مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

اتاق بازرگانی صنایع معادن و کشاورزی ایران

۲۵ اولویت پژوهشی برای پایداری سامانه‌های کشت برنج تا سال ۲۰۵۰

تهیه‌شده در گروه کشاورزی

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

افق‌سنجی فرآیند شناسایی و تحلیل فن‌آوری‌های نوظهور، تهدیدها و روندهایی است که می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر یک بخش یا صنعت خاص بگذارد. این یک رویکرد پیشگیرانه برای درک احتمالات آینده و آماده شدن برای چالش‌ها یا فرصت‌های بالقوه است.

چکیده

خلاصه غیرفنی

انجام تحقیقات کشاورزی برای تولید پایدار غذا درحالی‌که با چالش‌های متعددی روبه‌رو هستیم، امری حیاتی به‌شمار می‌آید. برای مواجهه مؤثر با این چالش‌ها و دستیابی به سامانه‌های غذایی پایدار، پژوهشگران و نهادهای سرمایه‌گذار بایستی امر تحقیقات را در اولویت قرار دهند. در مطالعه حاضر، از روش افق‌سنجی به‌منظور شناسایی تغییرات سامانه‌های کشت برنج تا سال ۲۰۵۰ و شکاف‌های تحقیقاتی کلیدی استفاده شده است. این مطالعه شامل نظرات ۱۰۱ کارشناس برنج از ۳۱ کشور بوده است که شکاف‌های تحقیقاتی را بر اساس نوآوری و ارتباط آن‌ها ارزیابی کردند. ۲۵ شکاف تحقیقاتی برتر شامل پایداری، توسعه کشاورزی، علم برنج (شامل ژنتیک، پرورش و فیزیولوژی) و سیاست‌ها می‌شود. پرداختن به این شکاف‌های تحقیقاتی به پایداری سامانه‌های برنج کمک خواهد نمود.

خلاصه فنی

تحقیقات و توسعه کشاورزی برای افزایش بهره‌وری درحالی‌که سرمایه طبیعی را حفظ می‌کند و امنیت غذایی پایدار را تضمین می‌نماید، ضروری است. رویکردهای سنتی تحقیقات و توسعه کشاورزی که اغلب در مسیرهای تک‌بعدی دنبال می‌شوند، معمولاً عواقب و رقابت ناخواسته‌ای دارند که می‌توان از طریق رویکردهای یکپارچه و بین‌رشته‌ای از آن‌ها اجتناب کرد. یکی از این رویکردها، افق‌سنجی است. در مطالعه حاضر جهت شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی که باید برای سامانه‌های پایدار برنج تا سال ۲۰۵۰ در اولویت قرار گیرند، افق‌سنجی انجام گرفته است. این افق‌سنجی شامل یک کمیته جهانی و متنوع از کارشناسان برنج (۱۰۱ نفر از ۳۱ کشور) بوده است. کمیته مورداشاره به پرسش‌هایی پیرامون محرک‌ها، پیش‌بینی‌ها و نیازهای تحقیقاتی برای تحقیقات و توسعه کشاورزی در زمینه برنج پاسخ داده است. پس از آن، شکاف‌های تحقیقاتی بر اساس نوآوری و ارتباط آن‌ها با سامانه‌های پایدار برنج ارزیابی و ۲۵ مورد برتر آن در چهار موضوع **تعاملات پایداری**، **توسعه کشاورزی**، **ژنتیک، پرورش و فیزیولوژی کشت**، و **مدیریت و سیاست‌ها** شناسایی شده‌اند. این شکاف‌ها، پژوهش‌هایی را برجسته می‌نمایند که باید برای دستیابی به سامانه‌های پایدار برنج که تاب‌آوری را افزایش می‌دهند، تنوع زیستی را حفظ می‌کنند و رفاه اقتصادی-اجتماعی را ترویج می‌نمایند، در اولویت قرار گیرند.

خلاصه رسانه‌های اجتماعی

کارشناسان حوزه برنج مهم‌ترین شکاف‌های تحقیقاتی این حوزه را برای دستیابی به سامانه‌های پایدار کشت برنج تا سال ۲۰۵۰ انتخاب/شناسایی کردند.

۱– مقدمه

سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی باید ضمن حفظ سرمایه‌های طبیعی، بهره‌وری را جهت تضمین امنیت غذایی پایدار جهانی بهبود دهند (Foley et al., 2011). تحقیقات و توسعه کشاورزی فرصتی برای دستیابی به این هدف چالش‌برانگیز ارائه می‌دهد (Kristkova et al., 2017) و همچنین موجب افزایش بهره‌وری و نوآوری در کشاورزی طی بلندمدت با بازده بالای سرمایه‌گذاری می‌شود (Alston, 2010; Alston et al., 2000; Heisey & Fuglie, 2007; Hurley et al., 2014).

به‌طور سنتی، تحقیقات و توسعه کشاورزی بیشتر مسائل را به صورت تک‌بعدی بررسی کرده که منجر به عواقب و رقابت ناخواسته شده است. به‌عنوان مثال، انقلاب سبز در اواخر دهه ۱۹۶۰ به افزایش قابل توجه عملکرد محصولات گیاهی و تولید غذا کمک کرد، اما چندین پیامد منفی اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به همراه داشت (Borlaug, 2007; Renkow & Byerlee, 2010; Stevenson et al., 2013). انقلاب سبز عمدتاً به نفع کشاورزان بزرگ مقیاس و تجاری بود و به‌طور ناخواسته کشاورزان خرد و جوامع روستایی را نادیده گرفت (Davis et al., 2022; Gollin et al., 2021; Pingali, 2012). علاوه بر این، انقلاب سبز به شدت به کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌های مصنوعی (سنتزشده) وابسته بود و بر گیاهان و ارقام با عملکرد بالا تمرکز داشت که همین امر منجر به کاهش تنوع گیاهی، افزایش آسیب پذیری در برابر آفات و بیماری ها و تخریب محیط‌زیست شد. بنابراین، درحالی‌که انقلاب سبز در جلوگیری از گرسنگی و تولید ثروت برای بسیاری از کشورها نقش مؤثری داشت، منجر به شکنندگی سامانه‌های کشاورزی نیز شد (Bhatt et al., 2021; Brainerd & Menon, 2014; Chand & Haque, 1998; Chauhan et al., 2012; Gupta et al., 2015).

رویکردی تلفیقی و بین‌رشته‌ای‌تر در تحقیقات و توسعه کشاورزی می‌تواند عواقب و رقابت‌های ناخواسته را کاهش دهد. چنین رویکردی از رقابت‌های پیچیده میان کشاورزی، محیط‌زیست و جوامع کشاورزی غافل نمی‌ماند. این امر منجر به سامانه‌های کشاورزی پایداری می‌شود که در برابر تغییرات اقلیمی مقاوم هستند و امنیت غذایی، تنوع زیستی و رفاه اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی را بهبود می‌بخشند (Pingali et al., 2019; Sachs et al., 2010). شکاف‌های تحقیقاتی باید با در نظر گرفتن موضوعات، مکان‌ها و روش‌های تحقیق شناسایی و اولویت‌بندی شوند (MacMillan & Benton, 2014; Pardey et al., 2016). تعیین اولویت‌های تحقیقاتی نیاز به آینده‌نگری دارد تا روندها، چالش‌ها و فرصت‌های آینده شناسایی شوند (van Rij, 2010). یکی از فعالیت‌های آینده‌نگری، افق‌سنجی است که می‌تواند تغییرات را پیش‌بینی و برای آن برنامه‌ریزی کند (Cuhls, 2020). افق‌سنجی، ایده‌های نوآورانه را در مرزهای دانش فعلی مشخص می‌نماید (Sutherland et al., 2019) و همچنین جهت شناسایی نشانه‌های روندهای نوظهور با تاثیرات بالقوه برای آینده که شامل تهدیدها و فرصت‌ها هستند، کارآمد می‌باشد (Esmail et al., 2020). افق سنجی در تحقیقات و توسعه کشاورزی می‌تواند به نهادهای مالی و سیاست‌گذاران یاری رساند تا شکاف‌های تحقیقاتی مهم را شناسایی کرده و منابع را به‌طور مؤثر و کارآمد تخصیص دهند (National Academies of Sciences, 2020).

با توجه به اهمیت تحقیقات و توسعه کشاورزی و سودمندی افق‌سنجی در این امر برای نیل به سامانه‌های کشاورزی پایدار، در مطالعه پیش‌رو به کمک کمیته جهانی و متنوعی از کارشناسان حوزه برنج جهت شناسایی شکاف‌هایی که بایستی برای دستیابی به سامانه‌های پایدار برنج تا سال ۲۰۵۰ اولویت‌بندی شوند، افق‌سنجی انجام گرفت.

۲– کشاورزی و تحقیقات برنج

کشت برنج و تحقیقات مربوط به آن سابقه‌ای طولانی دارند که به تمدن‌های باستانی برمی‌گردد (Fuller2011; Sweeney & McCouch, 2007). برای مثال، در سوابق اولیه چین، شرح داده شده که انتخاب بذر و آبیاری موجب افزایش محصول برنج می‌شود (Anderson, 1988) . در قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰، دانشمندان شروع به مطالعه برنج و افزایش بهره‌وری آن از طریق اصلاح بذر کردند. بعدها، مسائل سیاسی، بوم‌شناسی و تحقیقات ژنتیکی، خبر از انقلابی در افزایش تولید این محصول می‌داد (Baranski, 2022; Perkins, 1997). افزایش بهره‌وری، نوآوری اصلی تحقیقاتی بود که رشد تولید برنج را به‌ویژه در آسیا به دنبال داشت.

