, *100*(22), 5478-5484.

Hoogwijk, M., Faaij, A., Broek, R. V. D., Berndes, G., Gielen, D., & Turkenburg, W. (2003). Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy*, *25*(2), 119-133.

IEA technology roadmap: bioenergy for heat and power. (2012). *International Energy Agency report*, OECD/IEA, 68 pages.

IEA & Bioenergy. (2009). *International Energy Agency annual report*, 136 pages.

Jayasinghe, P. A., Hettiaratchi, J. P., Mehrotra, A. K., & Kumar, S. (2011). Effect of enzyme additions on methane production and lignin degradation of landfilled sample of municipal solid waste. *Bioresource Technology*, *102*(7), 4633-4637.

Karellas, S., Karl, J., & Kakaras, E. (2008). An innovative biomass gasification process and its coupling with microturbine and fuel cell systems. *Energy*, *33*(2), 284-291.

Karimzadeh, A., & Aeenmehr, A. (2010). Combined heat & power system to meet demand for electricity and heat at the place of consumption in order to correct the fuel consumption pattern. *Journal of Engineering Knowledge*, *3*(8), 61-69. (Persian)

Kempegowdaa, R. S., Skreibergb, Ø., & Tran, K.Q. (2012). Techno-economic evaluations of various biomass CHP technologies and policy measures under Norwegian conditions. *Energy Procedia*, *20*, 1-10.

Lei, Z., Chen, J., Zhang, Z., & Sugiura, N. (2010). Methane production from rice straw with acclimated anaerobic sludge: effect of phosphate supplementation. Bioresource *Technology*, *101*(12), 4343-4348.

Liszka, M., Malik, T., Budnik, M. & Zie˛bik, A. (2013). Comparison of IGCC (integrated gasification combined cycle) and CFB (circulating fluidized bed) cogeneration plants equipped with CO_2 removal. *Energy*, *58*, 86-96.

Loeser, M., & Redfern, M. (2008). *Micro-scale Biomass Generation Plant Technology-Stand-alone Designs for Remote Customers*, 16th European Biomass Conference and Exhibition.

Lund, H. (2007). Renewable energy strategies for sustainable development. *Energy*, *32*(6), 912-919.

Maare, O. (1992). Economical heat supply of greenhouses experiences from Denmark. *Acta Horticulturae (ISHS)*, *312*, 37-44.

Mertzis, D., Mitsakis, P., Tsiakmakis, S., Manara, P., Zabaniotou, A., & Samaras, Z. (2014). Performance analysis of a small-scale combined heat and power system using agricultural biomass residues: The SMARt-CHP demonstration project. *Energy*, *64*, 367-374.

Ministry of Energy. (2009). *Comprehensive guide for combined heat and power production*. Office for Improving Productivity and the Economy of Electricity and Energy, Iran, 48 pages. (Persian)

Miri, M., Bayati, Gh., & Zarbakhsh, M. H. (2004). *Introduction to combined heat and power systems*. Publishers Ministry of Power-Iran Energy Efficiency Organization, Iran, 107 pages. (Persian)

Mumme, J., Linke, B., & Tölle, R. (2010). Novel upflow anaerobic solid-state (UASS) reactor. *Bioresource Technology*, *101*(2), 592-599.

Nederhoff, E. (2008). Greenhouse growers worldwide face despairingly high energy costs. *Grower*, *63*(8), 1-3.

Neysari, P., Zaresani, H., Kianmehr, M. H., & Arabhosseini, A. (2016). *Processes and methods of anaerobic digestion and biogas production*, The 10th National Congress on Biosystems Eng. (Agr. Machinery) & Mechanization. (Persian)

Nurozi, M. (2015). *Combined heat & power system CHP/introduction, fundamental & design*. Publishers Arad Book, Tehran, Iran, 180 pages. (Persian)

Nurozian, M., Mozafari, S. B., & Karimi, M. (2014). *Documents of efficient CHP (Combined Heat and Power) projects*. Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision, Office of Deputy for Strategic Supervision, Department of Technical Affairs, No. 627, Iran, 125 pages. (Persian)

Onovwiona, H. I., & Ugursal, V. I. (2006). Residential cogeneration systems: review of the current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *10*(5), 389-431.
Panno, D., Messineo, A., & Dispenza, A. (2007). Cogeneration plant in a pasta factory: energy saving and environmental benefit. *Energy*, *32*(5), 746-754.
Ramírez, C. A., Patel, M., & Blok, K. (2006). From fluid milk to milk powder: energy use and energy efficiency in the European dairy industry. *Energy*, *31*(12), 1984-2004.
Rourke, F. O., Boyle, F., & Reynolds, A. (2009). Renewable energy resources and technologies applicable to Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(8), 1975-1984.
Soave Enterprises. (2009). *Other Holdings-Diversified Holdings /Soave Enterprises*. Published at. http://www.soave.com/core/diversified_great.php.
Tiwari, G. (2003). *Greenhouse Technology for Controlled Environment*, Alpha Science Int'l Ltd, Pangbourne, UK.
Venendaal, R., Jorgensen, U., Foster, C. (1997). European energy crops: a synthesis. *Biomass and Bioenergy*, *13*(3), 147-85.
Fatih Demirbas, M. (2007). Hydrogen from various biomass species via pyrolysis and steam gasification processes. *Energy Sources*, *28*(3), 245-252.
Zafari, A., & Kianmehr, M. H. (2013). Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost. *Environmental Technology*, *35*(4), 478-486.
Zhang, L., Lee, Y. W., & Jahng, D. (2011). Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology*, *102*(8), 5048-5059.
Zhao, P., Suryanarayanan, S., & Simoes, M. (2013). An Energy Management System for Building Structures Using a Multi-Agent Decision-Making Control Methodology. *IEEE Transactions on Industry Applications*, *49*(1), 322-330.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران