

مقاله مروری

نگرشی بر قابلیت‌های توسعه کشت برنج هوازی در شرایط بحران کمبود آب در ایران An overview on potential of aerobic rice production in water crisis conditions in Iran

علی مومنی

چکیده

مومنی، ع. ۱۳۹۵. نگرشی بر قابلیت‌های توسعه کشت برنج هوازی در شرایط بحران کمبود آب در ایران. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۳): ۱۹۵-۱۷۹.

پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن زمین منجر به بروز تغییرات آب و هوایی شدید از جمله وقوع خشکسالی در اغلب مناطق کره زمین شده است و تنش خشکی حاصل از آن از جمله عوامل مهم محدود کننده در کشت محصولات زراعی و تهدید پایداری تولید آنها، به ویژه برنج محسوب می‌شود. با توجه به اینکه کشت و کار برنج در اغلب مناطق برنج خیز دنیا و از جمله ایران مبتنی بر آبیاری دائم (Irrigated-lowland with continous submergence) است، ضرورت تغییر اساسی و توسعه روش‌های مناسبی از کشت برنج در مناطق تحت بحران و یا در معرض خطر که آب کمتری مصرف کرده و در عین حال عملکرد مناسبی نیز تولید نماید، اجتناب ناپذیر نموده است. از این رو تغییر شیوه زراعت از غرقابی به هوازی با استفاده از ژنوتیپ‌های خاصی از برنج به نام "برنج‌های هوازی" که بذر آنها به صورت خشک و در خاک غیر غرقاب و کاملاً زه‌کشی شده، بدون گل‌خرابی و غیر اشباع کشت شده و عملکرد مناسبی تولید می‌کنند، می‌تواند در حفظ و پایداری تولید برنج در شرایط کشور مورد توجه قرار گیرد. نتایج تحقیقات اخیر نشان داده است که عملکرد دانه برخی از ارقام برنج هوازی با مصرف ۵۰ درصد آب کمتر (در مقایسه با آبیاری مرسوم غرقابی)، حدود ۱۱ تن در هکتار بوده است. در ایران نیز نتایج آزمایش‌های مقدماتی مربوط به کشت و کار ژنوتیپ‌های برنج هوازی نشان داده است که این ژنوتیپ‌ها ضمن دارا بودن عملکرد دانه مناسب، امکان تغییر الگوی کشت از غرقابی به هوازی در مناطق مواجه با خطر کم‌آبی و حفظ تولید برنج در شرایط بحران آبی را فراهم می‌کنند. در این مقاله قابلیت‌های کشت و توسعه ارقام برنج هوازی و امکان تغییر شیوه زراعت برنج از غرقابی به هوازی در جهان و ایران به صورت اجمالی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: برنج هوازی، تغییر اقلیم، شیوه کشت، کمبود آب و گرمایش جهانی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۲۴

۱- دانشیار و عضو هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور - معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران
عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: amoumeni@areeo.ac.ir)

مقدمه

بروز پدیده‌های تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در سال‌های اخیر باعث بروز تغییرات آب و هوایی شدیدی در سرتاسر کره زمین شده است که از جمله می‌توان به وقوع خشکسالی‌های پی در پی در بسیاری از مناطق کره زمین اشاره نمود. این تغییرات نقش مهمی در کاهش تولید محصولات زراعی از جمله برنج داشته‌اند (Furuya and Koyama, 2005; Moumeni *et al.*, 2015). گزارش شده است که به ازای افزایش یک تا سه درجه دمای هوا، میزان محصول برنج شش تا ۴۰ درصد کاهش یافته است (Tao *et al.*, 2008) که در نتیجه آن، امنیت غذایی در کشورهای تحت تأثیر این پدیده‌ها در معرض خطر قرار خواهد گرفت (Schmidhuber and Tubiello, 2007). براساس پیش‌بینی‌های انجام شده، بروز پدیده خشکی و خشکسالی در مناطق مختلف کره زمین تا انتهای قرن حاضر به شدت افزایش پیدا خواهد کرد. برآورد شده است که تا سال ۲۰۲۵، حدود نیمی از جمعیت جهان تحت شرایط بحران بسیار شدید کم‌آبی قرار خواهند گرفت و جمعیت مناطقی که با تنش مطلق آب مواجه خواهد شد یک میلیارد نفر و بیش از ۶۰ درصد از جمعیت جهان با تنش آبی مواجه خواهند شد و در خاورمیانه شدت تنش خشکی به وضعیت شدید (۸۰ درصد) خواهد رسید (Rosegrant *et al.*, 2002). گزارش شده است که میزان آب لازم جهت آبیاری گیاهان زراعی، بیش از ۷۰ درصد آب‌های جاری روی کره زمین را شامل می‌شود. در قاره آسیا برنج به تنهایی بیش از ۵۰ درصد از آب آبیاری را به خود اختصاص می‌دهد (Sandhu *et al.*, 2012)، از این‌رو متخصصان نگران سه حقیقت مهم در رابطه با تولید برنج هستند: الف- برنج محصول زراعی مهم در تأمین غذای بشر محسوب می‌شود، ب- تقاضا برای غذا و مصرف آب رو به تزاید می‌باشد، و ج- برنج به عنوان یک گیاه نیمه آبی‌نیاز غرقابی بودن مزرعه در زمان رشد دارد

(Predeepa, 2012). براساس گزارشات موجود در ایران نیز از اواسط دهه ۱۳۸۰، روند بارش در کشور نسبت به میانگین دراز مدت همواره منفی شده و در سال ۱۳۹۳ بطور متوسط ۲۱ استان کشور، از جمله استان‌های برنج‌خیز شمالی، نسبت به میانگین بلند مدت کمبود بارش داشته‌اند (Anonymous, 2014). از این‌رو در این مقاله مروری سعی شده تا به تشریح قابلیت‌های برنج هوازی، راهکارهای افزایش بهره‌وری آب و تولید پایدار برنج، تحلیل امکان کشت این ژنوتیپ‌های خاص از برنج در کشور پرداخته شود.

راهکارهای کاهش مصرف آب در تولید برنج

با توجه به روند تغییرات اقلیم و بروز بی‌آبی و کم‌آبی در آسیا، به ویژه زراعت ارقام برنج مبتنی بر غرقابی، لزوم استفاده بهینه از آب در تولید برنج اجتناب ناپذیر شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که در کشت برنج مبتنی بر شیوه غرقابی، عموماً کارآیی مصرف آب بسیار پایین بوده و گزارش شده است که ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ لیتر آب برای تولید یک کیلوگرم برنج مصرف می‌شود (Shashidhar, 2007)، در حالی که براساس آزمایش‌های انجام گرفته در شرایط کنترل شده، مقدار نیاز واقعی آب جهت تولید یک کیلوگرم برنج تنها ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر بوده است (Predeepa, 2012). گزارش شده است که آبیاری غرقابی علاوه بر مصرف آب بالا باعث کاهش کارآیی مصرف کود نیز می‌شود. سیستم مرسوم نشایی تولید برنج در خاک گِل‌خراب شده (Puddled) باعث تخریب ساختمان خاک و کاهش حجم خلل و فرج بزرگ (ماکرو) در آن شده و همزمان با افزایش خلل و فرج‌های ریز و میکروسکوپی در خاک، باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی در تناوب با برنج که جهت افزایش بهره‌وری مدنظر می‌باشند، می‌شود (Shashidhar, 2007). در این رابطه راهکارهای مختلفی جهت کاهش میزان مصرف آب بکار گرفته شده‌اند که از جمله آنها می‌توان به کشت در

"نگرشی بر قابلیت‌های توسعه کشت برنج..."