امروزه پژوهشگران نگران هستند که افزایش تولید برنج در سطح جهانی (Yuan et al., 2021) و منطقه‌ای (van Oort et al., 2015) تثبیت و سرمایه‌گذاری در تحقیقات برنج را متوقف /راکد کرده باشد (Mohanty et al., 2010; Zeigler & Barclay, 2008). به همین دلایل، ما بر این باوریم که باید شکاف‌های تحقیقاتی در حوزه برنج شناسایی و اولویت‌بندی شوند تا بهره‌وری و پایداری در سامانه‌های تولید برنج تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد. در ادامه به برخی از دلایل اهمیت برنج می‌پردازیم.

نخست، برنج نقش مهمی در امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند. برنج غذای اصلی بیش از نیمی از جمعیت جهان است. این محصول در بیش از ۱۵۰ کشور (Brooks & Place, 2019; Seck et al., 2012) و در مناطقی که از عرض جغرافیایی ۳۹ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی گسترش یافته است و در شرایط آب و هوایی مختلف شامل مناطق معتدل تا نیمه‌مرطوب و مرطوب کشت می‌شود. برای برآورده کردن تقاضای رو به افزایش جهانی، نیاز به افزایش تولید این محصول وجود دارد (Samal et al., 2022; Timmer et al., 2010)؛ اگرچه سامانه‌های تولید برنج در دستیابی به رشد پایدار با چالش‌های متعدد از جمله عوامل محیطی (کیفیت خاک و آب و دسترسی به عناصر غذایی)، ابتکارات سیاسی ملی و بین‌المللی، کمبود نیروی کار و رقابت روزافزون برای زمین‌های زراعی مواجه هستند.

دوم، تغییرات اقلیمی چالش‌های سامانه‌های تولید برنج را تشدید می‌کند. افزایش شدت و فراوانی رویدادهای اقلیمی حدی مانند خشکسالی و سیلاب‌ها، تولید برنج را کاهش می‌دهد (Hatfield et al., 2011; Singh et al., 2017; Wassmann et al., 2009). به‌علاوه، برنج عمدتاً توسط کشاورزان خرد با توانایی محدود در سازگاری با تغییرات اقلیمی تولید می‌شود (Ho et al., 2022; Misra, 2017; Nyadzi et al., 2019; Ojo & Baiyegunhi, 2020; Redfern et al., 2012). تغییرات اقلیمی همچنین مانع از عملیات مدیریت پایدار می‌گردد. برای مثال، انجام آبیاری متناوب (آبیاری و خشکی متناوب) که باعث کاهش مصرف آب و انتشار گاز متان می‌شود، تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قرار دارد (Nelson et al., 2015; Sander et al., 2017).

سوم، تولید برنج تحت تأثیر تغییرات اقلیمی است، اما همچنین از طریق انتشار گازهای گلخانه‌ای به تغییرات اقلیمی کمک می‌کند. برنج بیشتر از سایر غلات اصلی به انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی کمک می‌کند (Linquist et al., 2012; Tubiello et al., 2013). علاوه بر این، تولید برنج غالباً با کاهش آب‌های زیرزمینی، تخریب خاک و کاهش تنوع زیستی در سطح وسیع همراه است (Bhatt et al., 2021; Brainerd & Menon, 2014; Gupta et al., 2015).

۳- روش‌ها

مطالعه حاضر از تکنیک دلفی در دو مرحله استفاده می‌کند (Mukherjee et al., 2015; Rowe & Wright, 1999) و شامل مجموعه‌ای جهانی و متنوع از کارشناسان برنج است (برای مطالعه جزئیات بیشتر از نحوه انجام این مطالعه در ضمیمه A، به آدرس https://doi.org/10.1017/sus.2024.17 مراجعه کنید). در مرحله نخست، کارشناسان به سوالات تشریحی درباره عوامل کلانی که به سامانه‌های پایدار برنج کمک یا آن‌ها را محدود می‌کنند و نیازهای تحقیق پاسخ دادند. پاسخ‌ها تجزیه و تحلیل شدند و به هفت مسأله و ۵۴ شکاف تحقیقاتی دسته‌بندی شدند که مبنای تجزیه و تحلیل دور دوم را تشکیل دادند.

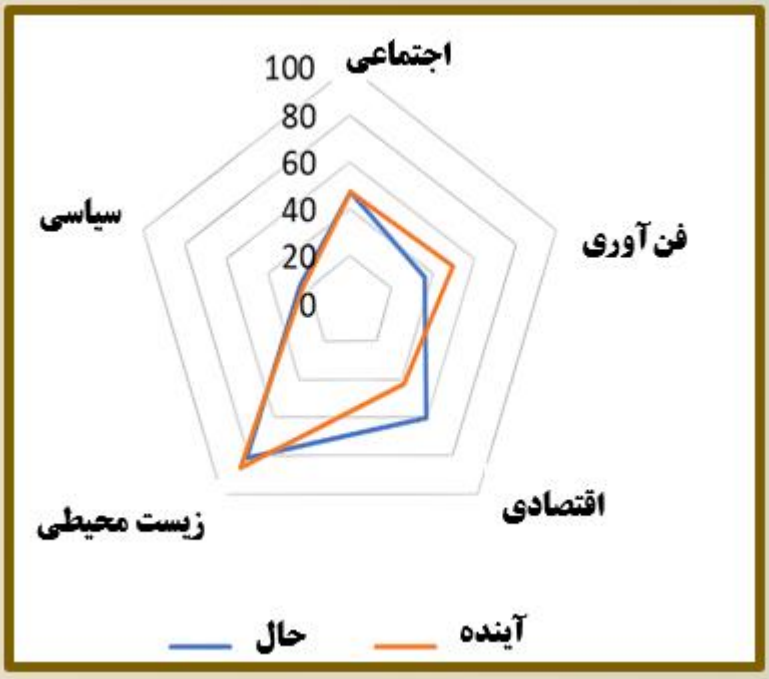
در مرحله دوم، تعدادی از کارشناسان، شکاف‌های تحقیقاتی را از نظر مرتبط بودن و نوآوری ارزیابی کردند. ارزیابی‌های مرتبط برای سامانه‌های پایدار برنج در چهار سطح انجام شد: «کاملاً مرتبط »، «نیمه مرتبط »، «کم‌تر مرتبط» و «هیچ نظری ندارم». مرتبط بودن کامل، متوسط و کم نشان‌دهنده اهمیت شکاف تحقیقاتی در دستیابی به سامانه‌های پایدار برنج می‌بود؛ درحالی‌که «هیچ نظری ندارم» به این معنا بود که موضوع خارج از دانش کارشناس قرار داشت. ارزیابی‌های مرتبط با نوآوری دارای سه سطح بود: «نوآورانه» (دانش موجود محدود است)، «غیر نوآورانه» (دانش کافی وجود دارد) و «برای من جدید است» (موضوع ناآشنا) (برای مطالعه پرسشنامه‌های مراحل ۱ و ۲ در ضمیمه B به آدرس https://doi.org/10.1017/sus.2024.17 مراجعه کنید).

برای تحلیل نتایج مرحله دوم، سطح توافق بین شرکت‌کنندگان مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که زمانی که حداقل ۵۰ درصد از شرکت‌کنندگان، امتیاز مشابه داده بودند همان امتیاز و در صورت عدم اجماع روی هیچ یک از موارد، پرتکرارترین امتیاز (حتی اگر کمتر از ۵۰ درصد بود)، انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت. برای اولویت‌بندی شکاف‌های تحقیقاتی، امتیازها براساس ارزیابی و سطح توافق مشخص شدند. سپس ۲۵ شکاف تحقیقاتی برتر به‌ترتیب مرتب شدند.

۴– نتایج

۴–۱– محرک‌ها

محرک‌ها باتوجه به زمان‌های حال و آینده فهرست شده و در دسته‌های اجتماعی، فن‌آوری، اقتصادی، زیست‌محیطی و سیاسی قرار گرفتند. عوامل زیست‌محیطی به‌عنوان مهم‌ترین گروه برای سامانه‌های کشت برنج در زمان حال و آینده شناسایی شدند، درحالی‌که عوامل سیاسی در پایین‌ترین سطح قرار داشتند (شکل ۱). سایر دسته‌های محرک مانند عوامل اقتصادی، در زمان حال مهم‌تر از آینده در نظر گرفته شده‌اند، درحالی‌که فن‌آوری در آینده مهم‌تر از حال خواهد بود. تغییرات اقلیمی و فن‌آوری به‌عنوان عوامل مهم در زمان‌های حال و آینده ظاهر شدند (به شکل‌های SC1 و SC2 در ضمیمه C به آدرس https://doi.org/10.1017/sus.2024.17 مراجعه کنید).



شکل ۱. اهمیت نسبی گروه‌های محرک در زمان حال و آینده.

