Doi: 10.22034/IAES.2025.2050978.2104

اقتصاد کشاورزی/جلد ۱۹/شماره۳ /صفحه های ۷۹-۵۱

برآورد توان بالقوه نظری انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران و تأثیر استفاده از آن بر رفاه اجتماعی

امیر مهرجو، حمید امیرنژاد، کمال عطایی سلوط، حسین آزادی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۱۲/۲۱

چکیده

تولید انرژی از پسماندهای کشاورزی یک حوزه مهم تحقیقاتی با توان بالقوه قابل توجهی برای تولید انرژی پایدار است. در ایران، استفاده از پسماندهای کشاورزی برای تولید انرژی، به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی مطلوب، توان بالقوه رویارویی با ناامنی انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ایجاد فرصت‌های اقتصادی برای جامعه‌های روستایی را دارد؛ بنابراین، هدف این تحقیق برآورد توان بالقوه نظری انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران و تأثیر استفاده از آن بر رفاه اجتماعی، با تمرکز ویژه بر استفاده از یک مدل تعادل جزئی با بیشینه کردن مجموع مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، مشروط به محدودیت‌های در دسترس بودن منابع برای تحلیل پیامدهای اقتصادی است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ایران به طور بالقوه می‌تواند حدود ۴۵۷۷۸/۸ هزارتن پسماندهای گیاهی در سال تولید کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کل توان بالقوه انرژی زیست‌توده از پسماندهای موجود در ایران می‌تواند معادل ۱۹۷۹۰۸/۲ مگاژول باشد. انتظار می‌رود کاه گندم و کاه برنج حدود ۶۵ درصد از توان بالقوه انرژی زیست‌توده را تشکیل دهند. همچنین مدل تعادل جزئی شبیه‌سازی شده نشان داد که افزایش قیمت کاه گندم و برنج به ترتیب تا ۵۰ درصد و ۷۵ درصد منجر به بیشترین رفاه اجتماعی در ایران می‌شود؛ بنابراین با توجه به نتایج، قیمت‌گذاری مناسب زیست‌توده و ایجاد انگیزه برای گردآوری پسماند محصول‌های کشاورزی و افزایش آگاهی خانوارها در مورد برتری‌های اقتصادی زیست‌توده می‌تواند به‌عنوان سیاست‌های افزایش رفاه اجتماعی انتخاب و دنبال شود. همچنین برای بهره‌برداری کامل از توان بالقوه انرژی زیست‌توده در ایران انتظار می‌رود که در فناوری‌های استحصال انرژی زیست‌توده سرمایه‌گذاری شود.[۲]

طبقه‌بندی JEL: Q1, Q21, Q41, Q42

واژه‌های کلیدی: پسماندهای کشاورزی، زیست‌توده، مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، مدل تعادل جزئی

[۱] به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد (نویسنده مسئول) و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و دانشیار دانشگاه گنت بلژیک

Email: hamidamirnejad@yahoo.com

مقدمه

تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی از جمله عامل‌های مهم انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرپذیری‌های آب و هوایی است. برای کنترل این اثرگذاری‌ها، روش‌های زیادی از جمله بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توسط دانشمندان و محققان پیشنهاد شده است (Fadai, 2007; Taufiq et al., 2007). این روش‌ها در حال حاضر توسط برخی کشورها (مانند چین، ایالات متحده آمریکا، آلمان، هند، اروگوئه، برزیل) استفاده می‌شود و به نظر می‌رسد انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، بادی، برق‌آبی، زمین‌گرمایی و زیست‌توده منبع اصلی انرژی برای جهان در آینده باشد (Abdullah-Al-Mahbub & Islam, 2023).

در میان انرژی‌های تجدیدپذیر، زیست‌توده به طور گسترده به‌عنوان یک انرژی تجدیدپذیر برای کاهش انتشار دی اکسید کربن و آلودگی محیط‌زیست توصیه شده است .(Popp et al., 2021) در حال حاضر زیست‌توده چهارمین منبع اصلی انرژی در جهان پس از زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی است. این منبع نزدیک به ۱۴ درصد از انرژی اولیه جهانی را تأمین می‌کند و در حال حاضر بیش از ۱۱/۵ درصد از انرژی اولیه جهانی از طریق منابع زیست‌توده تأمین می‌شود (Bahrami & Abbaszadeh, 2013). زیست‌توده یک منبع تجدیدپذیر از محصول‌های زراعی، پسماندهای گیاهی، منابع جنگلی، زباله‌های شهری و فضولات دام است که در سراسر جهان یافت می‌شود (Makul et al., 2021). به همه گیاهان طبیعی مانند درختان، محصول‌های کشاورزی، بوته‌ها و علف‌ها که دارای سلولز[1]، همی‌سلولز[2] و لیگنین[3] هستند زیست‌توده لیگنوسلولزی یا زیست‌توده سلولزی گفته می‌شود (Chowdhury et al., 2025). پس از برداشت محصول‌های کشاورزی، برخی از پسماندهای گیاهی به‌عنوان کود به خاک برگردانده می‌شوند، در حالی که مقدار بسیار زیادی بلااستفاده می‌مانند و در نهایت در کشتزار سوزانده می‌شوند یا رها می‌شوند تا پوسیده شوند. این پسماندهای گیاهی،

[1] Cellulose
[2] Hemicellulose
[3] Lignin

زیست‌توده سلولزی پس از برداشت محصول‌های کشاورزی هستند و بزرگ‌ترین نوع زیست‌توده تولید شده از نظر وزنی هستند (Quartey & Chýlková, 2012).

فناوری‌های تبدیل انرژی زیست‌توده، استفاده از محصول‌هایی مانند گندم، برنج، ذرت، دانه‌های روغنی و نیشکر را گسترش داده است و کشاورزان را قادر می‌سازد محصول‌های خود را فراتر از مواد غذایی و خوراک دام به بازار عرضه کنند (Revilla et al., 2022). استفاده از پسماندهای محصول‌های کشاورزی برای تولید انرژی، درآمد کشاورزان را افزایش می‌دهد و باعث ایجاد اشتغال در کشاورزی و دیگر بخش‌های مرتبط می‌شود که از دیدگاه تولیدکننده، تغییری خوشایند نسبت گذشته است. با این حال، این تغییر به سمت تولید انرژی زیست‌توده مبتنی بر محصول‌های زراعی همراه با افزایش همزمان هزینه‌های تولید کشاورزی در نتیجه افزایش قیمت انرژی و سایر فشارها بر بخش کشاورزی باعث نگرانی گسترده در کشورها می‌شود (Baye et al., 2019). Ewing and Msangi (2009) استدلال کردند که فشار بیش‌ازحد بر بازارهای محصولات کشاورزی باعث افزایش قیمت بین‌المللی مواد غذایی شده و بر رفاه اجتماعی تأثیر می‌گذارد. تأثیر سیاست‌های مختلف بر بازارهای کشاورزی در چندین پژوهش مدل‌سازی شده است و افزایش پیوسته قیمت‌های کالاهای اساسی را در دهه‌های آینده نشان می‌دهد (Von Lampe, 2006; Elobeid & Hart, 2007; Banse & Grethe, 2008; Rosegrant, 2008; Schmidhuber, 2008). این پژوهش با این دیدگاه سازگار است که تولید انرژی زیست‌توده ممکن است درآمد را در بخش کشاورزی افزایش دهد و بازارهای صادراتی را برای کشورهای در حال توسعه باز کند. افزایش صادرات محصول‌های کشاورزی باعث افزایش قیمت مواد غذایی داخلی شده و رفاه جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل، جمعیت‌های آسیب‌پذیر و کم تغذیه ممکن است به‌زغم ظرفیت تولید و در دسترس بودن مواد غذایی، قادر به خرید مواد غذایی با این قیمت‌ها نباشند.

در حالی که کشور ایران از منابع طبیعی فراوان برخوردار است، با چالش‌هایی مانند ناامنی غذایی، حفاظت از محیط‌زیست و توسعه پایدار روبه‌رو است (Naderi et al., 2021). با توجه به تنوع اقلیم در منطقه‌های مختلف و کشت انواع محصول‌های زراعی، ایران توان بالقوه قابل‌توجهی برای تنوع بخشیدن به ترکیب انرژی به ویژه انرژی زیست‌توده دارد. تا دهه ۱۹۹۰ منبع اصلی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران زیست‌توده کشاورزی بود که پیش از استخراج نفت استفاده می‌شد (Alavijeh

& Yaghmaei, 2016). با این وجود، طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، حدود ۹۹/۱ درصد از کل انرژی مصرفی در ایران از طریق سوخت‌های فسیلی تأمین شده است. این مقدار حدود ۱۸/۷ درصد بیشتر از میانگین جهانی در مدت همانند است، بنابراین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل مصرف تنها حدود ۰/۹ درصد بوده است (Solaymani, 2021).