جدول ۱- طبقه‌بندی روش‌های تولید برنج براساس راهکارهای مدیریت آب

Table 1. Classification of rice production systems by water management strategies

بستر غرقاب Flooded lowland			بستر خشک Dryland			
آبیاری (غیرهوازی) Lowland (anaerobic)			خشک و تر نمودن متناوب Alternate wetting and drying		هوازی Aerobic	
ویژگی‌ها Characteristic	غرقابی مرسوم Conventional flooded	کشت در خاک اشباع Saturated soil culture	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed	برنج هوازی Aerobic rice	برنج آپلند Upland rice
روشن آبیاری Hydrology	غرقاب Flooded	اشباع Saturation	هوازی ↔ غرقابی Flooded ↔ aerobic	هوازی ↔ غرقابی Flooded ↔ aerobic	هوازی Aerobic	هوازی Aerobic
آبیاری Irrigation	فاریاب Irrigated	فاریاب Irrigated	فاریاب Irrigated	دیم Rainfed	فاریاب، دیم Irrigated, rainfed	دیم Rainfed
خاک‌ورزی Tillage	گلخراب شده Puddled	گلخراب شده Puddled	گلخراب شده Puddled	گلخراب شده Puddled	گلخراب نشده Nonpuddled	گلخراب نشده Nonpuddled
محیط Environment	مناسب (غرقابی) Favorable lowland	مناسب (غرقابی) Favorable lowland	نامناسب (غرقابی) Unfavorable lowland	نامناسب (غرقابی) Unfavorable lowland	مناسب (آپلند) نامناسب (غرقابی) Favorable, upland Unfavorable lowland	نامناسب (آپلند) Unfavorable, upland
ژرم پلاسم Germplasm	آبیاری (غرقابی) Lowland	آبیاری (غرقابی) Lowland	آبیاری (غرقابی) Lowland	آبیاری (غرقابی) Lowland	اصلاح شده (آپلند × آبیاری) Improved upland × lowland	آپلند Upland
میزان عملکرد Yield level	بالا High	بالا High	بالا-متوسط High-medium	متوسط - پایین Medium-low	بالا-متوسط High-medium	پایین Low

نقل از: (Belder et al., 2005)

می‌شود (Shashidhar, 2007). از این رو بسیار مهم است که برای هر قطره آبی که به روش‌های مختلف وارد شالیزار می‌شود، بطور اثربخشی بهره‌برداری شود. براین اساس از میان روش‌های ذکر شده، برنج هوازی شرایط مناسبی را برای استفاده اثربخش آب (به صورت باران و یا آبیاری بارانی) در مزرعه فراهم می‌آورد، بدون آنکه آب به صورت غرقابی و اشباع در سطح مزرعه وجود داشته باشد و کشاورز می‌تواند در مصرف آب نهایت صرفه جویی را بعمل آورد.

در آزمایشی که به منظور مقایسه بین نیاز آبی ارقام برنج هوازی و مرسوم انجام گرفت، گزارش شد که میزان نیاز آبی کشت و کار برنج در شرایط مرسوم نشایی و غرقابی بین ۱۶۵۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌متر است، در حالی که برای سیستم هوازی این میزان حدود ۹۳۵ میلی‌متر می‌باشد (Tuong and Bouman, 2003; Lampayan and Bouman, 2005) که در محدوده نیاز واقعی به میزان آب مورد نیاز برای تولید یک کیلوگرم برنج است. مقایسه مصرف میزان آب در طول فصل رشد بین دو شیوه کشت مرسوم غرقابی و هوازی در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود تفاوت چشمگیری بین دو شیوه مبتنی بر غرقابی مرسوم و هوازی وجود دارد. میزان صرفه‌جویی در آب در شیوه هوازی حداقل ۴۵ درصد است.

خاک اشباع (Saturated soil culture) (غیر غرقاب) (Borell *et al.*, 1997)، آبیاری متناوب با تر و خشک نمودن دوره‌ای (Alternate wet and dry; AWD) خاک (Tabbal *et al.*, 2002)، پوشش خاک با مالچ پلاستیکی (Ground plastic mulching systems) (He *et al.*, 2013)، سیستم تولید فشرده برنج (System of rice intensification, SRI) (Stoop *et al.*, 2002)، کشت در روی بسترهای بلند (Raised bed) (Singh *et al.*, 2002)، کشت هوازی برنج (Bouman *et al.*, 2002) و اصلاح ارقام برنج متحمل به تنش خشکی و کم‌آبی (Fischer *et al.*, 2003) اشاره نمود. انواع روش‌های تولید برنج که براساس مدیریت مصرف آب دسته بندی شده‌اند در جدول ۱ نشان داده شده است. براین اساس و با توجه به میزان دسترسی به آب می‌توان روش مناسب کشت برنج را انتخاب نمود. گزارش شده است که دو روش AWD و SRI دارای بهره‌وری بالا و حدود ۲۰ درصد کاهش مصرف آب بدون کاهش معنی‌دار در عملکرد می‌باشند، ولی آب مورد نیاز جهت چنین سیستم‌هایی، به ویژه برای آماده سازی زمین و گلخراش نمودن شالیزار نیز بسیار بالا است. به علاوه سطح آب شالیزار باید به ارتفاع ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر حفظ شود و حجم زیادی از آب (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) نیز به صورت زه کش و یا نفوذ عمقی تلف

جدول ۲- مقایسه نیاز آبی برنج در طول دوره رشد در دو شیوه کشت غرقابی مرسوم و هوازی

Table 2. Comparison of seasonal water requirement between lowland flooded rice and aerobic rice

آب مورد نیاز در فصل رشد		عملیات زراعی	
Seasonal water requirement (mm)		Field practice	
ارقام هوازی	ارقام برنج غرقابی		
Aerobic rice	Lowland flooded rice		
100	50-300	Land preparation	آماده سازی زمین
100	200	Evaporation	تبخیر
400	400	Transpiration	تعرق
335	500-1500	Seepage and percolation	زه کشی و نفوذ عمقی
335	-	Application loss (at 60% efficiency)	تلفات (در ۶۰ درصد کارایی)
935	1650-3000	Total seasonal water requirement	کل نیاز آبی در طول فصل رشد

نقل از: Shashidhar, 2007

برنج هوازی، تعریف و ویژگی‌ها

از آغاز انقلاب سبز در آسیا، کشت برنج در شرایط آبیاری غرقابی به طور روز افزونی توسعه یافته است (Kato and Katsura, 2014). نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش از ۷۵ درصد از تولید برنج در دنیا از حدود ۷۹ میلیون هکتار از اراضی شالیزاری بدست می‌آید که مبتنی بر کشت بر اساس آبیاری است. این اراضی همواره در معرض تهدید فزاینده کمبود منابع آبی قرار دارند (Nie et al., 2012). همچنین برآورد شده است که تا سال ۲۰۲۵ میلادی (۱۴۰۴ شمسی) حدود ۱۷ میلیون هکتار از شالیزارها در آسیا در معرض بی‌آبی و ۲۲ میلیون هکتار در معرض کم‌آبی اقتصادی قرار خواهند گرفت (Tuong and Bouman, 2003). در ایران نیز گزارش‌های غیررسمی حکایت از آن دارد که تنها در سال ۱۳۹۴ بیش از ۱۰ درصد از اراضی شالیزاری فقط در استان مازندران در معرض تنش خشکی بسیار شدید قرار داشته و یا خشک شدند (نقل از <http://tnews.ir/news/837545203427.html>). با افزایش روند خطر کم‌آبی و نبود منابع کافی آبی جهت کشت به شیوه مرسوم برنج، بدنبال آزمایش‌های انجام شده راهکارهای مختلفی جهت کاهش مصرف آب در کشت برنج از جمله کشت برنج در خاک اشباع از آب، خشک و تر نمودن خاک (آبیاری تناوبی) و شیوه کشت هوازی برنج توسعه داده شدند (Shashidhar, 2007; Amudha et al., 2009). بدین جهت توسعه و پذیرش کشت برنج به صورت هوازی با استفاده از ژنوتیپ‌های برنج هوازی مورد توجه جدی قرار گرفت. برنج هوازی شیوه جدیدی در کشت برنج محسوب می‌شود که اولین بار توسط محققان چینی با همکاری محققان موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) در فیلیپین مطرح شد (Predeepa, 2012). برنج هوازی عموماً به ارقام اصلاح شده خاصی از برنج که به شیوه جدید کشت و تولید برنج با بذر خشک در خاک غیرغرقاب و کاملاً زه‌کشی شده، گل‌خراب