۴– ۲– پیش‌بینی‌ها، فرصت‌ها و چالش‌ها

تحلیل پیش‌بینی های آینده، فرصت ها و چالش ها به شنا سایی هفت م سأله کلیدی منجر شد: تغییرات اقلیمی، تغییرات در پروفایل‌های مصرف‌کننده، شهرنشینی، تغییرات بازار و سیاست ها، تغییرات در ترکیب نیروی کار، محدودیت‌های منابع طبیعی و پیشرفت‌های فن‌آوری (تمام پیش‌بینی‌های ذکرشده توسط شرکت‌کنندگان در ضمیمه C موجود ا ست؛ به آدرس https://doi.org/10.1017/sus.2024.17 مراجعه کنید). این مسائل به هم مرتبط هستند؛ به‌عنوان مثال، شهرنشینی با تغییرات در ترکیب نیروی کار و ترجیحات مصرف‌کنندگان مرتبط است.

۴– ۳– تکنیک‌های تحقیق

روش‌های تحقیق پیشنهادی برای برطرف کردن نیازهای این مطالعه شامل مدل‌سازی سامانه‌های برنج–سبزیجات، دیجیتالی شدن زنجیره‌های ارزش، تحلیل داده‌های فضایی، درگیر کردن ذی‌نفعان، توسعه زمین‌های پست، تحقیقات بین‌رشته‌ای و فرارشته‌ای، سنجش از دور، حسابداری آب، تأمین مالی اقلیمی و مدل‌های کسب‌وکار کم‌انتشار می‌باشد (تمام روش‌های تحقیق ذکرشده در ضمیمه E موجو است؛ به آدرس https://doi.org/10.1017/sus.2024.17 مراجعه کنید).

کارشناسان همچنین پیشنهاد کردند روش‌های تحقیق بیشتری برای دستیابی به سامانه‌های پایدار برنج به کار گرفته شود. این شامل کشاورزی دیجیتال، تلفیق چندین ذی‌نفع، پژوهش در مورد تأثیرات اجتماعی، تصاویر ماهواره‌ای، بیمه محصولات، یادگیری ماشین، پایش خودکار محصولات، راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت و تفکر سیستمی می‌شود. علاوه براین، کارشناسان خواستار تغییر در تمرکز تحقیقات (به‌عنوان مثال، از ژنتیک گیاهی و تحقیقات در سطح خرد به تحقیقات در سطح سامانه‌های کشاورزی) شدند.

کارشناسان خواهان تفکر "خارج از چارچوب" و تحقیقات بین‌رشته‌ای و فرارشته‌ای بیشتری شدند. اگرچه، برخی از کارشناسان مایل به تحقیقات بنیادی بودند که تخصص‌های کلیدی و حیاتی را به کار گیرد. تعدادی نیز خواستار یک چشم‌انداز بلندمدت و تأمین مالی بودند، درحالی‌که برخی دیگر به توسعه سریع فن‌آوری و دوره‌های تحقیق و توسعه تأکید کردند.

۵– بیست و پنج شکاف تحقیقاتی برتر در حوزه برنج

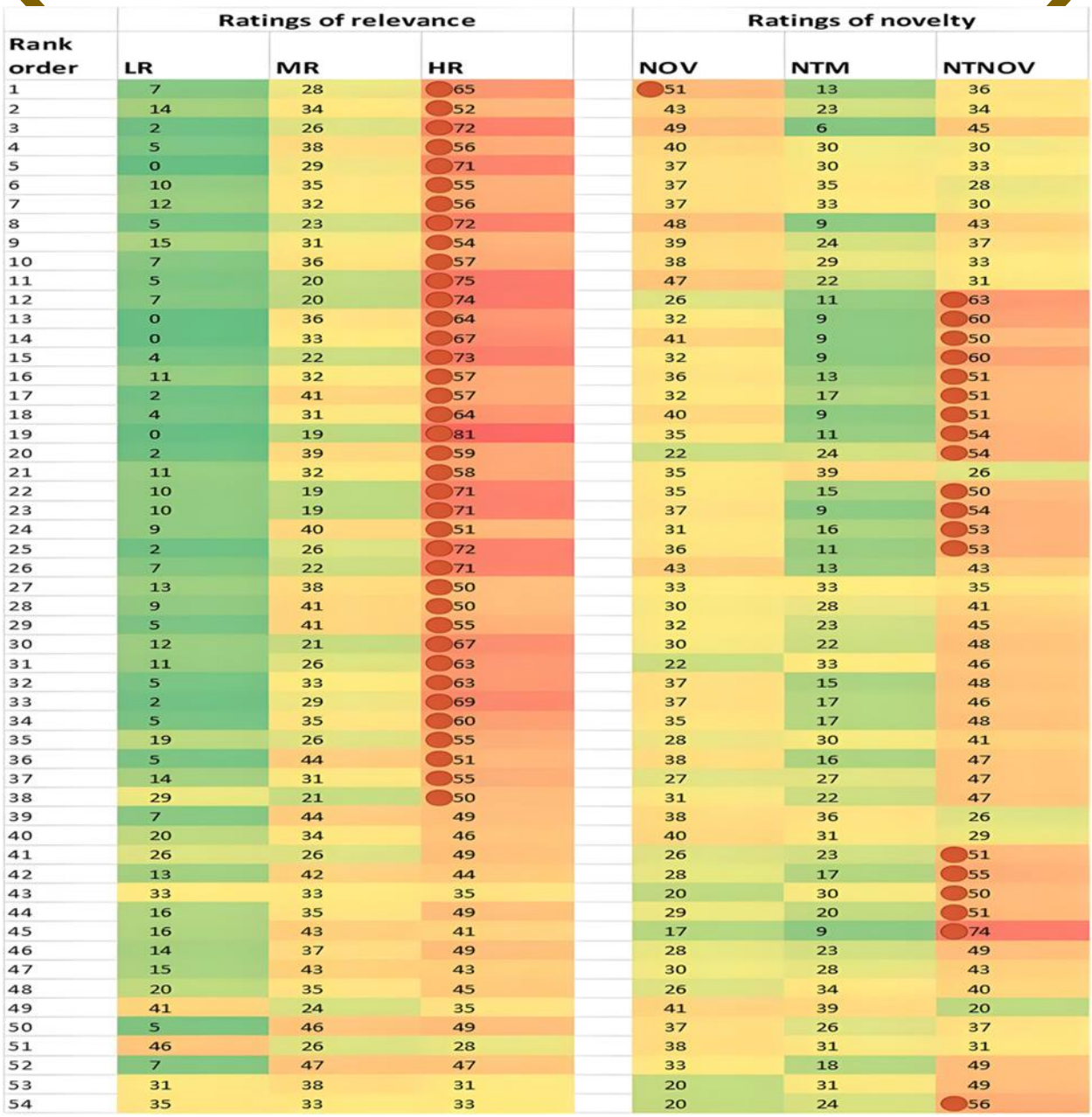
۵۴ شکاف تحقیقاتی در دور اول توسط کارشناسان ارزیابی و بر اساس مرتبط بودن، نوآوری و توافق میان کارشناسان رده‌بندی شدند (جدول ۱). توافق بین کارشناسان در ارزیابی هر شکاف تحقیقاتی، اتفاق نظر بالا در ارزیابی‌های مرتبط (٪۷۰، ۵۴ = n) نسبت به ارزیابی‌های نوآوری (٪۳۷، ۵۴ = n) را نشان می‌دهد (شکل ۲). ارزیابی تمام شکاف‌ها با اتفاق آرا «بسیار مرتبط» بود، درحالی‌که در ارزیابی‌های نوآوری همه به جز یکی «غیر نوآورانه» بودند. تنها استثنا، شکاف تحقیقاتی رتبه ۱ است (جدول ۱) که به تعادل‌بخشی بین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از نظام زراعت برنج و امنیت غذایی محلی مربوط می شود، که با توافق به‌عنوان «بسیار مرتبط» و «نوآورانه» ارزیابی شده است (شکل ۲). ۲۵ شکاف تحقیقاتی برتر در حوزه برنج در چهار زمینه مورد بحث قرار گرفته‌اند.

جدول۱. رتبه‌بندی شکاف‌های تحقیقاتی.