ایران از جمله بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصول‌های کشاورزی در جهان است. ایران در ۱۰ سال گذشته به طور میانگین حدود ۱۰/۹ میلیون هکتار زمین کشاورزی برای تولید محصول‌های زراعی داشته است. در ایران، کشاورزی حدود ۱۱ درصد به تولید ناخالص داخلی کمک می‌کند و شغل بیش از ۱۷/۵ درصد از کل جمعیت است (Statistical Center of Iran, 2023). کشت برنج و گندم یک فعالیت اساسی کشاورزی در ایران است که نقش مهمی در امنیت غذایی دارد. این دو محصول پسماندهایی به صورت پوسته و کاه برنج و کاه گندم تولید می‌کنند. بیشتر پسماند این محصول‌ها در کشتزارها سوزانده می‌شوند و تنها درصد کمی برای تولید انرژی استفاده می‌شود.

تولید انرژی زیست‌توده از پسماندهای کشاورزی در حال حاضر در سراسر جهان انجام می‌شود. به‌عنوان مثال کشورهای ایالات متحده آمریکا، چین، برزیل و ژاپن به ترتیب با ظرفیت‌های نصب شده نزدیک به ۸۱۴۰ مگاوات، ۴۷۸۸ مگاوات، ۴۰۲۴ مگاوات و ۳۷۸۵ مگاوات (IEA, 2024). مقدارهای تولید شده پسماندهای کشاورزی همراه با در دسترس بودن فصلی پسماندهای کشاورزی عامل اصلی تأثیرگذار بر استفاده از زیست‌توده به‌عنوان سوخت در یک نیروگاه است. این امر مستلزم توسعه یک راهبرد مؤثر توسط دولت برای استفاده از پسماندهای محصول به‌عنوان سوخت است (Gosens, 2015) که می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود و بر تولید انرژی و رفاه اجتماعی تأثیر بگذارد (Egbendewe-Mondzozo et al., 2011; Maung & McCarl, 2013).

بررسی‌ها نشان داد که تحقیقات در مورد تأثیر استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی بر رفاه اجتماعی بسیار کم است، اما تحقیقات روی انرژی زیست‌توده به‌نسبت زیاد است. اگرچه اعتقاد بر این است که انرژی زیست‌توده یک گزینه مؤثر از نظر تولید انرژی تجدیدپذیر داخلی است، اما توانایی آن برای بهبود رفاه اجتماعی بحث برانگیز است (Kumar et al., 2023). بررسی جامع تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بیشترین تحقیقاتی که اثرگذاری‌های بازار یک سوخت زیستی را بررسی می‌کنند، بر رقابت برای زمین تمرکز می‌کنند (Thompson et al., 2010; Havlík et al.,

2011). نتایج برخی از این تحقیقات نشان می‌دهند که انرژی زیست‌توده درآمد جایگزین از طریق اشتغال ایجاد می‌کند، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد و در نتیجه امنیت غذایی و رفاه را بهبود می‌بخشد (Sulle et al., 2009; Arndt et al., 2011; Hung et al., 2012; Kgathi et al., 2012; Headey & Martin, 2016). نتایج برخی از دیگر تحقیقات نشان می‌دهند که گسترش انرژی زیست‌توده باعث کاهش در دسترس بودن غذا و افزایش قیمت غذا و در نتیجه کاهش امنیت غذایی و کاهش رفاه می‌شود (Mitchell, 2008; Godfray et al., 2010; Zilberman et al., 2013; Renzaho et al., 2017; Brinkman et al., 2020).

برخی دیگر از محققان بیشتر بر تجزیه‌وتحلیل قیمت، هزینه، منابع زیست‌توده و آلودگی سوخت‌های فسیلی که جایگزین انرژی زیست‌توده می‌شوند تمرکز کرده‌اند (Tofigh & Abedian, 2016; Paolini et al., 2018; Jekayinfa & Scholz; 2009. Xin et al., 2018; Welfle et al., 2020; Zheng & Qiu, 2020). به‌عنوان مثال، Landälv (2017) در تحقیقی به این نتیجه رسید که مهم‌ترین عامل تعیین کننده تولید انرژی زیست‌توده، قیمت مواد اولیه است. Ben-Iwo et al (2016) منابع زیست‌توده (شامل پسماندهای کشاورزی، جنگلی، شهری و دیگر) موجود در نیجریه را برای تولید انرژی زیست‌توده ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که ۸۰ درصد از کل انرژی مصرفی در نیجریه را زیست‌توده جامد و زباله‌ها تشکیل می‌دهند. Lauri et al (2017) پیامدهای بازار استفاده از زیست‌توده جنگلی برای رسیدن به کاهش میانگین ۲ درجه سلسیوس دمای جهانی را بررسی کردند. آنان دریافتند که برای رسیدن به این هدف باید بیش از پیش از زیست‌توده استفاده کرد. Kangas et al (2011) تأثیر ابزارهای سیاستی حمایت از انرژی زیست‌توده را بر روی سرمایه‌گذاری در پالایشگاه تولید انرژی از زیست‌توده بررسی کردند. نتایج ارزیابی آنان نشان داد که یارانه کارآمدترین اقدام سیاستی برای بکارگیری انرژی زیست‌توده در کارخانه‌های خمیر و کاغذ فنلاند است.

برخی از محققان ظرفیت سالانه تولید زیست‌توده را در کشورهای مختلف بررسی کردند (Najafi et al., 2009; Singh & Gu, 2010; Hamzeh et al., 2011; Hosseini et al., 2013; Okello et al., 2013; Gabisa & Gheewala, 2018; Tolessa, 2023; Sebastian et al., 2025). به‌عنوان مثال، Ozdil and Caliskan (2022) توان بالقوه زیست‌توده تولید شده از محصول‌های کشاورزی و تولید برق با استفاده از زیست‌توده برای منطقه‌های مختلف ترکیه را بین سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۸ محاسبه

کردند. مجموع زیست‌توده حاصل شده از محصول‌های زراعی ۷۷۱۳۵۴ کیلوتن محاسبه شد که ۵۹۹۱۶۶ کیلوتن از این مقدار ناشی از محصول‌های زراعی و ۱۷۲۱۸۸ کیلوتن مربوط به محصول‌های باغی بوده است.بنا بر داده‌های گردآوری شده از وزارت انرژی ترکیه، برق مصرفی در دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۸ برای ترکیه ۲۷۲۶ × ۱۰۹ کیلووات ساعت است در حالی که توان بالقوه برق به دست آمده از محصول‌ها در همان سال‌ها حدود ۹۹۴ × ۱۰۹ کیلووات ساعت است؛ یعنی ۳۶ درصد انرژی مورد نیاز را می‌توان از توان بالقوه زیست‌توده محصول‌های کشاورزی تأمین کرد.

Hasan and Ammenberg (2019) تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر را به‌عنوان راهی پایدار برای کاهش انتشار CO_2 در نظر گرفتند؛ بنابراین، آنان به توان بالقوه تولید بیوگاز از زباله‌های شهری و پسماندهای کشاورزی در قلمرو شهری داکا به نام هزاری باغ پرداختند. آنان نشان دادند که توان بالقوه خوبی برای تولید بیوگاز و تولید برق از زباله‌های شهری و پسماندهای کشاورزی هزاری باغ وجود دارد.

Uzair et al (2020) استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در پاکستان را بهترین راه برای جبران نیازهای انرژی و کاهش مصرف سوخت فسیلی دانستند. آنان نشان دادند که سالانه مقدار زیادی پسماند کشاورزی تولید می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یک نهاده ارزان برای تولید برق استفاده شود. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که در مجموع می‌توان حدود ۱۷۰۰ مگاوات برق از پسماندهای کشاورزی چهار محصول اصلی (به‌عنوان مثال، ذرت، پنبه، گندم و برنج) تولید کرد.

از دیگر تحقیقاتی که به توان بالقوه تولید انرژی از زیست‌توده و کاهش انتشار گاز گلخانه‌ای در اثر استفاده از انرژی زیست‌توده توجه کردند، می‌توان به نتایج تحقیقات زیر اشاره کرد (Matsumura et al., 2005; Azizaddini et al., 2012; Chen, 2016; Chang et al., 2019; Rincon et al., 2019; Kang et al., 2020; Welfle et al., 2020; Zia et al., 2020; Scurlock, 2009; Hosseini et al., 2013; Newell et al., 2016; Ekman et al., 2013; Hosseini & Wahid, 2013; Abdullah et al., 2021).

ترکیب انرژی در ایران از چهار منبع اصلی تشکیل شده است که عبارت‌اند از: نفت خام (ایران چهارمین تولیدکننده بزرگ نفت در جهان است)، گاز طبیعی (ایران نخستین کشور در خاورمیانه و دومین در جهان است)، زغال‌سنگ (تنها ۰/۲۱ درصد از ترکیب انرژی در ایران را سهم دارد) و انرژی‌های تجدیدپذیر (کمتر از ۱٪). از آنجایی که ایران ششمین تولیدکننده سرانه گازهای

گلخانه‌ای در جهان است (۲/۱۴ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان) و با توجه به توان بالقوه استفاده از منابع انرژی زیست‌توده، ایران باید به استفاده از انرژی زیست‌توده توجه بیشتری داشته باشد (Mohammadnejad et al., 2011). بررسی ادبیات تحقیق نشان داد تحقیقات زیادی برای ترویج استفاده از انرژی زیست‌توده انجام شده است؛ اما اثرگذاری‌های رفاهی استفاده از انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران هنوز بررسی نشده است؛ بنابراین پس از برآورد توان بالقوه نظری انرژی زیست‌توده سلولزی در ایران به دنبال بررسی این موضوع هستیم که افزایش قیمت زیست‌توده تا چه حد می‌تواند رفاه اجتماعی را تغییر دهد.