نشده و غیراشباع سازگار بوده و عملکرد دانه مناسبی تولید نماید، اطلاق می‌شود (Peng et al., 2006; Bouman, 2007; Bayot and Templeton, 2009). در این شیوه کشت برنج، بذر خشک بطور مستقیم در بستر خشک (متفاوت از شیوه نشایی و غرقابی) کاشته شده و آبیاری آن عمدتاً به صورت بارانی و یا آبیاری مقطعی (متناوب) و یا از طریق جویچه‌ها (فارو) انجام می‌شود، بطوریکه شرایط اشباع در خاک ایجاد نشده و تنها رطوبت کافی در اطراف ریشه گیاه و در حد ظرفیت زراعی فراهم شود. ارقام برنج هوازی علاوه بر قابلیت کشت در مناطقی با بارندگی کافی و بدون نیاز به آبیاری تکمیلی و همچنین در نواحی با شیب تند که امکان تسطیح و آبیاری به سهولت امکان پذیر نبوده و در عین حال دارای بارندگی کافی و ساختمان خاک با زه‌کشی مناسب باشد، در مناطقی که در معرض تنش خشکی و کم‌آبی در طی رشد و نمو گیاه بوده و امکان آبیاری به صورت غرقابی فراهم نباشد، بسیار مناسب است. این نوع از ارقام برنج جهت برقراری تناوب با سایر گیاهان زراعی و افزایش بهره‌وری از اراضی که شرایط برای کشت مستقیم و هوازی فراهم باشد، بدون اینکه زمین گل‌خراب و غرقاب گردد، امکان پذیر می‌باشد (Bouman, 2007).

راهکار توسعه کشت برنج هوازی

از میان فناوری‌های جدید معرفی شده جهت کاهش مصرف آب در تولید برنج، کشت ارقام برنج هوازی است که به ویژه در موارد زیر کاربرد دارد (Tuong and Bouman, 2003):

الف- در شرایطی که آب کافی در دوره رشد گیاه در دسترس نباشد،

ب- سطح آب زیر زمینی به دلیل برداشت زیاد آب افت کرده و هزینه پمپاژ آب و در نتیجه هزینه تولید بالا باشد،

ج- عملکرد محصول به دلیل کشت متوالی آبی کاهش یافته باشد،

عمیق تر خاک نفوذ می کند (Gowda *et al.*, 2011)، از این رو قابلیت جذب آب از عمق بیشتر خاک و در نتیجه تحمل بیشتر به خشکی را باعث می شود، ولی این ارقام در مقایسه با ارقام مرسوم غرقابی که به صورت نشایی کشت می شوند، عملکرد دانه پایینی (۱/۰ تا ۲/۵ تن در هکتار) دارند (Kato and Katsura, 2014). ارقام آپلند برای کاشت در زمین های شیب دار در معرض فرسایش، با زه کشی بالا (قابلیت نگهداری آب در خاک پایین) و فقیر از لحاظ ساختار فیزیکی و شیمیایی که منحصراً با آب باران (دیم) آبیاری می شوند مناسب بوده و در صورت استفاده از کود و آبیاری مناسب، دچار خوابیدگی (ورس) می شوند. در مقابل ارقام هوازی برای اراضی مناسب تر که سطح هموار داشته و اغلب قابلیت رساندن آب تا ظرفیت زراعی را از طریق باران یا آبیاری مصنوعی را دارا بوده و یا در اراضی شیب داری که بارندگی مداوم میزان رطوبت را در حد ظرفیت زراعی نگهداری می نماید، کشت می شوند. کود پذیری این ارقام بیشتر از ارقام آپلند و همانند ارقام غرقابی است (Govindarasu *et al.*, 2015).

برنج جایگاه ویژه ای در تامین غذای مردم چین داشته و شروع برنامه های توسعه برنج هوازی در آن کشور همانند گیاهان آپلند آبی مانند گندم و ذرت، از اوایل دهه ۱۹۸۰ مورد توجه قرار گرفت، ولی میزان مصرف آب در برنج (حدود ۲۰۰۰ لیتر برای تولید هر کیلوگرم برنج) خیلی بیشتر است. در پی اجرای این برنامه ها برنج هوازی رقم Han Dao اصلاح و معرفی شد (Wang *et al.*, 2002). به دنبال آن و از سال ۲۰۰۱ همکاری بین محققان موسسه بین المللی تحقیقات برنج، دانشگاه کشاورزی چین و موسسه تحقیقات برنج فیلیپین در جهت توسعه ارقام جدید و مدیریت های زراعی متناسب با آن آغاز شد. در هند نیز اولین بار مطالعه و تحقیق در باره توسعه ارقام هوازی برنج و استفاده از آنها در سال ۲۰۰۳ از سوی سازمان تحقیقات کشاورزی هند مورد توجه قرار گرفت

د- نیروی کار کافی و ارزان در زمان مناسب در دسترس نباشد،
ه- آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی به علت آبتوی نیتروژن و آفت کش ها افزایش یافته باشد،
و- تصعید گاز متان از شالیزار به جو افزایش یافته و میزان زیادی اکسید نیتروژن (نیترات) از مزرعه بداخل آب جاری و زیرزمینی وارد شده باشند. اثر تصعید گاز متان از اراضی غرقابی شالیزار بر گرم شدن جو زمین و تغییرات اقلیمی در کنفرانس ۲۰۱۵ پاریس مورد تاکید قرار گرفته و مقرر شد تا با توسعه کشاورزی اقلیم- هوشمند (Climate-smart agriculture) در کاهش گازهای گلخانه ای مهم از قبیل متان و اکسید نیتروژن، به جز دی اکسید کربن، توسط کشورهای مختلف اقدام شده و ۱۸۸ کشور از جمله ایران متعهد شدند تا از میزان گازهای گلخانه ای، از جمله متان، بین ۴ تا ۱۲ درصد بکاهند (McArthur, 2015). این موضوع با تغییر در شیوه کشت محصولات زراعی آبی از جمله برنج قابل حصول است.