رتبه	امتیاز	شکاف تحقیق
۱	۶۰	درک تعادل‌های بالقوه بین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برنج و امنیت غذایی محلی
۲	۴۵	جایگزینی نظارت، گزارش‌دهی و تأیید (MRV) به صورت دستی و حضوری با فناوری سنجش از دور و به صورت ماهواره‌ای
۳	۴۵	نظارت و ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فن‌آوری‌های جدید
۴	۴۵	اثرات افزایش تولید برنج بر تولید و تنوع محصولات غذایی در آفریقا
۵	۴۵	ارقام برنجی که در جذب و استفاده از منابع محیطی مانند انرژی خورشیدی کارآمدتر هستند و برنج‌های هوازی که به آب کمتری نیاز دارند،
۶	۴۵	توسعه ارقام برنج چندساله؛ به این معنا که می‌توان آن‌ها را در هر فصل برداشت کرد.
۷	۴۵	حداکثر کردن استفاده از سطوح بالای CO_2 برای بهبود اکولوژی و بهره‌وری محصولات برنج
۸	۴۵	ادغام بازطراحی و رویکردهای اکوسیستم‌های کشاورزی در سامانه‌های برنج برای بهینه‌سازی بهره‌وری و کارایی استفاده از منابع
۹	۴۵	گسترش تولید برنج در زمین‌های خشک و تپه‌ای
۱۰	۴۵	حاکمیت استفاده از آب‌های سطحی به عنوان یک منبع منطقه‌ای و برای تأمین متوازن برنج در یک منطقه
۱۱	۴۵	گزینه‌های سیاستی برای کاهش خسارات پیش‌بینی‌شده در تولید برنج در برخی از نقاط جهان، مانند آسیا
۱۲	۴۰	عوامل اجتماعی-اقتصادی شکاف‌های عملکرد برنج در سراسر جهان
۱۳	۴۰	درک شرایط واقعی کشاورزان برای اتصال حاشیه سود و زیان
۱۴	۴۰	درک فرآیند گذار کشاورزان به روش‌های مدیریت پایدار
۱۵	۴۰	کمی‌سازی اثرات محلی و واکنش‌های کشت برنج به تنش‌های غیرزیستی، از جمله تغییرات اقلیمی
۱۶	۴۰	تاثیر افزایش ناامنی غذایی و قیمت‌های غذا بر شیوه‌های پایدار کشاورزان
۱۷	۴۰	تأثیرات اقتصادی_اجتماعی بالقوه تغییرات فن‌آوری بر کشاورزان کوچک‌مقیاس
۱۸	۴۰	توسعه اطلاعات دقیق اقلیم و آب در مقیاس‌های محلی
۱۹	۴۰	توسعه ارقام منعطف به تغییرات اقلیمی که می‌توانند در شرایط سخت رشد کنند، به‌عنوان مثال، ارقامی با ویژگی‌های بهتر در اجتناب از استرس، سیستم‌های ریشه‌ای پیشرفته و توانایی رشد در شرایط شور
۲۰	۴۰	توسعه ارقام برنج با کیفیت دانه ارتقاء یافته (مانند بازیابی بالای آسیاب، دانه برنج کامل و نسبت طول به عرض)

ادامه جدول۱. رتبه‌بندی شکاف‌های تحقیقاتی.

رتبه	امتیاز	شکاف تحقیق
۲۱	۴۰	توسعه مهارکننده‌های متاتوژنیک برای کاهش انتشار متان از سیستم‌های تولید برنج
۲۲	۴۰	توسعه کودهای نوین کشاورزی-اکولوژیکی برای بهبود باروری خاک
۲۳	۴۰	استفاده از محصولات جانبی تولید شده از برنج برای سایر مقاصد (مانند کاه برنج برای سوخت‌های زیستی، کودها و غیره)
۲۴	۴۰	ترجمه و تبدیل علم به عمل (مانند کاربرد پیشرفت‌های ژنتیکی)
۲۵	۴۰	گزینه‌های سیاستی مورد نیاز برای افزایش بهره‌وری برنج، پایداری و تحول گسترده در مناطق عقب‌مانده
۲۶	۳۵	توسعه شاخص‌هایی برای ارزیابی عوامل واقعی تغییر در سیستم‌های مختلف برنج، برای مثال، اینکه آیا به خاطر تغییرات آب و هوایی و/یا تغییرات جمعیت انسانی است.
۲۷	۳۵	درک ظهور تصرفات و زمین‌خواری و ادغام و تصرف زمین توسط کشاورزان/سرمایه‌گذاران ثروتمند به دلیل افزایش سودآوری در تولید برنج.
۲۸	۳۵	تحلیل‌های جغرافیایی از گسترش اراضی زراعی و توسعه نقشه‌های مبتنی بر محصول.
۲۹	۳۵	درک تغییرات دینامیک مصرف برنج به دلیل افزایش درآمدها و شهرنشینی در نقاط مختلف جهان.
۳۰	۳۵	توسعه ارقام برنج با ویژگی‌های تغذیه‌ای غنی‌تر مانند برنج امگا، برنج با ویتامین E ، آهن بالا، روی، و محتوای گلیسمی پایین.
۳۱	۳۵	تغییر مسیر فتوسنتزی برنج از C3 به C4
۳۲	۳۵	توسعه سیستم‌های تولید بذر محلی پایدار.
۳۳	۳۵	توسعه تدابیر پیشگیرانه برای محدود کردن بیماری‌ها و آفات نوظهور به‌وجود آمده توسط تغییرات آب و هوا.
۳۴	۳۵	مدل‌های کسب‌وکار عادلانه پایدار و زنجیره‌های تأمین که به سود اقتصادی تولیدکنندگان و پایداری محیط زیست منجر می‌شود.
۳۵	۳۵	رژیم‌های غذایی سلامت سیاره: رژیم‌های غذایی سالم با حداقل اثرات زیست‌محیطی
۳۶	۳۵	گسترش یافته‌های سطح مزرعه (میکرو) به سطح منطقه‌ای/جهانی (ماکرو)
۳۷	۳۵	بهبود سواد کشاورزی تولیدکنندگان برنج
۳۸	۳۵	توسعه تکنولوژی بومی برای حمایت از زنجیره ارزش برنج
۳۹	۳۰	به اشتراک گذاشتن سیستم‌های اطلاعات بین بازیگران اصلی در زنجیره ارزش برنج برای افزایش شفافیت در MRV
۴۰	۳۰	تبدیل مناطق غیرمولد به زمین‌های کشاورزی برنج به دلیل کمبود فزاینده زمین‌های قابل کشت
۴۱	۲۵	توسعه و استفاده از برنج‌های اصلاح‌شده ژنتیکی (GMO) و درک تبعات آن.
۴۲	۲۵	تأثیر شهرنشینی و صنعتی شدن بر دسترسی به زمین‌های قابل کشت برای تولید برنج
۴۳	۲۵	توسعه انواع برنج شناور
۴۴	۲۵	توسعه فناوری‌های جدید و سازگاری فناوری‌های قدیمی به‌گونه‌ای که برای کشاورزان کوچک مناسب، قابل‌قبول و در دسترس باشد.
۴۵	۲۰	درک انتخاب و حفظ گونه‌های سنتی توسط کشاورزان.
۴۶	۲۰	مهاجرت بخشی از جوانان و کشاورزان فعلی به سمت مشاغل غیرکشاورزی.
۴۷	۲۰	تأثیر تغییرات دینامیک و پویا در بازارهای جهانی برنج، مانند دستیابی به خودکفایی توسط واردکنندگان فعلی برنج
۴۸	۲۰	درک تعامل و نوسانات قیمت بین محصولات اساسی مختلف (مانند قیمت‌های گندم/برنج) در مقیاس جهانی
۴۹	۲۰	کشت برنج در بسترهای بدون خاک
۵۰	۲۰	راه‌حل‌های مبتنی بر کشاورزی کربن برای سیستم‌های پایدار
۵۱	۲۰	ادغام سیستم‌های کشت برنج با جنبه‌های گردشگری
۵۲	۱۵	درک بخش‌های مختلف بازار و تجارت برنج برای هدف‌گذاری تولید آن برای بازارهای خاص
۵۳	۱۵	هدایت تولید برنج، از تولید صادرات‌محور به تولید برای مصرف محلی
۵۴	۱۵	توسعه محصولات غذایی متنوع از دانه برنج



	Ratings of relevance				Ratings of novelty		
Rank order	LR	MR	HR		NOV	NTM	NTNOV
1	7	28	65		51	13	36
2	14	34	52		43	23	34
3	2	26	72		49	6	45
4	5	38	56		40	30	30
5	0	29	71		37	30	33
6	10	35	55		37	35	28
7	12	32	56		37	33	30
8	5	23	72		48	9	43
9	15	31	54		39	24	37
10	7	36	57		38	29	33
11	5	20	75		47	22	31
12	7	20	74		26	11	63
13	0	36	64		32	9	60
14	0	33	67		41	9	50
15	4	22	73		32	9	60
16	11	32	57		36	13	51
17	2	41	57		32	17	51
18	4	31	64		40	9	51
19	0	19	81		35	11	54
20	2	39	59		22	24	54
21	11	32	58		35	39	26
22	10	19	71		35	15	50
23	10	19	71		37	9	54
24	9	40	51		31	16	53
25	2	26	72		36	11	53
26	7	22	71		43	13	43
27	13	38	50		33	33	35
28	9	41	50		30	28	41
29	5	41	55		32	23	45
30	12	21	67		30	22	48
31	11	26	63		22	33	46
32	5	33	63		37	15	48
33	2	29	69		37	17	46
34	5	35	60		35	17	48
35	19	26	55		28	30	41
36	5	44	51		38	16	47
37	14	31	55		27	27	47
38	29	21	50		31	22	47
39	7	44	49		38	36	26
40	20	34	46		40	31	29
41	26	26	49		26	23	51
42	13	42	44		28	17	55
43	33	33	35		20	30	50
44	16	35	49		29	20	51
45	16	43	41		17	9	74
46	14	37	49		28	23	49
47	15	43	43		30	28	43
48	20	35	45		26	34	40
49	41	24	35		41	39	20
50	5	46	49		37	26	37
51	46	26	28		38	31	31
52	7	47	47		33	18	49
53	31	38	31		20	31	49
54	35	33	33		20	24	56

شکل ۲. نقشه حرارتی که درصد کارشناسانی که یک رتبه‌بندی را انتخاب کرده‌اند را به تصویر می‌کشد. از یک گرادیان سبز-زرد-قرمز استفاده شده که نشان‌دهنده افزایش توافق بر روی رتبه‌بندی است. آیکون‌های دایره قرمز نشان‌دهنده رتبه‌بندی‌هایی هستند که توافق بالا (⩽۵۰٪)، LR به معنی ارتباط کم، MR به معنی ارتباط متوسط، HR به معنی ارتباط بالا، NOV به معنی نوآورانه، NTM به معنی برای من جدید و NTNOV به معنی غیرنوآورانه است.