با توجه به مطالب گفته شده، در این تحقیق در آغاز بر روی در دسترس بودن فنی عرضه زیست‌توده در ایران تمرکز می‌شود. در مرحله بعدی توان بالقوه نظری زیست‌توده بررسی می‌شود و در نهایت با در نظر گرفتن توان بالقوه انرژی موجود و ارزش دمایی پسماندهای گیاهی، توان بالقوه نظری انرژی زیست‌توده بررسی می‌شود. در مرحله آخر تغییرپذیری‌های رفاه اجتماعی در قیمت‌های مختلف زیست‌توده بررسی شده است.

روش‌شناسی

توان بالقوه تولید برق از منابع زیست‌توده مبتنی بر پسماندهای کشاورزی در ایران با استفاده از سالنامه‌های آماری درگاه ملی آمار از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ ارزیابی شده است (https://amar.org.ir/salnameh-amari). پسماندهای کشاورزی از دو محصول اصلی (برنج و گندم) برای برآورد اولیه توان بالقوه انرژی زیست‌توده انتخاب شده است. دوره رشد برنج از اردیبهشت تا شهریور و برای گندم از آذر تا اردیبهشت است؛ در نتیجه، نیازی به ذخیره مقدار قابل‌توجهی از پسماندهای محصول نیست زیرا در طول سال در دسترس خواهد بود. در دسترس بودن پسماندهای گیاهی برای تولید برق با استفاده از داده‌های تولید محصول با این فرض که می‌توان ۵۰ درصد از پسماندهای گیاهی موجود را گردآوری کرد برآورد شده است؛ چرا که محدودیت‌های زیادی در ارتباط با گردآوری، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی زیست‌توده وجود دارد و بخشی از پسماندها در این فرآیندها از بین می‌روند (Ozturk and Bascetincelik, 2006).

روش‌شناسی محاسبه کل پسماندهای تولیدی و توان بالقوه تولید برق از زیست‌توده در ایران

توان بالقوه نظری زیست‌توده[1] (TBP) کل تولید سالانه زیست‌توده به دست آمده از پسماندهای کشاورزی را نشان می‌دهد. ارزش TBP بسته به مقدار تولید سالانه محصول‌ها و نسبت تولید پسماندها[2] (RPR) متفاوت است. TBP پسماندهای گیاهی را می‌توان با معادله (۱) محاسبه کرد:

$$TBP_i = \sum_{i=1}^{n} CP_i \times RPR_i \quad (۱)$$

در معادله (۱) CP_i مقدار محصول تولید شده در سال t را به تن و RPR_i نشان‌دهنده نسبت پسماند به تولید محصول است. به‌عنوان مثال RPR=2 نشان می‌دهد که به ازای هر تن تولید محصول، دو تن پسماند تولید می‌شود (Singh, 2015).

از معادله (۲) برای محاسبه توان بالقوه انرژی در دسترس[3] (AEP) استفاده می‌شود:

$$AEP_i = \sum_{i=1}^{n} TBP_i \times A_i \quad (۲)$$

در معادله (۲)، A_i نرخ گردآوری پسماند است که به‌صورت درصد بیان می‌شود.

از معادله (۳) برای محاسبه توان بالقوه انرژی نظری[4] (TEP) زیست‌توده استفاده شده است:

$$TEP_i = \sum_{i=1}^{n} AEP_i \times HV_i \quad (۳)$$

در معادله (۳) HV_i نشان‌دهنده ارزش گرمایشی نیروگاه است که واحد آن MJ/kg می‌باشد..

توان بالقوه نظری انرژی زیست‌توده در بسیاری از متون به روش‌های همانند محاسبه شد (Ozturk & Bascetincelik, 2006; Iye & Bilsborrow, 2013; Milhau & Fallot, 2013; Okello et al., 2013; Riva et al., 2014).

---

[1] Theoretical Biomass Potential
[2] Residue Production Ratio
[3] Available Energy Potential
[4] Theoretical Energy Potential

روش‌شناسی برای ارزیابی رفاه اجتماعی

روش‌های مختلفی برای تحقیق تولید انرژی زیست‌توده استفاده شده است (Lobell & Burke, 2010; Chen et al., 2016)، اما Chang et al (2012) در تحقیق‌شان به این نتیجه رسیدند که تحلیل‌های کل بخش مانند مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی بر مدل‌های آماری ارجحیت دارند، زیرا آن‌ها به‌طور مناسب تغییرپذیری‌های رفاه اجتماعی را تحت واکنش‌های مختلف بازار به تصویر می‌کشند. بر همین مبنا این تحقیق یک چارچوب برنامه‌ریزی ریاضی قیمت-درون‌زا را پیشنهاد می‌کند تا تغییر قیمت انرژی زیست‌توده سلولزی را در رفاه اجتماعی منعکس کند.

نظریه تعادل جزئی در آغاز توسط مارشال در سال ۱۹۲۰ مطرح شد (Canova, 1994). تعادل جزئی به وضعیتی اشاره دارد که در آن رابطه عرضه و تقاضای یک بازار واحد می‌تواند قیمت کالاها را تعیین کند و دیگر بازارها ثابت فرض شوند. در تحلیل تعادل جزئی حوزه تحلیل به یک بخش خاص اقتصاد داخلی و بین‌المللی محدود می‌شود و دیگر موارد دست‌کم به طور نظری ثابت فرض می‌شوند. اگرچه در چنین تحلیلی رابطه بین بازارهای مختلف مورد توجه قرار نمی‌گیرد؛ اما درک پیامدهای ناشی از سیاست‌ها در تحلیل تعادل جزئی بسیار آسان است؛ بنابراین، استفاده از مدل‌های تعادل جزئی می‌تواند برای تحلیل پیامد اعمال سیاست‌های مختلف بسیار سودمند باشد. در ایجاد این مدل‌ها، به اطلاعات بسیار محدودتری نسبت به مدل‌های تعادل عمومی نیاز است که با واقعیت محدودیت اطلاعات در کشورهای جهان سوم، همخوانی بیشتری دارد (Sacchelli et al., 2014).

چارچوب مدل در این تحقیق، از پژوهش ساموئلسون (Samuelson, 1952) و چندین پژوهش دیگر (Adams et al., 1990; Kung et al., 2013) گرفته شده است. Takayama and Judge (1964) رویکرد ساموئلسون را به مسئله‌های تعادل مکانی و زمانی گسترش دادند و نشان دادند که با بیشینه کردن مجموع مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، مشروط به محدودیت‌های در دسترس بودن منابع، می‌توان تعادل اقتصادی چند بازاری را حل کرد. این روش در ارزیابی‌های تجربی چندی استفاده شده است (McCarl & Spreen, 1980; Chang et al., 1992; Lambert et al., 1995; McCarl & Schneider, 2000; Guieysse et al., 2013; Kung & Zhang, 2015). این مدل، بازارهای کالاهای کشاورزی و انواع مختلفی از پسماندهای محصول را در نظر می‌گیرد. در این

تحقیق از رویکرد Takayama and Judge (1964)، مدل برنامه‌ریزی ریاضی توسعه‌یافته به شرح زیر استفاده شده است:

$$Max: \sum_{i=1}^{2}[\alpha_0 - \alpha_1 D_i] + \sum_{i=1}^{2}\left[(pwx_{(i)}.\left(1 - tx_{(i)}\right)Exchange + CostX_{(i)})X_i\right] + \sum_{i=1}^{2}\left[\left(Biomass_{(i)}.PBiomass_{(i)} - CostBiomass_{(i)}\right)Land_{(i)}\right] - \sum_{i=1}^{2}[\beta_0 + \beta_1 S_i] - \sum_{i=1}^{2}\left[(pwm_{(i)}.\left(1 + tm_{(i)}\right) + CostM_{(i)})M_i\right] \quad (۴)$$