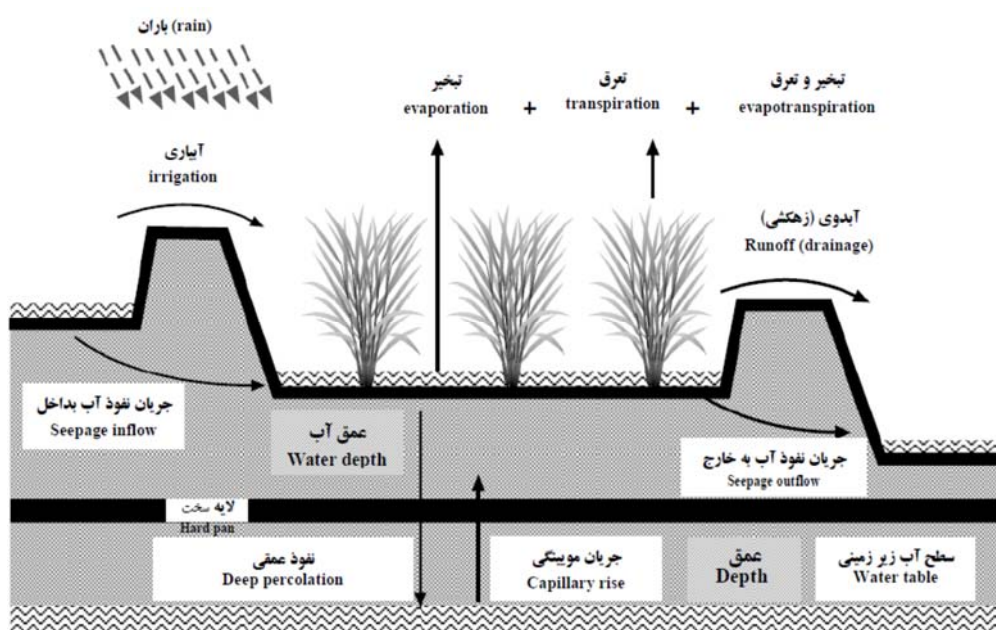
کاهش دسترسی به منابع آبی جهت کشت برنج باعث شد تا مطالعات گسترده ای روی توسعه ارقامی با کارآیی مصرف آب بالا به نام ارقام هوازی از طریق ترکیب ویژگی های مقاومت به خشکی ارقام آپلند با صفات عملکرد بالای ارقام مبتنی بر آبیاری، صورت گیرد (Belder *et al.*, 2005). این نام به این دلیل انتخاب شد که چنین ارقامی از برنج در هر نوع سطح خاک، هموار یا غیر هموار، و استفاده از مقدار محدودی از آب بدون اینکه خاک غرقاب و آب ارتفاعی از سطح خاک را بپوشاند، کشت می شوند (Predeepa, 2012). بطور کلی گیاه برنج به دارا بودن سیستم ریشه ای سطحی و قابلیت جذب آب در عمق کم خاک (تا ۶۰ سانتی متر) شناخته می شود (Fukai and Inthapan, 1988) و تا اندازه ای به تنش آب، به ویژه در مرحله زایشی، حساس می باشد. در شیوه کشت آپلند و کاشت مستقیم بذر، ریشه در مقایسه با کشت نشایی به قسمت های

روی امکان کشت ارقام برنج هوازی در شرایط بحران آب و خشکسالی از سال ۱۳۸۶ در مازندران آغاز شد و توسعه ارقام مناسب، مدیریت‌های زراعی و امکان انتقال صفات مطلوب این دسته از ژنوتیپ‌ها به ارقام برنج ایرانی که اغلب به تنش خشکی، به ویژه در مرحله زایشی حساس هستند، در برنامه‌های مطالعاتی قرار گرفته است (Moumeni, 2013). بر این اساس ژنوتیپ‌های برنج هوازی به‌عنوان ترکیبی از ویژگی‌های ارقام آپلند با قابلیت تحمل به تنش خشکی بالا و ریشه‌های قوی و ارقام مرسوم مبتنی بر کشت نشایی (غرقابی) با پتانسیل عملکرد بالا، ولی اغلب حساس به تنش خشکی و کم آبی، از تلاقی بین ارقام دو دسته یادشده اصلاح و معرفی شده‌اند. مشخصات تعدادی از ارقام برنج هوازی در جدول ۳ ارائه شده است.

بهره‌وری مصرف آب در شیوه کشت برنج هوازی

با توجه به چالش‌های مورد اشاره در دسترسی به منابع آبی برای تولید برنج و لزوم افزایش بهره‌وری آب در دسترس، با بررسی میزان آب مورد نیاز و همچنین میزان بهره‌وری آن می‌توان در انتخاب راهکار مناسب

(Templeton and Bayot, 2011). پس از آن تحقیق و استفاده از برنج هوازی در کشورهای برزیل، استرالیا، ایالات متحده آمریکا، جنوب شرقی آسیا و آفریقا به طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (Humphreys *et al.*, 2005). در ژاپن نیز سابقه تحقیق روی برنج‌های هوازی نسبتاً طولانی است (Nemoto *et al.*, 1993)، به طوری که از سال ۱۹۲۹ فعالیت‌های اصلاحی جهت تولید ارقام برنج مناسب برای کشت در شرایط آپلند و آبیاری بارانی شروع شد و در اولین گام یک رقم به نام Yumeno-Hatamochi با تحمل به خشکی، کیفیت دانه مطلوب و پتانسیل تولید ۶ تا ۷ تن معرفی شد. هم‌اکنون ارقام مختلف برنج هوازی از جمله رقم Takanari با پتانسیل تولید حدود ۱۱ تن در هکتار نیز در ژاپن کشت می‌شوند (Kato and Katsura, 2014). در مناطق معتدله نظیر ایالات متحده آمریکا نیز کشت برنج به صورت هوازی از سال‌های دهه ۱۹۸۰ میلادی آغاز و میزان کاهش مصرف آب آن بین ۲۰ تا ۵۰ درصد گزارش شده است (Rajakumar *et al.*, 2009). در ایران نیز مطالعات اولیه



شکل ۱- اجزای تعادل آب در یک مزرعه شالیزاری

Fig. 1. Components of the water balance of a rice field (Bouman, 2001)

جدول ۳- حداکثر میزان عملکرد دانه ثبت شده ارقام برنج هوازی (بیش از ۸ تن در هکتار) در دنیا

Table 3. High yield records of aerobic rice cultivars (greater than 8 ton.ha⁻¹) in the world

ارقام برنج Rice cultivars	کشور Country	ایالت / استان State/province	سال Year	آب مصرفی Water supply (mm)	عملکرد دانه Grain yield (ton.ha ⁻¹)	روش آبیاری Irrigation method	نوع خاک Soil type
Takanari	Japan	Osaka	2007	911	11.4	Sprinkler بارانی	Clay loam رسی لومی
Takanari	Japan	Osaka	2008	1313	11.3	Sprinkler بارانی	Clay loam رسی لومی
Takanari	Japan	Tokyo	2008	1301	10.6	Sprinkler بارانی	Clay loam رسی لومی
RT CLXL729	USA	Missouri	2009	750	10.3	Center pivot بارانی	لومی سیلت و لومی شنی Silty loam and sandy loam
Takanari	Japan	Osaka	2009	707	9.9	Sprinkler بارانی	Clay loam رسی لومی
Takanari	Japan	Tokyo	2009	867	9.6	Sprinkler بارانی	Clay loam رسی لومی
Takanari	Japan	Osaka	2010	802	9.2	Sprinkler بارانی	Clay loam رسی لومی
Suweon920	Japan	Tochigi	1994	822	8.8	Rainfed دیم	Clay loam رسی لومی
Lemont	Australia	Queensland	1989	945	8.6	Sprinkler بارانی	Heavy clay رسی سنگین
9516	China	Jiangsu	1999	1414	8.4	Flush irrig. سیفونی	Sandy loam لومی شنی

نقل از: (Kato and Katsura, 2014)

متان با حفظ یا افزایش عملکرد می‌شود. گزارش شده است که در مناطق حاره‌ای با استفاده از این روش تا ۳۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شده و عملکرد دانه تا ۱۰ درصد افزایش یافت (Price et al., 2013). از این‌رو و با توجه تصمیمات اتخاذ شده در کنفرانس ۲۰۱۵ پاریس پیرامون اثرات زیان‌بار گازهای گلخانه‌ای در تغییرات اقلیم و الزام کشورهای مختلف از جمله ایران در کاهش گازهای گلخانه‌ای مهم از قبیل متان و اکسید نیتروژن که متعهد شده است تا از میزان گازهای گلخانه‌ای، از جمله متان، بین ۴ تا ۱۲ درصد بکاهد (Anonymous, 2016)، توسعه شیوه کشت برنج هوازی در بستر خشک و غیرغرقاب در نواحی مستعد می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی در میزان مصرف آب، به کاهش گازهای گلخانه‌ای نیز کمک کند.