۵-۱- موضوع یک: تعاملات پایداری

برای دستیابی به سامانه‌های پایدار برنج معمولاً اختلاف نظرهایی بین اهدافی نظیر امنیت غذایی و حفاظت از محیط‌زیست به وجود می‌آید (Klapwijk et al., 2014). تعادل بین این اهداف متضاد و پیدا کردن راه‌حل‌های مناسب نیاز به تحقیقی دارد که وابستگی‌های بین اجزای مختلف سامانه‌های تولید برنج را در نظر بگیرد و ذی‌نفعان را در فرآیند تصمیم‌گیری درگیر کند.

تأثیرات تغییرات اقلیمی معمولاً منجر به کاهش تولید برنج می‌شوند. با این حال، برخی مطالعات نشان می‌دهند که تغییرات اقلیمی از طریق افزایش دما می‌توانند برای تولید برنج سودمند باشند. بنابراین، تحلیل جامع تأثیرات تغییرات اقلیمی برای نوآوری در سامانه‌های تولید برنج اهمیت دارد.

تحقیقات درباره اثرات متقابل پایداری شامل موارد زیر است:

(۱) درک اثرات بالقوه متقابل بین کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای برنج و امنیت غذایی محلی؛

(۲) حداکثر کردن سطوح دی‌اکسید کربن برای بهبود اکولوژی و بهره‌وری کشت برنج؛

(۳) تلفیق بازسازی و رویکردهای مبتنی بر اکوسیستم‌های کشاورزی در سامانه‌های برنج برای بهینه‌سازی بهره‌وری و کارایی استفاده از منابع؛

(۴) کمّی‌سازی اثرات محلی و پاسخ کشت برنج به تنش‌های غیرزیستی؛

(۵) توسعه کودهای نوین مبتنی بر کشاورزی-اکولوژیک برای بهبود باروری خاک؛ و

(۶) استفاده از محصولات جانبی تولید برنج برای اهداف دیگر (مثل کاه برنج برای تولید سوخت‌های زیستی و کودها).

۵-۲- موضوع دو: توسعه کشاورزی

توسعه کشاورزی و تأثیرات آن بر عوامل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی باید به‌طور کامل تحلیل شوند، زیرا می‌توانند پیامدهای گسترده‌ای داشته باشند. برای مثال، کشاورزان خرد بیشترین حجم برنج تولیدی را کشت می‌کنند و نقش قابل توجهی در امنیت غذایی این محصول ایفا می‌کنند (Pande et al.,2010) و علیرغم این‌که سامانه تولید برنج در حال گسترش است، اما معمولاً از تولید برنج سود مالی کمی می‌برند. کشاورزان خرد تنها ۴ درصد از قیمت مصرف‌کننده را دریافت می‌کنند (Alliot & Fecher., 2018). این روند با چشم‌انداز کشاورزی عادلانه و پایدار در تضاد است. تحقیقات مرتبط با توسعه کشاورزی شامل موارد زیر است:

(۷) جایگزین کردن پایش، گزارش‌دهی و تأیید دستی و حضوری با فن‌آوری‌های سنجش از دور و ماهواره‌ای؛

(۸) نظارت و ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی فن‌آوری‌های جدید برنج؛

(۹) تأثیرات افزایش تولید برنج بر تولید و تنوع محصولات غذایی در آفریقا؛

(۱۰) گسترش تولید برنج در مناطق خشک و مرتفع؛

(۱۱) عوامل اجتماعی و اقتصادی ایجاد شکاف در عملکرد برنج در سراسر جهان؛

(۱۲) درک شرایط واقعی کشاورزان برای متعادل‌سازی حاشیه سود و زیان؛

(۱۳) درک فرآیند گذار کشاورزان به شیوه‌های مدیریت پایدار؛

(۱۴) تأثیر افزایش ناامنی غذایی و قیمت مواد غذایی بر شیوه‌های کشاورزان در کاربرد روش‌های پایدار؛

(۱۵) تأثیر بالقوه تغییرات فن‌آوری بر کشاورزان کوچک‌مقیاس؛ و

(۱۶) توسعه اطلاعات دقیق آب و هوا در مقیاس‌های محلی.

۵–۳– موضوع سه: ژنتیک، پرورش و فیزیولوژی

برنج یکی از نخستین گیاهان زراعی است که ژنوم آن به‌صورت کامل توالی‌یابی شده است (Jackson, 2016; Sasaki et al., 2002). این پیشرفت نقطه عطفی در تحقیقات برنج به‌شمار می‌آید و فرصت‌های جدیدی برای تحقیقات ژنتیکی در مورد برنج و سایر گیاهان زراعی فراهم کرده است (Izawa & Shimamoto, 1996; Rezvi et al., 2022). با وجود موفقیت‌های قابل توجهی که در زمینه ژنتیک برنج انجام شده (Bajaj & Mohanty, 2005; Hossain et al., Reference Hossain, 2000)، همچنان تحقیقات بسیاری در زمینه ژنتیک و پرورش برنج در حال گسترش است (Mohd Hanafiah et al., 2020). تنگناها در بروز ظاهری صفات فیزیولوژیکی با توان عملیاتی بالا، میزان استفاده از پیشرفت‌های ژنومیک را در اصلاح نژاد محدود کرده است. با افزایش تأثیر فشارها، تحقیقات در زمینه ژنتیک و فیزیولوژی باید شتاب گیرد. شکاف‌های تحقیقاتی مسیرهای توسعه تحقیقات در زمینه ژنتیک برنج را به شرح زیر ارائه می‌دهد:

(۱۷) ارقام برنجی که در جذب و استفاده از منابع محیطی مانند انرژی خورشیدی کارآمدتر هستند و برنج‌های هوازی که آب کمتری مصرف می‌کنند؛

(۱۸) ارقام برنج چندساله (یعنی می‌توان در هر فصل برداشت کرد)؛

(۱۹) ارقام مقاوم به شرایط آب و هوایی که می‌توانند در شرایط سخت رشد کنند (مثل ارقامی با ویژگی‌های کاراتر در اجتناب از تنش‌ها، سامانه‌های ریشه‌ای به شدت توسعه یافته و توانایی رشد در شرایط شور)؛

(۲۰) توسعه ارقام برنج با کیفیت دانه بهتر (مانند کیفیت بالای آسیاب، دانه برنج کامل و نسبت طول به عرض)؛ و

(۲۱) توسعه مهارکننده‌های متانوژنیک برای کاهش انتشار متان از سیستم‌های تولید برنج.

۵-۴- موضوع چهار: حکمرانی و سیاست‌ها

سیاست‌ها و حکمرانی منصفانه از کشاورزی حمایت می‌کنند تا به اهداف متنوعی دست یابد و همچنین فرصتی برای کاهش خسارات و حداکثر کردن هم‌افزایی در مقیاس‌های مختلف فراهم می‌کنند. به‌عنوان مثال، عدم تطابق مداوم سیاست‌ها و شیوه‌های اجرایی در مدیریت دلتا یا نهر مکونگ در سطح بین‌المللی منجر به کاهش تولید کشاورزی و مدیریت ضعیف آب شده است (Sithirith, 2021; Thu & Wehn, 2016; Tran & Tortajada2022). سیاست‌های مؤثر باید علم و دانش را از زمینه‌های متعدد و مقیاس‌های مختلف ادغام کنند (Sterner et al., 2019). شکاف‌های تحقیقاتی در این موضوع به شکاف علم-سیاست-عمل و اجرای سیاست‌های مؤثر برای حل مسائل پایداری مربوط می‌شود. تحقیقات در زمینه حکمرانی و سیاست‌ها شامل موارد زیر می‌باشند:

(۲۲) حکمرانی استفاده از آب‌های سطحی به‌عنوان یک منبع منطقه‌ای جمعی و برای تأمین متوازن برنج در یک منطقه؛

(۲۳) گزینه‌های سیاستی برای کاهش از دست دادن تولید برنج پیش‌بینی شده در برخی مناطق جهان، مانند آسیا؛

(۲۴) ترجمه علم به عمل (کاربرد و پذیرش پیشرفت‌های ژنتیکی)؛ و

(۲۵) گزینه‌های سیاستی که برای افزایش بهره‌وری برنج، پایداری و تحول فراگیر در مناطق عقب‌افتاده لازم است.

۶- سنتز

در مطالعه پیش‌رو به منظور شناسایی شکاف‌های تحقیقاتی که باید برای سامانه‌های پایدار برنج تا سال ۲۰۵۰ در اولویت قرار گیرند، افق‌سنجی انجام شده است. افق‌سنجی مذکور دربرگیرنده کمیته‌ای جهانی از کارشناسان برنج و استفاده از تکنیک دلفی در دو مرحله بود. این فعالیت منجر به شناسایی عوامل، پیش‌بینی‌ها، فرصت‌ها، چالش‌ها، شکاف‌های تحقیقاتی و تکنیک‌ها شد.