Subject to:

$$S_i + M_i \geq X_i + D_i \quad (۵)$$

$$P_i \geq \alpha_0 - \alpha_1 D_i \quad (۶)$$

$$P_i \leq \beta_0 + \beta_1 S_i \quad (۷)$$

$$P_i \geq (pwm_{(i)}.\left(1 + tm_{(i)}\right) + CostM_{(i)}) \quad (۸)$$

$$P_i \leq (pwx_{(i)}.\left(1 - tx_{(i)}\right)Exchange + CostX_{(i)}) \quad (۹)$$

$$Land_i \leq Total\ Land \quad (۱۰)$$

$$B_i = \mu_i S_i \quad (۱۱)$$

$$BE_i = \theta.B_i \quad (۱۲)$$

$$S_i, M_i, X_i, D_i, P_i, B_i, BE_i \geq 0 \quad (۱۳)$$

در معادله (۴)، α_0 عرض از مبدأ تابع تقاضا محصول iام، α_1 کشش قیمتی تابع تقاضا محصول iام، D_i مقدار تقاضای محصول iام، $pwx_{(i)}$ قیمت صادراتی محصول iام، $tx_{(i)}$ تعرفه صادرات محصول iام، $Exchange$ نرخ ارز، $COSTX_i$ هزینه صادرات محصول iام، X_i مقدار صادرات محصول iام، $Biomass_{(i)}$ مقدار زیست‌توده محصول iام، $PBiomass_{(i)}$ قیمت زیست‌توده محصول iام، $CostBiomass_{(i)}$ هزینه گردآوری زیست‌توده محصول iام، $Land_{(i)}$ گستره زمین تخصیص یافته به محصول iام، β_0 عرض از مبدأ تابع عرضه محصول iام، β_1 کشش قیمتی تابع عرضه محصول iام، S_i

مقدار عرضه محصول iام، $pwm_{(i)}$ قیمت وارداتی محصول iام، $CostM_{(i)}$ هزینه واردات مجصول iام و M_i مقدار واردات محصول iام می‌باشد. در واقع معادله (۴) نشان‌دهنده تعادل پولی بلندمدت در بازار است. بر این مبنا که کل درآمد حاصل از فروش محصول‌های کشاورزی به مصرف‌کنندگان داخلی و درآمد حاصل از صادرات افزون بر درآمد حاصل از گردآوری زیست‌توده منهای هزینه تولید محصول‌ها و هزینه واردات محصول‌ها باید بیشینه باشد تا رفاه جامعه نیز بیشینه شود.

معادله‌های (۵-۱۰) از دیدگاه‌های مختلف بیانگر تعادل در بازار محصول‌های کشاورزی است. معادله (۵) تعادل کمی در بازار محصول‌های کشاورزی را نشان می‌دهد که در آن مقدار کل محصول‌های کشاورزی تولید شده و وارداتی باید پاسخگوی نیازهای داخلی و صادرات باشد. معادله (۶) رفتار مصرف‌کننده را نشان می‌دهد؛ جایی که تقاضای بهینه زمانی رخ می‌دهد که میل نهایی مصرف‌کننده برای پرداخت کمتر یا برابر با قیمت بازار محصول‌ها باشد. به‌طور مشابه، معادله (۷) رفتار تولیدکننده را نشان می‌دهد؛ جایی که عرضه بهینه زمانی رخ می‌دهد که هزینه تولید نهایی بیشتر یا برابر با درآمد نهایی تولید باشد. معادله‌های ۸ و ۹ بیانگر امکان واردات و صادرات محصول‌های کشاورزی در مدل است. در این معادلات P_i بیانگر قیمت محصول iام می‌باشد.

در معادله (۸)، $(pwm_{(i)}.(1+tm_{(i)})+CostM_{(i)})$ قیمت محصول وارداتی را نشان می‌دهد؛ بنابراین تا زمانی که قیمت محصول وارداتی کمتر یا برابر قیمت داخلی آن محصول باشد، واردات در سطح بهینه خواهد بود. همچنین، زمانی صادرات در سطح بهینه خواهد بود که قیمت محصول صادراتی بیشتر یا برابر با قیمت داخلی آن محصول باشد، یعنی $(pwx_{(i)}.(1-tx_{(i)})Exchange+CostX_{(i)})$ (معادله ۹). معادله (۱۰) بیانگر این مطلب است که کل زمینی که به محصول iام تخصیص داده شده است نمی‌تواند از کل اراضی کشاورزی بیشتر باشد. در معادله (۱۱) $(\mu_i S_i)$ زیست‌توده بالقوه قابل تولید از محصول iام را نشان می‌دهد. معادله (۱۲) میزان انرژی قابل تولید از زیست‌توده سلولزی را نشان می‌دهد. در نهایت، شرایط متغیرهای غیر منفی در مدل در معادله (۱۳) نشان داده شده است.

در این تحقیق پسماندهای دو محصول مهم و راهبردی کاه گندم و کاه برنج را در نظر گرفته شد. تعادل بازار با بیشینه کردن مجموع مازاد مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان در بخش کشاورزی،

مشروط به شرایط تسویه بازار و محدودیت‌های در دسترس بودن منابع، با فرض اینکه بازارهای کشاورزی در ایران به‌کل رقابتی هستند، تعیین می‌شود.

داده‌های مورد نیاز برای واسنجی مدل شبیه‌ساز ریاضی از سالنامه‌های آماری وزارت جهاد کشاورزی، گمرک، وزارت نیرو و سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر استخراج شده است. مقدار پارامترهای توابع عرضه و تقاضا با اقتباس از نتیجه بررسی Chen (2016) وارد مدل شد. در نهایت مدل شبیه‌ساز ریاضی در محیط نرم‌افزار GAMS اجرا و با استفاده از الگوریتم CONOPT3 حل شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ عمده محصول‌های زراعی ایران را نشان می‌دهد. در حال حاضر، بسیاری از پسماندهای کشاورزی یاد شده در این جدول به‌ندرت برای تولید برق استفاده قرار می‌شوند. در این تحقیق مجموع تولید سالانه کنونی ۶۴۴۷۶ کیلوتن برآورد شده است. از بین همه محصول‌هایی که در ایران کشت می‌شود، عملکرد گندم بیشتر از هر محصول دیگری است. نسبت تولید پسماندها (RPR) در ایران در ستون ۲ جدول ۱ ارائه شده است. RPR محصول‌های مختلف نیز بسته به عامل‌های مختلفی از جمله تنوع محصول، تأمین آب و مواد مغذی و استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد شیمیایی متفاوت است (Eisentraut, 2010). برای ارائه یک رقم واقعی در مورد توان بالقوه پسماندهای گیاهی، عامل در دسترس بودن در ستون ۴ جدول ۱ معرفی شده است.

جدول (۱) مقدار محصول زراعی و نسبت پسماندهای محصول در ایران

Table (1) Amount of crops product and ratio of product residue in Iran

ارزش گرمایی Heat value (GJ/ton)	در دسترس بودن Availability (A)(%)	نسبت تولید پسماند Ratio of Product Residue (RPR)	مقدار محصول تولید شده (کیلوتن) Amount of Crops Product (kiloton)	محصول‌ها Crops
17.6	50	1.13	11508	گندم Wheat
17.9	50	0.57	3087	جو Barley
17	50	1.2	2754	برنج Rice
17	50	1.09	1432	ذرت Maize

ادامه جدول (۱) مقدار محصول زراعی و نسبت پسماندهای محصول در ایران

Table (1) Amount of crops product and ratio of product residue in Iran

ارزش گرمایی Heat value (GJ/ton)	در دسترس بودن Availability (A)(%)	نسبت تولید پسماند Ratio of Product Residue (RPR)	مقدار محصول تولید شده (کیلوتن) Amount of Crops Product (kiloton)	محصول‌ها Crops
17.6	50	0.737	227	نخود Pea
17.9	50	2.28	211	لوبیا Beans
-	50	2.88	71	عدس Lentils
18.1	50	2.5	193	پنبه Cotton
14.4	50	0.1	5170	چغندرقند Sugar beet
-	50	0.31	6037	نیشکر Sugar cane
17.2	50	2.5	125	سویا Soy
17.2	50	0.114	4917	سیب‌زمینی Potato
17.1	50	0.1	5842	گوجه‌فرنگی Tomato
-	50	0.5	1604	خربزه Melon
-	50	0.5	3633	هندوانه Watermelon
-	50	0.5	1620	خیار Cucumber
18.4	0	0.5	5677	یونجه Alfalfa*
18	0	0.5	850	شبدر Clover*
18	0	1.5	9518	درت علوفه‌ای Corn*
-	-	-	64476	مجموع Total

منبع : یافته های تحقیق Source: Research findings

* یونجه، شبدر و ذرت علوفه‌ای غذای دام هستند؛ بنابراین مقدار در دسترس بودن آن‌ها صفر است.

در جدول ۲، توان بالقوه نظری زیست‌توده، توان بالقوه انرژی در دسترس و توان بالقوه نظری انرژی پسماندهای زیست‌توده کشاورزی در کشتزارهای ایران محاسبه شده است.