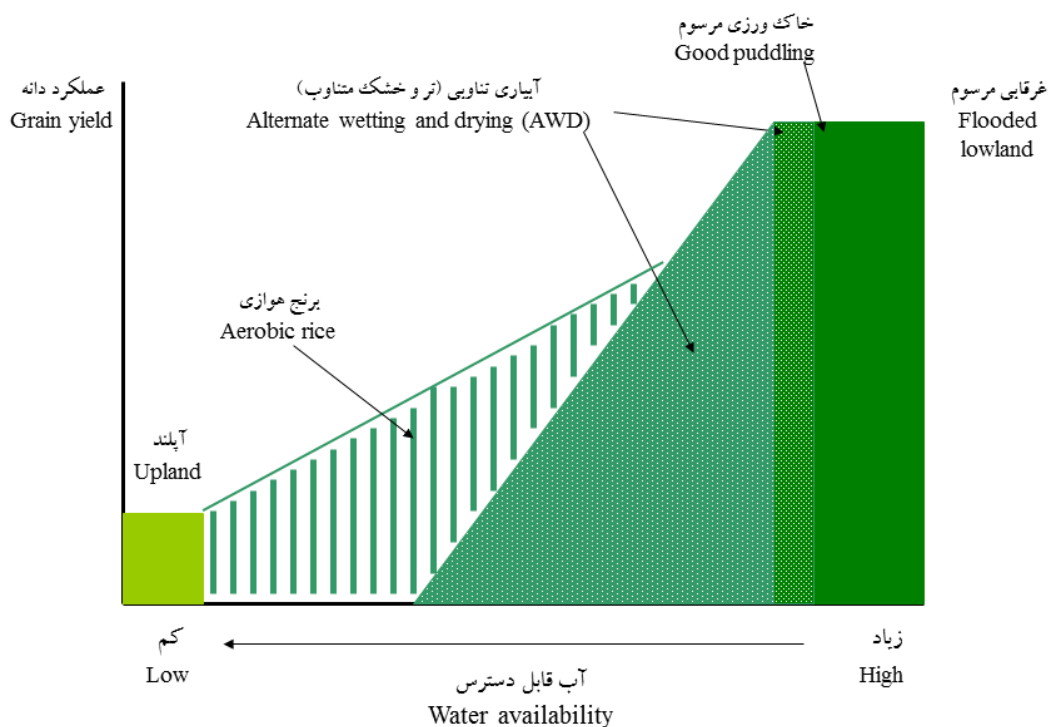
روش‌هایی که به طور عمده برای کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب برای ارقام برنج مبتنی بر آبیاری غرقابی مورد استفاده قرار می‌گیرند، برای شرایطی که تنش خشکی و کم‌آبی وجود داشته و دسترسی به منابع آبی کافی جهت اعمال مدیریت‌های مورد اشاره وجود نداشته باشد، کارایی لازم را نخواهند داشت. بنابراین توسعه کشت ارقام برنج هوازی یک روش جایگزین و کارآمد در تولید محصول برنج خواهد بود. آزمایش‌های متعددی جهت برآورد کارایی مصرف آب و عملکرد ارقام برنج هوازی در کشورهای مختلف و در مناطق مواجه با کم‌آبی و خشکسالی انجام شده است. نتایج یک آزمایش نشان داد که مقدار آب آبیاری (به روش بارانی) به اضافه مقدار بارش مستقیم برای تولید ارقام برنج هوازی معادل ۸۰۰ تا ۱۳۰۰ میلی‌متر بارندگی بود که بین ۲۱ تا ۷۴ درصد کمتر از آب مصرفی در شیوه نشاکاری در شرایط مشابه بود و در عین حال پتانسیل تولید محصول تفاوتی نداشت (Kato et al., 2009). در آزمایش‌های دیگری در چین، ایالات متحده آمریکا، فیلیپین و ژاپن

کشت برنج، با بینش بهتری اقدام نمود. در روش مرسوم کشت و کار برنج غرقابی که به صورت نشایی و یا کاشت در بستر مرطوب و گلخراب انجام می‌گیرد، مقدار زیادی آب جهت آماده‌سازی و گلخراب نمودن زمین مصرف می‌شود تا زمین کاملاً تسطیح، علف‌های هرز کنترل و نفوذ پذیری خاک کاهش یافته و عملیات نشاکاری و یا بذری پاشی در بستر مرطوب به سهولت انجام شود. بعد از آماده‌سازی زمین تا زمان نشاءکاری نیز که دوره سکون (Idle period) نامیده می‌شود، لازم است زمین در حالت غرقاب نگهداری شود (Bouman, 2001). در دوره سکون ارتفاع آب در سطح مزرعه به حدود ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد. مجموعه این شرایط باعث نفوذ آب به اعماق خاک (خارج از منطقه نفوذ ریشه)، خروج به صورت زه‌آب، تبخیر از سطح آب و خاک و تعرق از سطح گیاه می‌شود (شکل ۱). از این‌رو حجم زیادی از آب به طرق مختلف از دسترس گیاه خارج و تلف می‌شود. بر این اساس و با توجه به نوع خاک، دوره رشد گیاه و ویژگی‌های اقلیمی، میزان تلفات آب حدود ۲۰۰۰ - ۱۵۰۰ میلی‌متر خواهد بود (Bouman, 2001).

در شیوه کشت در خاک اشباع، عملیات خاک‌ورزی همانند روش مرسوم است، ولی آب در خاک همیشه در حد اشباع و یا نزدیک اشباع نگهداری می‌شود و آبیاری به ارتفاع ۲-۱ سانتی‌متر به صورت روزانه و یا زمانی که آب از سطح خاک ناپدید شود، انجام می‌گیرد (Tabbal et al., 2002). میزان کاهش مصرف آب در این حالت به حدود ۲۸-۱۶ درصد (میانگین ۲۳ درصد) و کارایی مصرف آب نیز تا ۲۰ درصد برآورد شد (Kima et al., 2015). عملکرد در این حالت به طور متوسط ۶ درصد کاهش نشان داد (Bouman and Tuong, 2001). در روش تر و خشک متناوب (AWD) که به آبیاری بینابینی یا آبیاری کنترل شده نیز معروف است، از جمله روش‌هایی است که باعث صرفه‌جویی در مصرف آب، کاهش تصاعد گاز

زمین و کاشت و داشت نیز به مقدار زیادی کاهش داشت (Bouman *et al.*, 2005). البته میزان بهره‌وری آب در نوع دیگری از شیوه کشت هوازی که با پوشش زمین با کاه و کلش و یا پلاستیک همراه است، بیشتر از روش مرسوم گزارش شد (He *et al.*, 2013). با وجود آزمایش‌های انجام گرفته هنوز همه ابعاد این فناوری بخوبی شناخته نشده و لازم است تا آزمایش‌های دقیقی در زمینه مدیریت مصرف آب، توسعه و بهبود مدیریت‌های زراعی، اصلاح ارقام جدید برنج هوازی با خصوصیات متناسب برای هر منطقه اجرا شود. در شکل ۲ یک الگوی ساده برای تصمیم‌گیری در استفاده از شیوه‌های مختلف کاشت برنج، بر اساس میزان دسترسی به آب، نشان داده شده است که می‌تواند راهنمای مناسبی برای اتخاذ شیوه مناسب کشت برای تولید کنندگان برنج باشد.