بیشتر شکاف‌های تحقیقاتی به‌عنوان «بسیار مرتبط» و «غیرنوآورنه» در نظر گرفته شدند که نشان می‌دهد برای حل مشکلات پایدار نیاز به مطالعه و تحقیقات بیشتری است. تحقیقات بیشتر باید بر اساس یافته‌های موجود بنا شوند و به کاربران نهایی کمک کنند تا از نتایج آن‌ها استفاده کنند. مطالعه حاضر با نظریه افق‌سنجی دالتون هم‌راستاست (Dalton, 2002)، که هم شکاف‌های تحقیقاتی نوین و هم پایدار را شناسایی می‌کند. حرکت به سمت پایداری به‌عنوان تغییری به سوی یک وضعیت پایدار در پاسخ به مشکلات مزمن موجود در جوامع مدرن توصیف می‌شود (Grain et al., 2010). بنابراین، مهم است که به مشکلات پایدار شناسایی‌شده در مطالعه حاضر پرداخته شود تا بتوان به سامانه‌های پایدار برنج دست یافت.

اعضای کمیته جهانی کارشناسان پیرامون ۲۵ شکاف تحقیقاتی برتر در حوزه برنج به یک اندازه با هم موافق نیستند. تحقیقاتی که به آینده مربوط می‌شوند و در حاشیه‌های تفکر فعلی ما جای دارند، به ندرت محل توافق قرار می‌گیرند (Kramer et al., 2017). همچنین، انتظار می‌رود زمانی که کارشناسان از زمینه‌های تحقیقاتی و فرهنگی مختلف هستند، توافق اندکی در دانش آن‌ها وجود داشته باشد. با این حال، توافق به‌عنوان مدرکی برای حمایت از رتبه‌بندی نتایج افق‌سنجی عمل می‌کند (Hines et al., 2019).

کنیکوت و همکاران (۲۰۱۴؛ افق‌سنجی علمی قطب جنوب، با ۷۵ کارشناس)، تأثیرات معناداری بر تحقیقات علمی داشته‌اند (Esmail et al., 2020).

مطالعه حاضر دربرگیرنده نظرات کارشناسانی از حوزه‌های مختلف تحقیقات برنج بود، اما تحقیقات بیشتر می‌تواند از همان رویکرد برای گروه‌های دیگری از کارشناسان یا ذی‌نفعان استفاده کند. شکاف‌های تحقیقاتی می‌توانند بر اساس موقعیت جغرافیایی به گروه‌های بیشتری دسته بندی شوند تا شکاف‌های تحقیقاتی محلی بیشتری نمایان شوند. مقایسه نتایج می‌توانند به درک این مورد که در کجا نتایج با گروه‌های ذی‌نفع هم‌راستا یا متفاوت هستند کمک کند و باعث افزایش قابلیت انطباق نتایج با سیاست و عمل شود. تحقیقات بیشتر می‌تواند کشاورزانی که نتایج تحقیق را به کار می‌برند (MaMilan & Benton, 2014)، سازمان‌های دولتی تأمین مالی که سرمایه‌گذاران کلیدی در تحقیق و توسعه کشاورزی هستند (Alson et al., 2012) و کسب و کارهای بخش کشاورزی یا بخش خصوصی که به طور فزاینده‌ای در تحقیق سرمایه‌گذاری می‌کنند (Pardey et al., 2016) را شامل شود.

مطالعه حاضر همچنین به تعیین اولویت‌های تحقیقاتی به دلیل انجام آن به‌صورت جهانی کمک می‌کند. تعیین اولویت‌های تحقیقاتی برای برنج غالباً منطقه‌ای یا ملی است (به‌عنوان مثال، Barker & Herdt, 2019; Evenson et al., 1996) یا متمرکز بر زیر دامنه‌های تحقیقات برنج است (Hossain et al., 2000; Willocquet et al., 2004). علاوه بر این، گرچه چند مطالعه جهانی انجام شده‌اند، اما این مطالعات بر اساس تجزیه و تحلیل کتاب‌سنجی برای اولویت‌بندی تحقیق متکی بوده‌اند (Bin Rahman & Zhang, 2022; Pandey et al., 2010). بر خلاف مطالعات مبتنی بر کتاب‌سنجی، مطالعه ح از دانش یک کمیته جهانی از کارشناسان زمینه برنج استفاده می‌کند. بنابراین، شکاف‌های تحقیقاتی مرتبط با امنیت غذایی جهانی و پایداری هستند. با ارائه ۲۵ شکاف تحقیقاتی برنج، کارشناسان می‌توانند بر روی حوزه‌های نیاز تمرکز کرده و همکاری کنند که منجر به نتایج تحقیقاتی مؤثرتر و تأثیرگذارتر می‌شود. علاوه بر این، این مطالعه به‌عنوان پلی بین محققان، نهادهای تأمین مالی، سیاستگذاران و کاربران نهایی عمل می‌کند و مجموعه‌ای از تحقیقات را که باید در اولویت قرار گیرد، برجسته می‌کند.

منابع

Alliot, C., & Fechner, T. (2018). Distribution of value in Asian rice value chains. *Oxfam Research Reports*.

Alston, J. M. (2010). The benefits from agricultural research and development, innovation, and productivity growth (OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers). Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD). https://doi.org/10.1787/5km91nfsnkwg-en

Alston, J. M., Andersen, M., James, J. S., & Pardey, P. G. (2012). Persistence pays: U.S. Agricultural productivity growth and the benefits from public R&D spending (2010th ed.). Springer New York.

Alston, J. M., Marra, M. C., Pardey, P. G., & Wyatt, T. J. (2000). Research returns redux: A meta-analysis of the returns to agricultural R&D. The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 44(2), 185–215.

Amanatidou, E., Butter, M., Carabias, V., Könnölä, T., Leis, M., Saritas, O., Schaper-Rinkel, P., & van Rij, V. (2012). On concepts and methods in horizon scanning: Lessons from initiating policy dialogues on emerging issues. Science & Public Policy, 39(2), 208–221.

Anderson, E. N. (1988). The food of China. Yale University Press.

Bajaj, S., & Mohanty, A. (2005). Recent advances in rice biotechnology – Towards genetically superior transgenic rice. Plant Biotechnology Journal, 3(3), 275–307.

Baranski, M. (2022). The globalization of wheat: A critical history of the green revolution. University of Pittsburgh Press.

Barker, R., & Herdt, R. W. (2019). Setting priorities for rice research in Asia. In R. S. Anderson, P. R. Brass, E. Levy, & B. Morrison (Eds.), Science, politics, and the agricultural revolution in Asia (pp. 427–461). Routledge.

Bhatt, R., Singh, P., Hossain, A., & Timsina, J. (2021). Rice–wheat system in the northwest Indo-Gangetic plains of South Asia: Issues and technological interventions for increasing productivity and sustainability. Paddy and Water Environment, 19(3), 345–365.

Bin Rahman, A. N. M. R., & Zhang, J. (2022). Trends in rice research: 2030 and beyond. Food Energy Security, 12(2), e390. https://doi.org/10.1002/fes3.390

Borlaug, N. (2007). Feeding a hungry world. Science (New York, N.Y.), 318(5849), 359.

Brainerd, E., & Menon, N. (2014). Seasonal effects of water quality: The hidden costs of the green revolution to infant and child health in India. Journal of Development Economics, 107, 49–64.

Brooks, K., & Place, F. (2019). Global food systems: Can foresight learn from hindsight? Global Food Security, 20, 66–71.

Brown, M. J. F., Dicks, L. V., Paxton, R. J., Baldock, K. C. R., Barron, A. B., Chauzat, M.-P., Freitas, B.
M., Goulson, D., Jepsen, S., Kremen, C., Li, J., Neumann, P., Pattemore, D.
E., Potts, S. G., Schweiger, O., Seymour, C. L., & Stout, J. C. (2016). A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. PeerJ, 4, e2249.

Chand, R., & Haque, T. (1998). Rice-wheat crop system in Indo-Gangetic Region: Issues concerning sustainability. Economic and Political Weekly, 33(26), A108–A112.

Chauhan, B. S., Mahajan, G., Sardana, V., Timsina, J., & Jat, M. L. (2012). Productivity and sustainability of the rice–wheat cropping system in the Indo-Gangetic plains of the Indian subcontinent: Problems, opportunities, and strategies. Advances in agronomy, 117, 315–369.

Cuhls, K. (2020). Horizon scanning in foresight – why horizon scanning is only a part of the game. Futures & Foresight Science, 2(1), e23. https://doi.org/10.1002/ffo2.23

Cuhls, K., Erdmann, L., Warnke, P., Toivanen, H., Toivanen, M., van der Giessen, A. M., & Seiffert, L. (2015). Models of horizon scanning: How to integrate horizon scanning into European research and innovation policies. European Commission.

Dalton, H. (2002). Defra's horizon scanning strategy for science. Department for Environment. Food and Rural Affairs (Defra).

Davis, K. F., Dalin, C., Kummu, M., Marston, L., Pingali, P., & Tuninetti, M. (2022). Beyond the green revolution: A roadmap for sustainable food systems research and action. Environmental Research Letters, 17(10), 10040

Duboff, R. S. (2007). The wisdom of (expert) crowds. Harvard Business Review.

Esmail, N., Wintle, B. C., t Sas-Rolfes, M., Athanas, A., Beale, C. M., Bending, Z., Dai, R., Fabinyi, M., Gluszek, S., Haenlein, C., Harrington, L. A., Hinsley, A., Kariuki, K., Lam, J., Markus, M., Paudel, K., Shukhova, S., Sut herland, W. J., Verissimo, D., … & Milner-Gulland, E. J. (2020). Emerging illegal wildlife trade issues: A global horizon scan. Conservation Letters, 13(4), e12715. https://doi.org/10.1111/conl.12715

Evenson, R. E., Herdt, R. W., & Hossain, M. (Eds.). (1996). Rice research in Asia. CABI Publishing.