جدول (۲) توان بالقوه نظری زیست‌توده، توان بالقوه انرژی در دسترس و توان بالقوه نظری انرژی در ایران

Table (2) Theoretical biomass potential, available energy potential and the theoretical energy potential in Iran

توان بالقوه نظری انرژی Theoretical energy potential	توان بالقوه انرژی در دسترس Available energy potential	توان بالقوه نظری زیست‌توده Theoretical biomass potential (kiloton)	محصول‌ها Crops
114435.2	6502	13004	گندم Wheat
15747.5	879.75	1759.5	جو Barley
28090.8	1652.4	3304.8	برنج Rice
13266.8	780.4	1560.8	ذرت Maize
1471.3	83.6	167.2	نخود Pea
4304.9	240.5	481	لوبیا Beans
-	102.2	204.4	عدس Lentils
4366.6	241.25	482.5	پنبه Cotton
3722.4	258.5	517	چغندرقند Sugar beet
-	935.7	1871.4	نیشکر Sugar cane
2687.5	156.25	312.5	سویا Soy
4820.3	280.25	560.5	سیب‌زمینی Potato
4994.9	292.1	584.2	گوجه‌فرنگی Tomato
-	401	802	خربزه Melon
-	908.25	1816.5	هندوانه Watermelon

ادامه جدول (۲) توان بالقوه نظری زیست‌توده، توان بالقوه انرژی در دسترس و توان بالقوه نظری انرژی در ایران

Table (2) Theoretical biomass potential, available energy potential and the theoretical energy potential in Iran

توان بالقوه نظری انرژی Theoretical energy potential	توان بالقوه انرژی در دسترس Available energy potential	توان بالقوه نظری زیست‌توده Theoretical biomass potential (kiloton)	محصول‌ها Crops
-	405	810	خیار Cucumber
0	0	2838.5	یونجه Alfalfa
0	0	425	شبدر Clover
0	0	14277	ذرت علوفه‌ای Corn
197908.2		45778.8	مجموع Total

منبع : یافته های تحقیق Source: Research findings

توان بالقوه نظری زیست‌توده را می‌توان با استفاده از داده‌های تولید سالانه محصول‌ها و با استفاده از داده‌های نسبت پسماند به محصول برای محصول‌های عمده سال ۱۴۰۰ محاسبه کرد (ستون ۲ جدول ۲). برآورد می‌شود که توان بالقوه نظری زیست‌توده در حدود ۴۵/۷۸۸ میلیون تن در سال باشد. نتایج با نتایج به‌دست‌آمده در سایر تحقیقات انجام شده در ایران همخوانی دارد (Najafi et al., 2009; Hamzeh et al., 2011; Samadi et al., 2020; S Mohsen et al., 2021). سه محصول عمده تولید کننده پسماند ذرت، گندم و برنج هستند که به ترتیب ۳۱/۱۸ درصد، ۲۸/۴ درصد و ۷/۲۱ درصد از کل تولید پسماندهای گیاهی را دارند. پسماندهای گندم و برنج زیست‌توده لیگنوسلولزی هستند و بنابراین حاوی مقدار بالایی از ترکیب‌های آلی (به‌عنوان مثال سلولز، همی سلولز و لیگنین) و محتوای انرژی بالایی هستند؛ بنابراین، آن‌ها را می‌توان به‌عنوان یک منبع بالقوه انرژی تجدید پذیر شناخت (Eisentraut, 2010).

بر مبنای توان بالقوه نظری زیست‌توده و در نظر گرفتن عامل در دسترس بودن برای پسماندهای گیاهی، توان بالقوه نظری انرژی برآورد می‌شود. در واقع، پسماندهای محصول می‌توانند انرژی را با توجه به ارزش گرمایی خود در هنگام سوزاندن آزاد کنند. در ستون ۴ جدول ۲، بر مبنای

مقدارهای گرمادهی پسماند هر محصول، توان بالقوه نظری انرژی پسماند محصول برآورد شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که کل توان بالقوه انرژی زیست‌توده از پسماندها در ایران می‌تواند معادل ۱۹۷۹۰۸/۲ مگا ژول باشد. مشاهده می‌شود که توان بالقوه عظیمی برای تولید برق از زیست‌توده در ایران وجود دارد و می‌توان کسری برق را با استفاده و مدیریت صحیح پسماندهای گیاهی به کمینه رساند.

جدول (۳) نتایج مدل شبیه‌ساز ریاضی تحت قیمت‌های مختلف انرژی زیست‌توده

Table (3) Results of the mathematical simulator model under different biomass energy prices

	گندم Wheat				
	مقدار شبیه‌سازی شده Simulated value	پیش‌فرض ۱ Scenario (1)	پیش‌فرض ۲ Scenario (2)	پیش‌فرض ۳ Scenario (3)	پیش‌فرض ۴ Scenario (4)
تولید Production	11676.44 (-)	12694.41 (8.7)	15721.5 (34.6)	14786.76 (26.6)	16002.21 (37)
زیست‌توده Biomass	13152.59 (-)	13427.99 (2)	14264.64 (8.4)	13994 (6.3)	14323 (8.8)
قیمت Price	61250 (-)	153750 (151)	261540 (327)	286300 (367)	315240 (414)
مازاد مصرف‌کننده Consumer surplus	16272.3 (-)	15272 (-6.1)	13071.9 (-19.6)	14584 (-10.3)	10325.2 (-36.5)
مازاد تولیدکننده Producer surplus	20271000 (-)	29529800 (45.6)	36590050 (80.5)	30171500 (48.8)	37521060 (85)
رفاه Welfare	17106400 (-)	17322740 (1.2)	18228900 (6.5)	17648100 (3.1)	17532530 (2.4)

منبع : یافته های تحقیق Source: Research findings

توجه: مقدار شبیه‌سازی شده وضعیت کنونی را در نظر می‌گیرد. پیش‌فرض (۱) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۲۵٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. پیش‌فرض (۲) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۵۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. پیش‌فرض (۳) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۷۵ درصد بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. پیش‌فرض (۴) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۱۰۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است.
مقدارهای داخل پرانتز درصد تغییرپذیری‌های هر پیش‌فرض نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳ نشان می‌دهد که با توجه به پیش‌فرض‌ها، افزایش قیمت زیست‌توده برای ترغیب کشاورزان به گردآوری پسماندهای محصول مورد نیاز است. در پیش‌فرض یکم، برای محصول گندم،

انتظار می‌رود تولید پسماند گیاهی با قیمت زیست‌توده ۱۵/۳۷۵ میلیون تومان در هر تن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در پیش‌فرض دوم، با فرض اینکه قیمت زیست‌توده ۵۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده باشد، قیمت زیست‌توده ۲۶/۱۵۴ میلیون تومان در هر تن برای آغاز گردآوری پسماندهای گیاهی مورد نیاز است. در پیش‌فرض سوم قیمت زیست‌توده ۲۸/۶۳ میلیون تومان در هر تن برای آغاز گردآوری پسماندهای گیاهی مورد نیاز است. در پیش‌فرض چهارم، قیمت زیست‌توده ۳۱/۵۲۴ میلیون تومان در هر تن برای گردآوری پسماندهای محصول از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است.همچنین بر مبنای تغییرپذیری‌های قیمت زیست‌توده نتایج مدل رفاه اجتماعی برای محصول گندم در پیش‌فرض دوم به بالاترین مقدار خود رسیده است بنابراین برای تشویق کشاورزان به گردآوری زیست‌توده با بیشینه شدن رفاه اجتماعی، افزایش قیمت زیست‌توده تا ۵۰ درصد نسبت به ارزش شبیه‌سازی شده ضروری است.

نتایج شبیه‌سازی مدل برای محصول برنج در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول (۴) نتایج مدل شبیه‌ساز ریاضی تحت قیمت‌های مختلف انرژی زیست‌توده

Table (4) Results of the mathematical simulator model under different biomass energy prices

	برنج Rice				
	مقدار شبیه‌سازی شده Simulated value	پیش‌فرض ۱ Scenario (1)	پیش‌فرض ۲ Scenario (2)	پیش‌فرض ۳ Scenario (3)	پیش‌فرض ۴ Scenario (4)
تولید Production	2776.24 (-)	2794.41 (0.6)	2865.76 (3.2)	2878.5 (3.6)	2881.3 (3.7)
زیست‌توده Biomass	3249.59 (-)	3354.99 (3.2)	3373.75 (3.8)	3377.195 (3.9)	3478.251 (7)
قیمت Price	80300 (-)	152300 (89.6)	275900 (243.5)	321000 (299.7)	377200 (369.7)
مازاد مصرف‌کننده Consumer surplus	165.723 (-)	163.71 (-1.2)	162.969 (-1.6)	162.719 (-1.8)	153.11 (-7.6)
مازاد تولیدکننده Producer surplus	289170 (-)	298005 (3)	301716 (4.3)	365900 (26.5)	376201 (30)
رفاه Welfare	60201900 (-)	64600074 (7.3)	66259237 (10)	66553798 (10.5)	65352166 (8.5)