مشخص شد که فاصله عملکرد ژنوتیپ‌های هوازی و غیرهوازی برنج در مناطق معتدله از مناطق حاره‌ای کمتر می‌باشد (Kato *et al.*, 2006)، در عین حال بهره‌وری آب در شرایط هوازی ۳۲ تا ۸۸ درصد بالاتر از شیوه غرقابی بوده و میزان کاهش مصرف آب برای آماده سازی زمین ۱۹۰ میلی‌متر، نفوذ عرضی و عمقی ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر، تبخیر از سطح خاک ۸۰ میلی‌متر و تعرق ۲۵ میلی‌متر بودند (Bouman *et al.*, 2005). در آزمایش دیگری میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شیوه هوازی بیش از ۴۰ درصد گزارش شد، ضمن آنکه عملکرد دانه در مقایسه با شیوه مرسوم غرقابی تا ۲۵ درصد کاهش داشت (Belder *et al.*, 2005). نتایج یک آزمایش نشان داد که میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در شیوه هوازی در مقایسه با روش غرقابی بیش از ۵۰ درصد بوده است، ضمن آنکه هزینه‌های تهیه خزانه،



شکل ۲- مدیریت مناسب‌ترین شیوه کشت برنج بر اساس میزان دسترسی به آب

Fig. 2. Management strategies for suitable rice cultivation system according to water availability

(Lampayan and Bouman, 2005)

مدیریت‌های زراعی در کشت برنج هوازی

در شیوه کشت برنج هوازی علاوه بر تغییر (کاهش) در میزان آب مصرفی که بدلیل وجود شرایط غیرعرقاب، خاک غیرگلخراب و غیراشباع می‌باشد، کاشت مستقیم بذر در بستر خشک انجام می‌شود و جهت حصول پتانسیل تولید مطلوب، لازم است که مدیریت‌های مناسب زراعی در زمینه‌های تغذیه گیاه، کنترل علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها اعمال شود (Rajakumar *et al.*, 2009). بطور کلی یکی از فواید عمده عرقاب نگهداشتن اراضی شالیزاری کنترل رشد علف‌های هرز است، در حالی که رشد فراوان علف‌های هرز از مشکلات عمده در کشت برنج هوازی محسوب می‌شود (Rao *et al.*, 2007). فشار علف‌های هرز در شیوه کشت هوازی با کاشت مستقیم بذر در بستر خشک، بطور چشمگیری بالاتر از شرایط عرقابی است (Singh *et al.*, 2008). بدین جهت اعمال مدیریت‌های مختلف از جمله تراکم بالاتر بذر می‌تواند در رقابت با علف‌های هرز به طور چشمگیری موثر واقع شود (Mahajan *et al.*, 2010). بعلاوه در اصلاح ارقام هوازی، به قابلیت ژنوتیپ‌های اصلاحی از جهت رقابت با علف‌های هرز توجه ویژه‌ای می‌شود، معهداً استفاده از علف‌کش‌های پیش و پس رویشی همراه با روش‌های وجین دستی و مکانیکی در کنترل علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Templeton and Bayot, 2011). گزارش شده است که با مدیریت مناسب علف‌های هرز با روش‌های مختلف از جمله آفتاب‌دهی خاک (Solarization)، کشت ارقام با قدرت رقابت بالا، استفاده از پوشش مالچ، مصرف مقدار مناسب کود همراه با وجین دستی و مکانیکی، میزان محصول در شیوه کشت هوازی ۱۷ تا ۳۰۷ درصد افزایش یافت. در این شیوه استفاده از انواع علف‌کش‌ها جهت کنترل علف‌های هرز از جمله پندیمتالین (Pendimethalin)، تو فور دی (2,4-D)، پنوکسولام (Penoxsulam)، اتوکسی سولفورون (Ethoxysulfuron)، پرتیلاکسر

(Pretilachlor)، بن سولفورون (Bensulfuron)، بیس پیریباک-سدیم (Bispyribac-sodium)، ایمازوسولفورون (Imazosulfuron) و متاسولفورون (Metsulfuron) دارای اثربخشی مطلوبی بودند. در مقایسه‌ای بین مزرعه عاری از علف هرز و مزرعه شاهد با علف هرز، مقدار کاهش محصول تا ۱۰۰ درصد نیز مشاهده شد (Jabran and Chauhan, 2015). البته با توجه به شدت و تراکم علف‌های هرز و ظهور مقاومت به علف‌کش و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی علف‌کش‌ها، بکارگیری منحصراً یکی از روش‌های کنترل جای بحث و تردید خواهد داشت، بنابراین استفاده از مدیریت تلفیقی علف‌های هرز می‌تواند بسیار اثربخش باشد. مدیریت تغذیه، به ویژه نقش کودهای شیمیایی در تولید محصول به حدود ۵۰ درصد می‌رسد. از آنجا که با افزودن کود به خاک جذب آنها هم بوسیله گیاه زراعی و هم علف‌های هرز صورت می‌گیرد، بنابراین زمان میزان مناسب کوددهی در افزایش قدرت رقابت برنج نسبت به علف‌های هرز بسیار مهم است. البته برای بسیاری از کشاورزان که به کشت برنج هوازی اقدام کردند، زمان مناسبی برای کوددهی به آنها توصیه نشد (Weerakoon *et al.*, 2011)، بدین جهت استفاده از کودهای زیستی به عنوان روش تغذیه مکمل کم هزینه در کشت هوازی برنج و همچنین مدیریت تغذیه مبتنی بر خصوصیات مکان (Site specific nutrient management, SSNM) اهمیت فراوانی پیدا خواهند نمود (Sunil and Shankaralingappa, 2014). بنابراین در کشت برنج هوازی علاوه بر مدیریت و نحوه مصرف آب، مدیریت تغذیه و کنترل علف‌های هرز، لازم است نحوه آماده سازی زمین و بستر کشت، میزان بذر مورد نیاز و روش کاشت آن نیز مورد توجه قرار گیرد، زیرا این مدیریت‌ها متناسب با شرایط خاک و اقلیم مناطق مختلف، متفاوت خواهند بود.

نگاهی بر امکان کشت برنج هوازی در ایران

از آنجا که سیستم کشت و کار برنج در ایران مبتنی بر آبیاری غرقابی است و روش کشت اغلب به صورت نشایی و آبیاری به صورت کرت به کرت انجام می‌شود، بدین جهت همواره نیاز به حجم زیادی آب در سرتاسر دوره رشد گیاه، از آماده‌سازی شالیزار و تهیه خزانه تا چند روز قبل از رسیدگی کامل و برداشت محصول، می‌باشد. این ارقام تنها تا حدی قادر به تحمل کم آبی هستند و وقوع تنش خشکی، به ویژه در مرحله زایشی و گلدهی، باعث بروز خسارت شدید و حتی از بین رفتن کامل محصول خواهد شد. وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی و کم‌آبی و رقابت برای مصرف آب در بخش‌های دیگر، از جمله مشکلات جدی در تولید برنج و پایداری آن در کشور محسوب می‌شوند، به همین دلیل ضرورت اجتناب ناپذیری برای توسعه شیوه مناسبی از کشت برنج که نیاز به حجم آب کمتری در مقایسه با روش مرسوم تولید برنج داشته و دارای راندمان مصرف آب بالاتری بوده و در ضمن عملکرد دانه مناسب و اقتصادی داشته باشد، وجود دارد. بر این اساس برای اولین بار در کشور در یک آزمایش ژنوتیپ‌های برنج هوازی همراه با ارقام محلی جهت بررسی امکان تغییر شیوه کشت از غرقابی به هوازی در استان مازندران مورد مقایسه قرار گرفتند. در این آزمایش بذر ژنوتیپ‌های برنج هوازی به صورت خشک و در بستر خشک که با شخم و دیسک آماده شده بود، کشت شد. آبیاری بعد از بذر پاشی به صورت بارانی انجام شد تا رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی برسد. آبیاری با فواصل یک هفته تا ۱۰ روز انجام شد.