Fleming, A., Jakku, E., Fielke, S., Taylor, B. M., Lacey, J., Terhorst, A., & Stitzlein, C. (2021). Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. Agricultural Systems, 190, 103120.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, M.E., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S.

, Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., … Zaks, D. P. (2011). Solutions for a cultivated planet. Nature, 478(7369), 337–342.
Fuller, D. Q. (2011). Pathways to Asian civilizations: Tracing the origins and spread of rice and rice cultures. Rice, 4(3), 78–92.
Glaros, A., Marquis, S., Major, C., Quarshie, P., Ashton, L., Green, A. G., Kc, K. B., Newman, L., Newell, R., Yada, R. Y., & Fraser, E. D. G. (2022). Horizon scanning and review of the impact of five food and food production models for the global food system in 2050. Trends in Food Science & Technology, 119, 550–564.
Gollin, D., Hansen, C. W., & Wingender, A. M. (2021). Two blades of grass: The impact of the green revolution. The Journal of Political Economy, 129(8), 2344–2384.
Gregorio, G. B., Senadhira, D., Mendoza, R. D., Manigbas, N. L., Roxas, J. P., & Guerta, C. Q. (2002). Progress in breeding for salinity tolerance and associated abiotic stresses in rice. Field Crops Research, 76(2), 91–101.
Grin, J., Rotmans, J., & Schot, J. (2010). Transitions to sustainable development: New directions in the study of long_term transformative change. Routledge.
Gupta, R. K., Naresh, R. K., Hobbs, P. R., Jiaguo, Z., & Ladha, J. K. (2015). Sustainability of post-green revolution agriculture: The rice-wheat cropping systems of the indo-gangetic plains and China. Improving the Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Systems: Issues and Impacts, 65, 1–25.
Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Nahar, K., & Biswas, J. K. (2018). Advances in rice research for abiotic stress tolerance. Woodhead Publishing.
Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: Implications for crop production. Agronomy Journal, 103(2), 351–370.
Heisey, P., & Fuglie, K. (2007). Economic returns to public agricultural research. USDA-ERS Economic Brief, 10, 1–9. https://doi.org/10.2139/ssrn.1084926
Hines, P., Hiu Yu, L., Guy, R. H., Brand, A., & Papaluca-Amati, M. (2019). Scanning the horizon: A systematic literature review of methodologies. BMJ Open, 9(5), e026764.
Ho, T. D. N., Kuwornu, J. K. M., & Tsusaka, T. W. (2022). Factors influencing small-holder rice farmers' vulnerability to climate change and variability in the Mekong delta region of Vietnam. European Journal of Development Research, 34(1), 272–302.
Hossain, M., Bennett, J., Datta, S., Leung, H., & Khush, G. (2000). Biotechnology research in rice for Asia: Priorities, focus and directions. In M. Qaim, A. F. Krattiger, & J. von Braun (Eds.), Agricultural biotechnology in developing

countries: Towards optimizing the benefits for the poor (pp. 99–120). Springer US.

Hurley, T. M., Rao, X., & Pardey, P. G. (2014). Re-examining the reported rates of return to food and agricultural research and development. American Journal of Agricultural Economics, 96(5), 1492–1504.

Ingram, J., Maye, D., Bailye, C., Barnes, A., Bear, C., Bell, M., Cutress, D., Davies, L ., deBoon, A., Dinnie, L., Gairdner, J., Hafferty, C., Holloway, L., Kindred, D., Kirby, D., Leake, B., Manning, L., Marchant, B., Morse, A.,…& Wilson, L. (20 22). What are the priority research questions for digital agriculture? Land Use Policy, 114, 105962.

Izawa, T., & Shimamoto, K. (1996). Becoming a model plant: The importance of rice to plant science. Trends in Plant Science, 1(3), 95–99.

Jackson, S. A. (2016). Rice: The first crop genome. Rice, 9(1), 14.

Jagadish, S. V. K., Septiningsih, E. M., Kohli, A., Thomson, M. J., Ye, C., Redona, E., Kumar, A., Gregorio, G. B., Wassmann, R., Ismail, A. M., & Singh, R. K. (2012). Genetic advances in adapting rice to a rapidly changing climate. Journal of Agronomy and Crop Science, 198(5), 360–373.

Kennicutt, M. C., Chown, S. L., Cassano, J. J., Liggett, D., Massom, R., Peck, L. S., Rintoul, S. R., Storey, J. W., Vaughan, D. G., Wilson, T. J., & Sutherland, W. J. (2014). Polar research: Six priorities for Antarctic science. Nature, 512(7512), 23–25.

Klapwijk, C. J., van Wijk, M. T., Rosenstock, T. S., van Asten, P. J. A., Thornton, P. K., & Giller, K. E. (2014). Analysis of trade-offs in agricultural systems: Current status and way forward. Current Opinion in Environmental Sustainability, 6, 110–115.

Könnölä, T., Salo, A., Cagnin, C., Carabias, V., & Vilkkumaa, E. (2012). Facing the future: Scanning, synthesizing and sense-making in horizon scanning. Science & Public Policy, 39(2), 222–231.

Kramer, D. B., Hartter, J., Boag, A. E., Jain, M., Stevens, K., Nicholas, K. A., McConnell, W. J., & Liu, A. J. (2017). Top 40 questions in coupled human and natural systems (CHANS) research. Ecology and Society, 22(2), 44.

Kristkova, Z. S., Van Dijk, M., & Van Meijl, H. (2017). Assessing the impact of agricultural R&D investments on long-term projections of food security. In A. Schmitz, P. L. Kennedy, & T. G. Schmitz (Eds.), World agricultural resources and food security, 17 (pp. 1–17). Emerald Publishing Limited.

Lesk, C., Anderson, W., Rigden, A., Coast, O., Jägermeyr, J., McDermid, S., Davis, K . F., & Konar, M. (2022). Compound heat and moisture extreme impacts on global crop yields under climate change. Nature Reviews Earth & Environment, 3(12), 872–889.

Linquist, B., Groenigen, K. J., Adviento-Borbe, M. A., Pittelkow, C., & Kessel, C. (2012). An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. Global Change Biology, 18(1), 194–209.

MacMillan, T., & Benton, T. G. (2014). Agriculture: Engage farmers in research. Nature, 509(7498), 25–27.

Misra, M. (2017). Small-holder agriculture and climate change adaptation in Bangladesh: Questioning the technological optimism. Climate and Development, 9(4), 337–347.

Mohanty, S., Wailes, E., & Chavez, E. (2010). The global rice supply and demand outlook: the need for greater productivity growth to keep rice affordable. *Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.

Mohd Hanafiah, N., Mispan, M. S., Lim, P. E., Baisakh, N., & Cheng, A. (2020). The 21st century agriculture: When rice research draws attention to climate variability and how weedy rice and underutilized grains come in handy. Plants, 9(3), 365.

Mukherjee, N., Hugé, J., Sutherland, W. J., McNeill, J., Van Opstal, M., Dahdouh-Guebas, F., & Koedam, N. (2015). The Delphi technique in ecology and biological conservation: Applications and guidelines. Methods in Ecology and Evolution, 6(9), 1097–1109.

National Academies of Sciences. (2020). Horizon scanning and foresight methods. National Academies Press.

Nelson, A., Wassmann, R., Sander, B. O., & Palao, L. K. (2015). Climate-determined suitability of the water saving technology "alternate wetting and drying" in rice systems: A scalable methodology demonstrated for a province in the Philippines. PloS One, 10(12), e0145268.

Neve, P., Barney, J. N., Buckley, Y., Cousens, R. D., Graham, S., Jordan, N. R., Lawton-Rauh, A., Liebman, M., Mesgaran, M. B., Schut, M., Shaw, J., Storkey, J., Baraibar, B., Baucom, R. S., Chalak, M., Childs, D. Z., Christensen, S., Eizenberg, H., Fernández-Quintanilla, C., … & Williams, M. (2018). Reviewing research priorities in weed ecology, evolution and management: A horizon scan. Weed Research, 58(4), 250–258.

Nyadzi, E., Saskia Werners, E., Biesbroek, R., Long, P. H., Franssen, W., & Ludwig, F. (2019). Verification of seasonal climate forecast toward hydroclimatic information needs of rice farmers in Northern Ghana. Weather, Climate, and Society, 11(1), 127–142.

Ojo, T. O., & Baiyegunhi, L. J. S. (2020). Determinants of climate change adaptation strategies and its impact on the net farm income of rice farmers in south-west Nigeria. Land Use Policy, 95, 103946.

Pandey, S., Byerlee, D., Dawe, D., Dobermann, A., Mohanty, S., Rozelle, S., & Hardy, B. (2010). Rice in the global economy: Strategic research and policy issues for food security. International Rice Research Institute.

Pardey, P. G., Chan-Kang, C., Dehmer, S. P., & Beddow, J. M. (2016). Agricultural R&D is on the move. Nature, 537(7620), 301–303.

Perkins, J. H. (1997). Geopolitics and the green revolution: Wheat, genes, and the cold war. Oxford University Press.

Pingali, P. (2012). Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109(31), 12302–12308.