منبع : یافته های تحقیق

Source: Research findings

توجه: مقدار شبیه‌سازی شده وضعیت کنونی را در نظر می‌گیرد. پیش‌فرض (۱) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۲۵٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. پیش‌فرض (۲) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۵۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. پیش‌فرض (۳) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۷۵ درصد بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است. پیش‌فرض (۴) فرض می‌کند که قیمت انرژی زیست‌توده ۱۰۰٪ بیشتر از مقدار پایه شبیه‌سازی شده است.
مقدارهای داخل پرانتز درصد تغییرپذیری‌های هر پیش‌فرض نسبت به مقدار شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود در پیش‌فرض یک، پیش‌فرض دو، پیش‌فرض سه و پیش‌فرض چهار قیمت زیست‌توده به ترتیب ۱۵/۲۳، ۲۷/۵۹، ۳۲/۱، ۳۷/۷۲ میلیون تومان با ازای هر تن است. تولید کاه برنج از ۲۷۷۶/۲۴ هزار تن در ارزش شبیه‌سازی شده به ۲۸۸۱/۳ هزار تن در پیش‌فرض چهارم افزایش می‌یابد. قیمت زیست‌توده نیز از ۸/۰۳ میلیون تومان در هر تن در ارزش شبیه‌سازی شده به ۳۷/۷۲ میلیون تومان در هر تن در پیش‌فرض چهارم افزایش می‌یابد.
با افزایش قیمت زیست‌توده، رفاه اجتماعی از ۶۰ میلیون تومان در هر هکتار در ارزش شبیه‌سازی شده به ۶۶ میلیون تومان در هر هکتار در پیش‌فرض (۳) افزایش می‌یابد، در حالی که رفاه اجتماعی در پیش‌فرض چهارم کاهش می‌یابد؛ بنابراین، قیمت زیست‌توده ۳۲/۱ میلیون تومان در هر تن برای ایجاد انگیزه در کشاورزان برای گردآوری پسماندهای محصول برنج برای بیشینه کردن رفاه اجتماعی مورد نیاز است.

نتیجه‌گیری

تقاضای انرژی در کشور همواره در حال افزایش است. انرژی‌های زیست‌توده، از جمله پسماندهای کشاورزی، یک گزینه امیدوارکننده با تأثیر بالقوه بزرگ در کشورهای در حال توسعه است، چرا که در این کشورها انتشار دی اکسید کربن بالا است. از زیست‌توده می‌توان برای رفع انواع نیازهای انرژی از جمله تولید برق استفاده کرد. زیست‌توده در حدود یک‌سوم کل انرژی در کشورهای در حال توسعه و به طور کلی نزدیک به ۹۰٪ در برخی از کشورهای کمتر توسعه یافته را تشکیل می‌دهد (Guresci, 2020). ایران کشوری در حال توسعه با توان بالقوه غنی زیست‌توده است. در این تحقیق به این نتیجه رسیدیم که ۱۹۷۹۰۸/۲ گیگا ژول انرژی از پسماندهای کشاورزی در ایران قابل تولید است که برای بهره‌برداری کامل از این توان بالقوه انتظار می‌رود که در فناوری‌های

استحصال انرژی زیست‌توده سرمایه‌گذاری شود. برای این هدف، هماهنگ‌سازی سیاست‌های کشاورزی و زیست‌محیطی تأثیر مثبتی بر تولید انرژی زیست‌توده دارد.

توان بالقوه نظری انرژی برآورد شده از پسماندهای کشاورزی دو محصول گندم و برنج در ایران به ترتیب برابر با ۱۱۴۴۳۵/۲ و ۲۸۰۹۰/۸ مگاژول است. این دو محصول بیشترین میزان توان بالقوه نظری انرژی را در ایران ایجاد می‌کنند. یکی از یافته‌های اصلی این پژوهش این است که برای تولید انرژی زیست‌توده بهتر است روی منطقه‌هایی که گندم و برنج به‌وفور کشت می‌شود، تمرکز کنیم. سرمایه‌گذاری در نیروگاه زیست‌توده گزینه خوبی است، برق ارزان و پایدار را می‌توان با استفاده از پسماندهای مختلف کشاورزی تولید کرد اما راه‌حل کاملی برای حل بحران آب و هوایی کنونی در ایران نیست. دولت باید نقش خود را در توسعه تعرفه اولیه یارانه‌ای برای جذب و آسانگری سرمایه‌گذاران بالقوه برای پیگیری سریع توسعه پروژه‌های مربوط به تولید انرژی از زیست‌توده ایفا کند. جدای از سرمایه‌گذاری دولت در نیروگاه، برخی از صنایع که تقاضای انرژی بیشتری دارند می‌توانند نیروگاه خود را بر مبنای پسماندهای گندم و برنج راه‌اندازی کنند تا از در دسترس بودن نیرو برای خود اطمینان حاصل کنند.

بررسی کامل بهترین استفاده از پسماندهای گیاهی خارج از محدوده تجزیه‌وتحلیل این پژوهش است. با این حال، تأثیر مصرف انرژی زیست‌توده سلولزی بر رفاه اجتماعی در ایران با استفاده از یک مدل تعادل جزئی بحث شده است. نتایج این پژوهش گویای آن است که با قیمت‌گذاری مناسب و ایجاد انگیزه برای گردآوری پسماند، رفاه جامعه افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج، افزایش قیمت خرید زیست‌توده و افزایش آگاهی خانوارها در مورد برتری‌های اقتصادی زیست‌توده می‌تواند به‌عنوان سیاست‌های افزایش رفاه اجتماعی انتخاب و دنبال شود. همچنین ارتقاء بازده آبیاری بخش کشاورزی به منظور گسترش سطح زیر کشت و ارتقای سطح عمومی آموزش و دانش کشاورزان می‌تواند از رویکردهای سیاست بلندمدت تلقی شود؛ بنابراین، افزایش آگاهی کشاورزان و کاهش یارانه سوخت‌های فسیلی باید یک چشم‌انداز سیاستی پایدار برای استفاده بهینه از زیست‌توده در بخش کشاورزی باشد. افزون بر این، بهبود دانش کشاورزان از طریق افزایش مشاوره با کارشناسان یا استخدام دانش‌آموختگان کشاورزی می‌تواند در فرآیند تصمیم‌گیری‌ها در بخش کشاورزی برای بهینه‌سازی استفاده از زیست‌توده مؤثر باشد. همچنین

ایجاد فرصت‌های بیشتر برای پذیرش فناوری‌های جدید در فرآیند تولید و توان بالقوه استفاده بهتر از نهاده‌ها، می‌تواند به‌عنوان یک عامل انگیزشی برای بهره‌مندی کشاورزان از گردآوری زیست‌توده و بهره‌مندی از انرژی زیست‌توده باشد.

منبع‌ها

Abdullah-Al-Mahbub, M., and Islam, A. R. M. T. (2023) Current status of running renewable energy in Bangladesh and future prospect: A global comparison, Heliyon, 9(3).

Abdullah, A., Ahmed, A., Akhter, P., Razzaq, A., Hussain, M., Hossain, N., Bakar, M.S.A., Khurram, S., Majeed, K. and Park, Y.K. (2021) Potential for sustainable utilisation of agricultural residues for bioenergy production in Pakistan: An overview, Journal of cleaner production, 287, 125047.

Adams, R.M., Rosenzweig, C., Peart, R.M., Ritchie, J.T., McCarl, B.A., Glyer, J.D., Curry, R.B., Jones, J.W., Boote, K.J. and Allen Jr, L.H. (1990) Global climate change and US agriculture, Nature, 345(6272), 219-224.

Alavijeh, M.K. and Yaghmaei, S. (2016) Biochemical production of bioenergy from agricultural crops and residue in Iran, Waste management, 52, 375-394.

Arndt, C., Msangi, S. and Thurlow, J. (2011) Are biofuels good for African development? An analytical framework with evidence from Mozambique and Tanzania, Biofuels, 2(2), 221-234.

Azizaddini, S., Haghparast, A., Adl, M. and Hadijafari, P. (2012) Assessment of gasification potential of agricultural and woody biomass resources in Iran, International Journal of Environment and Bioenergy, 3, 75-87.

Bahrami, M. and Abbaszadeh, P. (2013) An overview of renewable energies in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 24, 198-208.

Banse, M. and Grethe, H. (2008) Effects of a potential new biofuel directive on EU land use and agricultural markets.

Baye, K., Hirvonen, K., Dereje, M. and Remans, R. (2019) Energy and nutrient production in Ethiopia, 2011-2015: Implications to supporting healthy diets and food systems, PloS one, 14(3), e0213182.

Ben-Iwo, J., Manovic, V. and Longhurst, P. (2016) Biomass resources and biofuels potential for the production of transportation fuels in Nigeria, Renewable and sustainable energy reviews, 63, 172-192.

Brinkman, M., Levin-Koopman, J., Wicke, B., Shutes, L., Kuiper, M., Faaij, A. and van der Hilst, F. (2020) The distribution of food security impacts of biofuels, a Ghana case study, Biomass and Bioenergy, 141, 105695.

Canova, F. (1994) Statistical inference in calibrated models, Journal of Applied Econometrics, 9(S1), 123-144.

Chang, C.C., Chen, C.C. and McCarl, B. (2012) Evaluating the economic impacts of crop yield change and sea level rise induced by climate change on Taiwan's agricultural sector, Agricultural Economics, 43(2), 205-214.

Chang, C.C., McCarl, B.A., Mjelde, J.W. and Richardson, J.W. (1992) Sectoral implications of farm program modifications, American Journal of Agricultural Economics, 74(1), 38-49.