و جین علف‌های هرز به صورت دستی و همچنین با استفاده از علف‌کش‌های مناسب انجام شد. کوددهی نیز بر اساس دستورالعمل ارسالی همراه بذرها انجام شد. نتایج نشان داد که تعدادی از ژنوتیپ‌های برنج هوازی از لحاظ عملکرد دانه و اجزای عملکرد و سایر خصوصیات زراعی برتر از ارقام محلی در شرایط هوازی بودند. این ارقام عمدتاً زودرس‌تر بوده و دارای طول و عرض دانه مناسب و وزن دانه بالاتری بودند (Moumeni, 2013). این نتایج و تحقیقات در دست اجرا می‌تواند اطلاعات مفیدی را در باره امکان تغییر شیوه کشت برنج از غرقابی به هوازی در مناطق مختلف برنج‌خیز کشور و یا توسعه کشت برنج در مناطق مستعد که کمبود آب چالش اساسی در تولید این محصول بوده و یا قرار دادن برنج در تناوب با محصولات زمستانه بدون نیاز به عملیات تهیه زمین و تسطیح و غرقاب‌سازی، فراهم آورند. با توجه به این که برای کشت ژنوتیپ‌های برنج هوازی نیاز به غرقاب نمودن زمین و گل‌خراب کردن آن نمی‌باشد و بذر برنج به صورت خشک و بطور مستقیم در زمین شخم و دیسک خورده کاشته می‌شود، مقادیر زیادی از آب که جهت آماده‌سازی زمین، تهیه خزانه و همچنین نگهداری آب در سطح شالیزار مصرف می‌شود، صرفه‌جویی شده و هزینه تولید و نیروی کار مورد نیاز نیز به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. بعلاوه با توسعه کشت ارقام برنج هوازی، امکان استفاده از ویژگی‌های مناسب آنها در اصلاح ارقام ایرانی برای شرایط کم‌آبی و تنش خشکی و سایر ویژگی‌های مطلوب و اصلاح متقابل ارقام هوازی فراهم خواهد شد.

References

- Amudha, K., K. Thiyagarajan and N. Sakthivel. 2009. Aerobic rice: a review. *Agric. Rev.* 30(2): 145-149.
- Annonymous. 2014. Situation of drought and water-shortage in long-term period in Iran. National Drought Warning and Monitoring Centre (NDWMC). <http://ndwmc.irimo.ir/far/index.php>.
- Annonymous. 2016. Paris tracker: Who pledged what for 2015 UN climate pact?

منابع مورد استفاده

- <http://www.climatechangenews.com/2015/03/10/paris-tracker-who-has-pledged-what-for-2015-un-climate-pact>
- Bayot, R. and D. Templeton. 2009.** Aerobic Rice: Benefits without going to the Gym? Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES), 53rd Annual Conference, 10-13 February 2009. Cairns, Northern Queensland, Australia. pp 44.
- Belder, P., B. A. M. Bouman, J. H. J. Spiertz, S. Peng, A. R. Castaneda and R. M. Visperas. 2005.** Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice. *Plant and Soil*. 273: 167–182.
- Borell, A., A. Garside and F. K. Shu. 1997.** Improving efficiency of water for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Res.* 52: 231–248.
- Bouman, B. A. M. 2001.** Water-efficient management strategies in rice production. *Int. Rice Res. Notes*. 26(2): 17–22.
- Bouman, B. A. M. 2007.** The aerobic rice reality. *Rice Today*. p38.
- Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001.** Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manage.* 49: 11–30.
- Bouman, B. A. M., S. Peng, A. R. Castaneda and R. M. Visperas. 2005.** Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agric. Water Manage.* 74: 87–105.
- Bouman, B. A. M., W. H. Qi, Y. X. Guang, Z. J. Fang and W. C. Gui. 2002.** Aerobic rice (Han Dao): a new way of growing rice in water-short areas. In: *Proceedings of the 12th International Soil Conservation Organization Conference*, 26–31 May 2002, Beijing, China. Tsinghua University Press, p. 175–181.
- Fischer, K. S., R. Lafitte, S. Fukai, G. Atlin and B. Hardy. 2003.** Breeding Rice for Drought-prone Environments. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute. 98 p.
- Fukai, S. and P. Inthapan. 1988.** Growth and yield of rice cultivars under sprinkler irrigation in south-eastern Queensland. *Aust. J. Exp. Agric.* 28:249–252.
- Furuya, J. and O. Koyama. 2005.** Impacts of climatic change on world agricultural product markets: Estimation of macro yield functions. *JARQ*. 39: 121–134.
- Govindarasu, R., K. Paramasivam, S. Nadaradjan, N. Shashidhara and M. Vengatesh. 2015.** Aerobic rice: A production system for water scarceness. *AE Int. J. Sci. Technol.* 3(6): 2348–6732.
- Gowda, V. R. P., A. Henry, A. Yamauchi, H.E. Shashidhar and R. Serraj. 2011.** Root biology and genetic improvement for drought avoidance in rice. *Field Crop Res.* 122:1–13.
- He, H., F. Ma, R. Yang, L. Chen, B. Jia, J. Cui, H. Fan, X. Wang and L. Li. 2013.** Rice performance and water use efficiency under plastic mulching with drip irrigation. *PLoS ONE* 8(12): e83103. doi:10.1371/journal.pone.0083103.
- Humphreys, E., C. Meisner, R. Gupta, J. Timsina, H. G. Beecher, T. Y. Lu, Y. Singh, M. A. Gill, I. Masih, Z. J. Guo and J. A. Thompson. 2005.** Water saving in rice– wheat systems. *Plant Prod. Sci.* 8: 242–258.
- Jabran, K. and B. S. Chauhan. 2015.** Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protec.* 78: 151–163.
- Kato, Y. and K. Katsura. 2014.** Rice adaptation to aerobic soils: Physiological considerations and implications