Pingali, P., Aiyar, A., Abraham, M., & Rahman, A. (2019). The way forward: Food systems for enabling rural prosperity and nutrition security. In C. B. Barrett (Ed.), Transforming food systems for a rising India (pp. 277–311). Springer International Publishing.

Pretty, J., Sutherland, W.J., Ashby, J., Auburn, J., Baulcombe, D., Bell, M., Bentley, J ., Bickersteth, S., Brown, K., Burke, J., Campbell, H., Chen, K., Crowley, E., Cr ute, I., Dobbelaere, D., Edwards-Jones, G., Funes-Monzote, F., Godfray, H. C. J., Griffon, M., … Pilgrim, S. (2010). The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. International Journal of Agricultural Sustainability, 8(4), 219–236.

Rebetzke, G. J., Jimenez-Berni, J., Fischer, R. A., Deery, D. M., & Smith, D. J. (2019). High-throughput phenotyping to enhance the use of crop genetic resources. Plant Science, 282, 40–48.

Redfern, S. K., Azzu, N., & Binamira, J. S. (2012). Rice in Southeast Asia: Facing risks and vulnerabilities to respond to climate change. Build Resilience Adapt Climate Change Agri Sector, 23(295), 1–14.

Renkow, M., & Byerlee, D. (2010). The impacts of CGIAR research: A review of recent evidence. Food Policy, 35(5), 391–402.

Rezvi, H. U. A., Tahjib-Ul-Arif, M., Azim, M. A., Tumpa, T. A., Tipu, M. M. H., Najnine, F., Dawood, M. F. A., Skalicky, M., & Brestič, M. (2022). Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. Food and Energy Security, 12(1), e430.

Rowe, G., & Wright, G. (1999). The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis. International Journal of Forecasting, 15(4), 353–375.

Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert opinions in forecasting: The role of the Delphi technique. In J. S. Armstrong (Ed.), Principles of forecasting: A handbook for researchers and practitioners (pp. 125–144). Springer.

Sachs, J., Remans, R., Smukler, S., Winowiecki, L., Andelman, S. J., Cassman, K. G., Castle, D., DeFries, R., Denning, G., Fanzo, J., Jackson, L.E., Leemans, R., Lehmann, J., Milder, J. C., Naeem, S., Nziguheba, G., Palm, C. A., Pingali, P.

L., Reganold, J. P., … & Sanchez, P. A. (2010). Monitoring the world's agriculture. Nature, 466(7306), 558–560.
Samal, P., Babu, S. C., Mondal, B., & Mishra, S. N. (2022). The global rice agriculture towards 2050: An inter-continental perspective. Outlook on Agriculture, 51(2), 164–172.
Sander, B. O., Wassmann, R., Palao, L. K., & Nelson, A. (2017). Climate-based suitability assessment for alternate wetting and drying water management in the Philippines: A novel approach for mapping methane mitigation potential in rice production. Carbon Management, 8(4), 331–342.
Sasaki, T., Matsumoto, T., Yamamoto, K., Sakata, K., Baba, T., Katayose, Y., Wu, J., Niimura, Y., Cheng, Z., Nagamura, Y., Antonio, B.A., Kanamori, H., Hosokawa , S., Masukawa, M., Arikawa, K., Chiden, Y., Hayashi, M., Okamoto, M., Ando, T., … Gojobori, T. (2002). The genome sequence and structure of rice chromosome 1. Nature, 420(6913), 312–316.
Seck, P. A., Diagne, A., Mohanty, S., & Wopereis, M. C. S. (2012). Crops that feed the world 7: Rice. Food Security, 4(1), 7–24.
Singh, K., McClean, C. J., Büker, P., Hartley, S. E., & Hill, J. K. (2017). Mapping regional risks from climate change for rainfed rice cultivation in India. Agricultural Systems, 156, 76–84.
Sithirith, M. (2021). Downstream state and water security in the Mekong region: A case of Cambodia between too much and too little water. Water, 13(6), 802.
Song, P., Wang, J., Guo, X., Yang, W., & Zhao, C. (2021). High-throughput phenotyping: Breaking through the bottleneck in future crop breeding. The Crop Journal, 9(3), 633–645.
Sterner, T., Barbier, E. B., Bateman, I., van den Bijgaart, I., Crépin, A.-S., Edenhofer, O., Fischer, C., Habla, W., Hassler, J., JohanssonStenman, O., La nge, A., Polasky, S., Rockström, J., Smith, H.G., Steffen, W., Wagner, G., Wile n, J. E., Alpízar, F., Azar, C., … & Robinson, A. (2019). Policy design for the Anthropocene. Nature Sustainability, 2(1), 14–21.
Stevenson, J. R., Villoria, N., Byerlee, D., Kelley, T., & Maredia, M. (2013). Green revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110(21), 8363–8368.
Sutherland, W. J., Fleishman, E., Clout, M., Gibbons, D. W., Lickorish, F., Peck, L. S., Pretty, J., Spalding, M., & Ockendon, N. (2019). Ten years on: A review of the first global conservation horizon scan. Trends in Ecology & Evolution, 34(2), 139–153.
Sweeney, M., & McCouch, S. (2007). The complex history of the domestication of rice. Annals of Botany, 100(5), 951–957.

Thu, H. N., & Wehn, U. (2016). Data sharing in international transboundary contexts: The Vietnamese perspective on data sharing in the lower Mekong basin. Journal of Hydrology, 536, 351–364.

Timmer, C. P., Block, S., & Dawe, D. (2010) Long-run dynamics of rice consumption, 1960–2050. In S. Pandey, D. Byerlee, D. Dawe, A. Dobermann, S. Mohanty, S. Rozelle, & B. Hardy (Eds.), Rice in the global economy: Strategic research and policy issues for food security (pp. 139–174). International Rice Research Institute.

Tran, T. A., & Tortajada, C. (2022). Responding to transboundary water challenges in the Vietnamese Mekong Delta: In search of institutional fit. Environmental Policy and Governance, 32(4), 331–347.

Tubiello, F.N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N.,& Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. Environmental Research Letters, 8(1), 015009.

van Oort, P. A. J., Saito, K., Tanaka, A., Amovin-Assagba, E., Van Bussel, L. G. J., van Wart, J., de Groot, H., van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., & Wopereis, M. C. S. (2015). Assessment of rice self-sufficiency in 2025 in eight African countries. Global Food Security, 5, 39–49.

van Rij, V. (2010). Joint horizon scanning: Identifying common strategic choices and questions for knowledge. Science & Public Policy, 37(1), 7–18.

Waha, K., Dietrich, J. P., Portmann, F. T., Siebert, S., Thornton, P. K., Bondeau, A., & Herrero, M. (2020). Multiple cropping systems of the world and the potential for increasing cropping intensity. Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions, 64, 102131.

Wassmann, R., Jagadish, S.V.K., Heuer, S., Ismail, A., Redona, E., Serraj, R., Singh, R. K., Howell, G., Pathak, H., & Sumfleth, K. (2009). Chapter 2 climate change affecting rice production: The physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies. Advances in Agronomy, 101, 59–122.

Willocquet, L., Elazegui, F.A., Castilla, N., Fernandez, L., Fischer, K.S., Peng, S., Teng, P. S., Srivastava, R. K., Singh, H. M., Zhu, D., & Savary, S. (2004). Research priorities for rice pest management in tropical Asia: A simulation analysis of yield losses and management efficiencies. Phytopathology, 94(7), 672–682.

Wintle, B. C., Kennicutt, M. C. II, & Sutherland, W. J. (2020). Scanning horizons in research, policy and practice. In W. J. Sutherland, P. N. M. Brotherton, Z. G. Davies, N. Ockendon, N. Pettorelli, & J. A. Vickery (Eds.), Conservation research, policy and Practice (pp. 29–47). Cambridge University Press.

Yang, W., Feng, H., Zhang, X., Zhang, J., Doonan, J. H., Batchelor, W. D., Xiong, L., & Yan, J. (2020). Crop phenomics and high-throughput phenotyping: Past decades, current challenges, and future perspectives. Molecular Plant, 13, 187–214.

Yang, X., Chen, F., Lin, X., Liu, Z., Zhang, H., Zhao, J., Li, K., Ye, Q., Li, Y., Lv, S., Yang, P., Wu, W., Li, Z., Lal, R., & Tang, H. (2015). Potential benefits of climate change for crop productivity in China. Agricultural and Forest Meteorology, 208, 76–84.

Yuan, S., Linquist, B. A., Wilson, L. T., Cassman, K. G., Stuart, A. M., Pede, V., Miro, B., Saito, K., Agustiani, N., Aristya, V. E., Krisnadi, L. Y., Zanon, A. J., Heinemann, A. B., Carracelas, G., Subash, N., Brahmanand, P. S., Li, T., Peng, S., & Grassini, P.… (2021). Sustainable intensification for a larger global rice bowl. Nature Communications, 12(1), 7163.

Zeigler, R. S., & Barclay, A. (2008). The relevance of rice. Rice, 1, 3–10. https://doi.org/10.1007/s12284-008-9001-z

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

تهران، خیابان طالقانی، نبش خیابان موسوی (فرصت)، شماره ۱۷۵
کدپستی: ۱۵۸۳۶۴۸۴۹۹ شماره تماس: ۸۵۷۳۲۸۵۱-۰۲۱
وب سایت:www.awnrc.com ایمیل: info@awnrc.com