Chang, K.H., Lou, K.R. and Ko, C.H. (2019) Potential of bioenergy production from biomass wastes of rice paddies and forest sectors in Taiwan, Journal of Cleaner Production, 206, 460-476.

Chen, S., Chen, X. and Xu, J. (2016) Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China, Journal of Environmental Economics and Management, 76, 105-124.

Chen, X. (2016) Economic potential of biomass supply from crop residues in China, Applied Energy, 166, 141-149.

Chowdhury, P., Mahi, N. A., Yeassin, R., Chowdhury, N. U. R. and Farrok, O. (2025) Biomass to biofuel: Impacts and mitigation of environmental, health, and socioeconomic challenges, Energy Conversion and Management: X, 100889.

Egbendewe-Mondzozo, A., Swinton, S.M., Izaurralde, C.R., Manowitz, D.H. and Zhang, X. (2011) Biomass supply from alternative cellulosic crops and crop residues: a spatially explicit bioeconomic modeling approach, Biomass and Bioenergy, 35(11), 4636-4647.

Eisentraut, A. (2010) Sustainable production of second-generation biofuels: potential and perspectives in major economies and developing countries.

Ekman, A., Wallberg, O., Joelsson, E. and Börjesson, P. (2013) Possibilities for sustainable biorefineries based on agricultural residues–A case study of potential straw-based ethanol production in Sweden, Applied Energy, 102, 299-308.

Elobeid, A. and Hart, C. (2007) Ethanol expansion in the food versus fuel debate: how will developing countries fare?, Journal of Agricultural & Food Industrial Organization, 5(2).

Ewing, M. and Msangi, S. (2009) Biofuels production in developing countries: assessing tradeoffs in welfare and food security, Environmental science & policy, 12(4), 520-528.

Fadai, D. (2007) Utilization of renewable energy sources for power generation in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(1), 173-181.

Gabisa, E. W. and Gheewala, S. H. (2018) Potential of bio-energy production in Ethiopia based on available biomass residues, Biomass and bioenergy, 111, 77-87.

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C. (2010) Food security: the challenge of feeding 9 billion people. science, 327(5967), 812-818.

Gosens, J. (2015) Biopower from direct firing of crop and forestry residues in China: a review of developments and investment outlook, biomass and bioenergy, 73, 110-123.

Guieysse, B., Béchet, Q. and Shilton, A. (2013) Variability and uncertainty in water demand and water footprint assessments of fresh algae cultivation based on case studies from five climatic regions, Bioresource technology, 128, 317-323.

Guresci, E. (2020) A general view of the biomass energy potential and its use in Turkey, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy, 173(4), 141-149.

Hamzeh, Y., Ashori, A., Mirzaei, B., Abdulkhani, A. and Molaei, M. (2011) Current and potential capabilities of biomass for green energy in Iran, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9), 4934-4938.

Hasan, A.M. and Ammenberg, J. (2019) Biogas potential from municipal and agricultural residual biomass for power generation in Hazaribagh, Bangladesh–A strategy to improve the energy system, Renewable Energy Focus, 29, 14-23.

Havlík, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Aoki, K., De Cara, S., Kindermann, G., Kraxner, F. and Leduc, S. (2011) Global land-use implications of first and second generation biofuel targets, Energy policy, 39(10), 5690-5702.

Headey, D.D. and Martin, W.J. (2016) The impact of food prices on poverty and food security, Annual review of resource economics, 8(1), 329-351.

Hosseini, S.E., Andwari, A.M., Wahid, M.A. and Bagheri, G. (2013) A review on green energy potentials in Iran, Renewable and sustainable energy reviews, 27, 533-545.

Hosseini, S.E. and Wahid, M.A. (2013) Biogas utilization: Experimental investigation on biogas flameless combustion in lab-scale furnace, Energy Conversion and Management, 74, 426-432.

Hung, J., Yang, J., Msangi, S., Rosegrant, M., Rozelle, S. and Weersink, A. (2012) Biofuels, Food Secuirty and the Poor: Global Impact Pathways of Biofuels on Agricultural Markets, Food Policy.

IEA. (2024) https://www.iea.org/data-and-statistics.

Iye, E.L. and Bilsborrow, P.E. (2013) Assessment of the availability of agricultural residues on a zonal basis for medium-to large-scale bioenergy production in Nigeria, Biomass and Bioenergy, 48, 66-74.

Jekayinfa, S.O. and Scholz, V. (2009) Potential availability of energetically usable crop residues in Nigeria, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31(8), 687-697.

Kang, Y., Yang, Q., Bartocci, P., Wei, H., Liu, S.S., Wu, Z., Zhou, H., Yang, H., Fantozzi, F. and Chen, H. (2020) Bioenergy in China: Evaluation of domestic biomass resources and the associated greenhouse gas mitigation potentials, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 127, 109842.

Kangas, H.L., Lintunen, J., Pohjola, J., Hetemäki, L. and Uusivuori, J. (2011) Investments into forest biorefineries under different price and policy structures, Energy Economics, 33(6), 1165-1176.

Kgathi, D.L., Mfundisi, K.B., Mmopelwa, G. and Mosepele, K. (2012) Potential impacts of biofuel development on food security in Botswana: A contribution to energy policy, Energy Policy, 43, 70-79.

Kumar, V., Vangnai, A.S., Sharma, N., Kaur, K., Chakraborty, P., Umesh, M., Singhal, B., Utreja, D., Carrasco, E.U., Andler, R. and Awasthi, M.K. (2023) Bioengineering of biowaste to recover bioproducts and bioenergy: A circular economy approach towards sustainable zero-waste environment, Chemosphere, 319, 138005.

Kung, C.C., McCarl, B., Cao, X. and Xie, H. (2013) Bioenergy prospects in Taiwan using set-aside land–an economic evaluation, China Agricultural Economic Review, 5(4), 489-511.

Kung, C.C. and Zhang, N. (2015) Renewable energy from pyrolysis using crops and agricultural residuals: An economic and environmental evaluation, Energy, 90, 1532-1544.

Lambert, D.K., McCarl, B.A., He, Q., Kaylen, M.S., Rosenthal, W., Chang, C.C. and Nayda, W.I. (1995) Uncertain yields in sectoral welfare analysis: an application to global warming, Journal of Agricultural and Applied Economics, 27(2), 423-436.

Landälv, I. (2017) Methanol as a renewable fuel–a knowledge synthesis. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels, Sweden, p.6.

Lauri, P., Forsell, N., Korosuo, A., Havlík, P., Obersteiner, M. and Nordin, A. (2017) Impact of the 2 C target on global woody biomass use, Forest Policy and Economics, 83, 121-130.

Lobell, D.B. and Burke, M.B. (2010) On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change, Agricultural and forest meteorology, 150(11), 1443-1452.

Makul, N., Fediuk, R., Amran, M., Al-Akwaa, M.S., Pralat, K., Nemova, D., Petropavlovskii, K., Novichenkova, T., Petropavlovskaya, V. and Sulman, M. (2021) Utilization of biomass to ash: An overview of the potential resources for alternative energy, Materials, 14(21), 6482.

Matsumura, Y., Minowa, T. and Yamamoto, H. (2005) Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan, Biomass and bioenergy, 29(5), 347-354.

Maung, T.A. and McCarl, B.A. (2013) Economic factors influencing potential use of cellulosic crop residues for electricity generation, Energy, 56, 81-91.

McCarl, B.A. and Schneider, U.A. (2000) US agriculture's role in a greenhouse gas emission mitigation world: An economic perspective, *Applied Economic Perspectives and Policy, 22(1), 134-159.*

McCarl, B.A. and Spreen, T.H. (1980) Price endogenous mathematical programming as a tool for sector analysis, *American Journal of Agricultural Economics, 62(1), 87-102*.

Milhau, A. and Fallot, A. (2013) Assessing the potentials of agricultural residues for energy: What the CDM experience of India tells us about their availability, Energy policy, 58, 391-402.

Mitchell, D. (2008) A note on rising food prices, World bank policy research working paper, (4682).

Mohammadnejad, M., Ghazvini, M., Mahlia, T.M.I. and Andriyana, A. (2011) A review on energy scenario and sustainable energy in Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(9), 4652-4658.*

Naderi, M.M., Mirchi, A., Bavani, A.R.M., Goharian, E. and Madani, K. (2021) System dynamics simulation of regional water supply and demand using a food-energy-water nexus approach: Application to Qazvin Plain, Iran, Journal of environmental management, 280, 111843.

Najafi, G., Ghobadian, B., Tavakoli, T. and Yusaf, T. (2009) Potential of bioethanol production from agricultural wastes in Iran, *Renewable and sustainable energy reviews, 13(6-7), 1418-1427.*

Newell, R.G., Qian, Y. and Raimi, D. (2016) Global energy outlook 2015 (No. w22075), national bureau of economic research.

OECD, I. (2016) Energy and air pollution: world energy outlook special report 2016.

Okello, C., Pindozzi, S., Faugno, S. and Boccia, L. (2013) Bioenergy potential of agricultural and forest residues in Uganda, *Biomass and bioenergy, 56, 515-525*.