- for agronomy. *Plant Prod. Sci.* 17(1): 1–12.
- Kato, Y., A. Kamoshita and J. Yamagishi. 2006.** Growth of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply. 2. Grain yield. *Plant Prod. Sci.* 9: 435–445.
- Kato, Y., M. Okami and K. Katsura. 2009.** Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Res.* 113: 328–334.
- Kima, A. S., W. G. Chung and Y. M. Wang. 2014.** Improving irrigated lowland rice water use efficiency under saturated soil culture for adoption in tropical climate conditions. *Water.* 6: 2830–2846.
- Lampayan, R. M. and B. A. M. Bouman. 2005.** Management strategies for saving water and increase its productivity in lowland rice-based ecosystems. In: proceedings of the First Asia-Europe Workshop on Sustainable Resource Management and Policy Options for Rice Ecosystems (SUMAPOL), 11–14 May 2005, Hangzhou, Zhejiang Province, P.R. China. On CDROM, Altera, Wageningen, Netherlands.
- Mahajan, G., M. S. Gill and K. Singh. 2010.** Optimizing seed rate to suppress weeds and to increase yield in aerobic direct-seeded rice in northwestern Indo-Gangetic plains. *J. New Seeds.* 11:225–238.
- McArthur J. W. 2015.** Agriculture in the COP21 agenda. UN Climate Change Conference COP21. Paris, France. 30 Nov. - 11 Dec. 37-41.
- Moumeni, A. 2013.** Study on possibility of changing rice cultivation system from irrigation to aerobic condition in Mazandaran province. *J. Crop Prod. (Electronic).* 6(4): 215–228. (In Persian with English abstract).
- Moumeni, A., K. Satoh, R. Venuprasad, R. Serraj, A. Kumar, H. Leung and S. Kikuchi. 2015.** Transcriptional profiling of the leaves of near-isogenic rice lines with contrasting drought tolerance at the reproductive stage in response to water deficit. *BMC Genomics.* 16: 1110. DOI 10.1186/s12864-015-2335-1.
- Nemoto, H., M. Hirayama, K. Okamoto and M. Miyamoto. 1993.** Elite upland rice lines in Japan. *Int. Rice Res. Notes.* 18: 21.
- Nie, L., S. Peng, M. Chen, F. Shah, J. Huang, K. Cui and J. Xiang. 2012.** Aerobic rice for water-saving agriculture, A review. *Agrono. Sustain. Dev.* 32 (2): 411–418.
- Peng, S., B. A. M. Bouman, R. M. Visperas, A. Castaneda, L. Nie and H. K. Park. 2006.** Comparison between aerobic and flooded rice in the tropics: agronomic performance in an eight-season experiment. *Field Crops Res.* 96: 252–259.
- Predeepa, J. 2012.** Aerobic rice- the next generation innovation in rice cultivation technology. *Int. J. Farm Sci.* 2(2): 54–58.
- Price, A. H., G. J. Norton, D. E. Salt, O. Ebenhoeh, A. A. Meharg, C. Meharg, M. Rafiqul-Islam, R. N. Sarma, T. Dasgupta, A. M. Ismail, K. L. McNally, H. Zhang, I. C. Dodd and W. J. Davies. 2013.** Alternate wetting and drying irrigation for rice in Bangladesh: Is it sustainable and has plant breeding something to offer? *Food and Energy Security.* 2(2): 120–129.
- Rajakumar, D., E. Subramanian, T. Ramesh, N. Maragatham, G. J. Martin and G. Thiyagarajan. 2009.**

- Striding towards aerobic rice cultivation- A review. *Agric. Rev.* 30(3): 213-218.
- Rao, A. N., D. E. Johnson, B. Sivaprasad, J. K. Ladha and A. M. Mortimer. 2007.** Weed management in direct-seeded rice. *Adv. Agron.* 93: 153–255.
- Rosegrant, M. W., X. Cai and S. A. Cline. 2002.** Global water outlook to 2025: Averting an impending crisis. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.
- Sandhu, N., S. Jain, K. R. Battan and R. K. Jain. 2012.** Aerobic rice genotypes displayed greater adaptation to water-limited cultivation and tolerance to polyethyleneglycol-6000 induced stress. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 18(1): 33–43.
- Schmidhuber, J. and F. N. Tubiello. 2007.** Global food security under climate change. *PNAS* 104(50): 19703–19708.
- Shashidhar, H. E. 2007.** Aerobic rice –An efficient water management strategy for rice production. P 131–139. In: U. Aswathanarayana (Ed.) *Food and Water Security in Developing Countries.* CRC Press, Aban 22, 1386 AP - Social Science.
- Singh, A. K., B. U. Choudury and B. A. M. Bouman. 2002.** The effect of rice establishment techniques and water management on crop-water relations. In: *Water-Wise Rice Production* (Eds. Bouman, Hengsdijk, Hardy, Bindraban, Tuong, Lafitte and Ladha), Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 356 p.
- Singh, S., J. K. Ladha, R. K. Gupta, L. Bhushan and A. N. Rao. 2008.** Weed management in aerobic rice systems under varying establishment methods. *Crop Prot.* 27: 660–671.
- Stoop, W., N. Uphoff and A. Kassam. 2002.** A review of agricultural research issues raised by the system of rice intensification (SRI) from Madagascar: opportunities for improving farming systems for resource-poor farmers. *Agric. Sys.* 71: 249–274.
- Sunil, C. M. and B. C. Shankaralingappa. 2014.** Impact of integrated package of agrotechniques on growth and yield of aerobic rice. *Agric. Sci.* 5(1): 60-65.
- Tabbal, D. F., B. A. M. Bouman, S. I. Bhuiyan, E. B. Sibayan and M. A. Sattar. 2002.** On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agric. Water Manage.* 56(2): 93–112.
- Tao, F., Y. Hayashi, Z. Zhang, T. Sakamoto and M. Yokozawa. 2008.** Global warming, rice production, and water use in China: Developing a probabilistic assessment. *Agric. For. Meteorol.* 148: 94–110.
- Templeton, D. and R. Bayot. 2011.** Aerobic rice - responding to water scarcity: An impact assessment of the ‘developing a system of temperate and tropical aerobic rice (STAR) in Asia’ project. CGIAR Challenge Program on Water and Food. www.waterandfood.org. 127 Sunil Mawatha, Pelawatta, Battaramulla, Sri Lanka. 76 p.
- Tuong, T. P. and B. A. M. Bouman. 2003.** Rice production in water-scarce environments. In *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement* (Eds. Kijne J.W., R. Barker, D. Molden), p. 53–67. CABI Publishing, UK.
- Wang, H., B. A. M. Bouman, Z. Dule, C. Wang and P. F. Moya. 2002.** Aerobic rice in northern China:

Opportunities and challenges. In: *Water-wise rice production*. Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production, Bouman B. A. M., H. Hengsdijk, B. Hardy, P. S. Bindraban, T. P. Tuong and J. K. Ladha. (Eds.) IRRI, Los Baños, Philippines.

Weerakoon, W., M. Mutunayake, C. Bandara, A. Rao, D. Bhandari and J. Ladha. 2011. Direct-seeded rice culture in Sri Lanka: lessons from farmers. *Field Crops Res.* 121: 53–63.

An overview on potential of aerobic rice production in water crisis conditions in Iran

A. Moumeni¹

ABSTRACT

A. Moumeni. 2017. An overview on potential of aerobic rice production in water crisis conditions in Iran. **Iranian Journal of Crop Sciences**. 18(3): 179-195. (In Persian).

Global warming and climate change have created a serious changes in different regions all over the world including Iran. It has intensified drought stress and water shortage that negatively affect growth and development of crop plants including rice, and threats sustainable crop production and food security. As rice-based cropping systems mostly relied on growing irrigated-lowland rice in most of rice growing countries as well as Iran, which use large amounts of fresh water, therefore, there is a need to change the rice-based cropping systems as to use less water while mainting high productivity. Therefore, possibility for changing rice-based cropping systems from continuous irrigated system to aerobic, using aerobic rice genotypes, which have been developed for water-shortage conditions could be considered in Iran. Today, a improved aerobic rice genotypes have been developed with highergrain yield about 11 t.ha⁻¹ and less than 50% water use as compared to the irrigated lowland cultivars. Research on development and growing of aerobic rice in Iran has showed that there is potential for growing such rice genotypes in water-shortage periods as well as in rotation with other winter crops in different areas that rice can be grown but water availability is limited. Therefore, in this review, we discuss the advantages of aerobic rice development and production in different countries including Iran.

Key words: Aerobic rice, Climate change, Cropping system, Global warming and Water shortage.

Received: March 2016

Accepted: December 2017

1- Associate Prof., Faculty member, Rice Research Institute of Iran, Mazandaran Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran. (Corresponding author)(Email: amoumeni@areeo.ac.ir)