Ozdil, N.T. and Caliskan, M. (2022) Energy potential from biomass from agricultural crops: Development prospects of the Turkish bioeconomy, energy, 249, 123770.

Ozturk, H.H. and Bascetincelik, A. (2006) Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey, *Energy Exploration & Exploitation, 24(4), 313-330.*

Paolini, V., Petracchini, F., Segreto, M., Tomassetti, L., Naja, N. and Cecinato, A. (2018) Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 53(10), 899-906.

Popp, J., Kovács, S., Oláh, J., Divéki, Z. and Balázs, E. (2021) Bioeconomy: Biomass and biomass-based energy supply and demand, *New biotechnology, 60, 76-84*.

Quartey, E.T. and Chýlková, J.A.R.O.M.Í.R.A. (2012) Challenges and opportunities in managing agricultural waste in Ghana, Advances in Environment, *Biotechnology and Biomedicine, 235-239.*

Renzaho, A.M., Kamara, J.K. and Toole, M. (2017) Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78, 503-516.*

Revilla, P., Alves, M.L., Andelković, V., Balconi, C., Dinis, I., Mendes-Moreira, P., Redaelli, R., Ruiz de Galarreta, J.I., Vaz Patto, M.C., Žilić, S. and Malvar, R.A. (2022) Traditional foods from maize (Zea mays L.) in Europe, Frontiers in Nutrition, 8, 683399.

Rincon, L., Puri, M., Kojakovic, A. and Maltsoglou, I. (2019) The contribution of sustainable bioenergy to renewable electricity generation in Turkey: Evidence based policy from an integrated energy and agriculture approach, Energy Policy, 130, 69-88.

Riva, G., Foppapedretti, E. and Caralis, C. (2014) Handbook on Renewable Energy Sources-Biomass, Ener Supply, 157.

Rosegrant, M.W. (2008) Biofuels and grain prices: impacts and policy responses (pp. 1-4), Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

S Mohsen, P., Pourfayaz, F., Shirmohamadi, R., Moosavi, S. and Khalilpoor, N. (2021) Potential, current status, and applications of renewable energy in energy sector of Iran: A review, *Renewable Energy Research and Applications, 2(1), 25-49.*

Sacchelli, S., Bernetti, I., De Meo, I., Fiori, L., Paletto, A., Zambelli, P., and Ciolli, M. (2014) Matching socio-economic and environmental efficiency of wood-residues energy chain: a partial equilibrium model for a case study in Alpine area, *Journal of Cleaner Production, 66, 431-442.*

Samadi, S.H., Ghobadian, B. and Nosrati, M. (2020) Prediction and estimation of biomass energy from agricultural residues using air gasification technology in Iran, Renewable Energy, 149, 1077-1091.

Samuelson, P.A. (1952) Spatial price equilibrium and linear programming, *The American economic review, 42(3), 283-303.*

Sebastian, R. M., Billal, M. M. and Kumar, A. (2025) The development of a framework to assess waste and biomass availability: A case study for Canada, Resources, Conservation and Recycling, 215, 108170.

Schmidhuber, J. (2008) Impact of an increased biomass use on agricultural markets, prices and food security: A longer-term perspective, In ENERGY SECURITY IN EUROPE Proceedings from the conference "Energy Security in Europe" (p. 133).

Scurlock, J. (2009) Bioenergy feedstock characteristics, bioenergy feedstock development programs, PO Oak Ridge National Laboratory [online]

Singh, J. (2015) Overview of electric power potential of surplus agricultural biomass from economic, social, environmental and technical perspective—A case study of Punjab, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 286-297.*

Singh, J. and Gu, S. (2010) Biomass conversion to energy in India—A critique, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(5), 1367-1378.*

Solaymani, S. (2021) A review on energy and renewable energy policies in Iran, Sustainability, 13(13), 7328.

Statistical Center of Iran (2023). www.amar.org.ir

Sulle, E., Fauveaud, S. and Vermeulen, S. (2009) Biofuels in Africa: growing small-scale opportunities.

Takayama, T. and Judge, G.G. (1964) Equilibrium among spatially separated markets: A reformulation, Econometrica: *Journal of the Econometric Society, 510-524.*

Taufiq, B.N., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Saidur, R., Faizul, M.S. and Mohamad, E.N. (2007) Second law analysis for optimal thermal design of radial fin geometry by convection, *Applied Thermal Engineering, 27(8-9), 1363-137*0.

Thompson, W., Meyer, S. and Green, T. (2010) The US biodiesel use mandate and biodiesel feedstock markets, Biomass and Bioenergy, 34(6), 883-889.

Tofigh, A.A. and Abedian, M. (2016) Analysis of energy status in Iran for designing sustainable energy roadmap, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 1296-1306.*

Tolessa, A. (2023) Bioenergy potential from crop residue biomass resources in Ethiopia, Heliyon, 9(2).

Uzair, M., Sohail, S.S., Shaikh, N.U. and Shan, A. (2020) Agricultural residue as an alternate energy source: A case study of Punjab province, Pakistan, Renewable Energy, 162, 2066-2074.

Von Lampe, M. (2006) Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels, Organization for Economic Co-operation and Development (www. oecd. org.

Welfle, A., Chingaira, S. and Kassenov, A. (2020) Decarbonising Kenya's domestic & industry Sectors through bioenergy: An assessment of biomass resource potential & GHG performances, Biomass and bioenergy, 142, 105757.

Xin, L., Guo, Z., Xiao, X., Xu, W., Geng, R. and Wang, W. (2018) Feasibility of anaerobic digestion for contaminated rice straw inoculated with waste activated sludge. Bioresource technology, 266, 45-50.

Zheng, Y. and Qiu, F. (2020) Bioenergy in the Canadian Prairies: Assessment of accessible biomass from agricultural crop residues and identification of potential biorefinery sites, Biomass and Bioenergy, 140, 105669.

Zia, U.U.R., ur Rashid, T., Awan, W.N., Hussain, A. and Ali, M. (2020) Quantification and technological assessment of bioenergy generation through agricultural residues in Punjab (Pakistan), Biomass and Bioenergy, 139, 105612.

Zilberman, D., Hochman, G., Rajagopal, D., Sexton, S. and Timilsina, G. (2013) The impact of biofuels on commodity food prices: Assessment of findings, *American journal of agricultural economics, 95(2), 275-281.*

Doi: 10.22034/IAES.2025.2050978.2104

Agricultural Economics/Volume 19/Issue 3/1404

Estimating the Theoretical Potential of Cellulosic Biomass Energy in Iran and the Impact of Its Use on Social Welfare

Amir Mehrjo, Hamid Amirnejad, Kamal Ataie Solot, Hossein Azadi[1]

Received: 18 Jan.2025 **Accepted:11 March.2025**

Extended Abstract

Introduction

Energy production from agricultural waste is an important research area with significant potential for sustainable energy production. Given Iran's favorable geographical features, and since Iran is the sixth largest producer of greenhouse gases per capita in the world, and given the potential of using biomass energy resources, using agricultural waste for energy production has the potential to provide energy security, reduce greenhouse gas (GHG) emissions, and create economic opportunities for rural communities. Therefore, this study aimed to estimate the theoretical potential of cellulosic biomass energy in Iran and the impact of its use on social welfare.

materials and methods In this study, the wastes of two important and strategic crops, wheat straw and rice straw, were considered. The market equilibrium was determined by maximizing the total surplus of consumers and producers in the agricultural sector, subject to market settlement conditions and resource availability constraints, assuming that agricultural markets in Iran are competitive. Finally, welfare changes were estimated using a partial equilibrium model. On the basis that the total income from the sale of agricultural products to domestic consumers and income from exports in addition to income from biomass collection minus the cost of product production and the cost of product import should be maximized so that the welfare of the society is also maximized.

Results and discussion: This study indicates that Iran can potentially produce about 45778.8 kilotons of crop residues per year. This research indicates that the total bioenergy potential from residues in Iran can be equivalent to

[1] PhD Candidate, professor (corresponding author) and assistant professor, Department of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, and associate professor at Ghent University, Belgium.
Email: hamidamirnejad@yahoo.com

197908.2 MJ. Wheat straw and Rice straw are expected to account for about 65% of biomass energy potential. Also, the simulated partial equilibrium model showed that increasing the price of wheat straw and rice straw by up to 50% and 75% respectively leads to maximum social welfare in Iran.

Results and discussion:The demand for energy in the country is constantly increasing. Biomass energy, including agricultural waste, is a promising option with a large potential impact in developing countries, as these countries have high carbon dioxide emissions. Biomass can be used to meet a variety of energy needs, including electricity generation. Iran is a developing country with rich biomass potential. In this study, we concluded that 197908.2 GJ of energy can be produced from agricultural waste in Iran, and to fully exploit this potential, it is expected that investments will be made in biomass energy extraction technologies. To this end, the coordination of agricultural and environmental policies has a positive impact on biomass energy production.

JEL Classification: Q1, Q21, Q41, Q42

Keywords: Agricultural residues, biomass, consumer and producer surplus, partial equilibrium model