راهکارهای افزایش عملکرد برنج در قالب سیستم مدیریت فشرده کشت (SRI)

بهمن امیری لاریجانی
محقق مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز
Amiri_931@yahoo.com

چکیده

اکثر تلاشهای انجام شده برای بهبود کشاورزی در دهه های اخیر، بر پایه دستورزی های پتانسیل ژنتیکی گیاهان زراعی استوار بوده و به بهبود عملیات زراعی و سیستم های تولید، توجه کمتری شده است. در واقع، عملکرد از طریق اصلاح ارقام و افزایش مصرف انرژی و نهاده ها شامل کودها و سموم شیمیایی و مصرف بیشتر آب افزایش یافته است. هر چند در دو دهه گذشته، به دلیل افزایش هزینه های اقتصادی و زیست محیطی، روند استفاده از این استراتژی که بیش از حد به نهاده های ورودی وابسته است، رو به کاهش است. سیستم مدیریت فشرده کشت برنج[1] (SRI) که در حدود ۳۰ سال قبل در ماداگاسکار توسعه یافته است، یک روش شناسی اگرواکولوژیک برای افزایش بهره وری در اکوسیستم های فاریاب برنج، از طریق بهبود مدیریت گیاه، خاک، آب و عناصر غذایی با هدف افزایش بهره وری زمین، نیروی انسانی و سرمایه در تولید برنج می باشد. در این روش نهاده های تولید از جمله بذر، کودهای شیمیایی، آب و سوخت مورد نیاز برای پمپاژ آب کاهش می یابند در حالی که عملکرد افزایش می یابد. افزایش عملکرد محصول برنج تحت سیستم مدیریت فشرده کشت، حاصل بهبود تعداد زیادی از خصوصیات و فاکتورهای مرتبط با افزایش عملکرد و کیفیت محصول است که بطور خلاصه در قالب یافته های زراعی، فیزیولوژیکی، بیولوژیکی و اقتصادی-زیست محیطی مطرح می گردد. برای توسعه و بومی سازی نتایج تحقیقات دانشمندان و فعالیت کشاورزان در اجرای روش SRI، توجه به مشارکت جمعی و تبادل اطلاعات بر فعالیتهای خاص و فردی ارجحیت دارد. این مقاله مروری است بر تحقیقات علمی انجام شده در مورد نتایج استفاده از متدولوژی SRI در سراسر جهان، از آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین.

کلمات کلیدی: افزایش عملکرد برنج، سیستم مدیریت فشرده کشت (SRI)، بهره وری مصرف نهاده ها

مقدمه

به منظور افزایش عملکرد گیاهان زراعی در واحد سطح، الگوهای متفاوتی اجرا گردید بطوری که اکثر تلاشهای انجام شده برای بهبود کشاورزی در دهه های اخیر، بر پایه دستورزی های پتانسیل ژنتیکی گیاهان زراعی استوار بوده و به بهبود عملیات زراعی و سیستم های تولید، توجه کمتری شده است. البته رهیافت اصلاح ژنتیکی گیاهان نقش قابل توجهی در تولید غذا و رفع گرسنگی در سراسر جهان داشته و به انقلاب سبز شهرت یافت. در دهه ۱۹۶۰ الگوی "انقلاب سبز" موج نوینی در عرصه تولید محصولات زراعی ایجاد نمود که اساس آنرا اصلاح و معرفی ارقام پرمحصول از طریق تکنیک های دورگ گیری و استفاده بیشتر از کودها و سموم شیمیائی تشکیل می‌داد (uphoff, 2006). در واقع، عملکرد از طریق اصلاح ارقام و افزایش مصرف انرژی و نهاده ها شامل کودها و سموم شیمیایی و مصرف بیشتر آب افزایش یافته است. هر چند در دو دهه گذشته، به دلیل افزایش هزینه های اقتصادی و زیست محیطی، روند

1- System of Rice Intensification (SRI)

استفاده از این استراتژی که بیش از حد به نهاده های ورودی وابسته است، رو به کاهش است. بر این اساس، سوالی که در اینجا قابل طرح می باشد این است که برای بهینه سازی محیط رشد گیاهان زراعی و اعمال تغییرات چه کاری می توان انجام داد.

گیاه برنج به عنوان یکی از غلات مهم و منابع اصلی غذا در بسیاری از کشورهای دنیا خصوصا قاره پهناور آسیا، سالهای متمادی است که دستخوش تغییرات ژنتیکی و به نژادی جهت افزایش عملکرد، کیفیت و مقاومت شده است. بطوری که تولید بذور اصلاح شده پرمحصول با ریخته ارثی جدید همواره مد نظر بوده و متاسفانه دیدگاههای مدیریت مزرعه بر پایه دانش اکوفیزیولوژی گیاه برنج به دست فراموشی سپرده شده است. با وجود در اختیار داشتن بذور پرمحصول برنج، کشت و کار گیاه برنج و تولید این محصول با هدف افزایش عملکرد در اکثر مناطق شالیزاری کشور ما ایران از مشکلات و معضلات زیادی در نوع نگاه و مدیریت کشت برخوردار است. متخصصین زراعت و علم مدیریت مزرعه رهیافت جدیدی را در مسیر افزایش تولید و عملکرد گیاهان زراعی معرفی نمودند. این رهیافت، استفاده از الگوهای مدیریت تلفیقی[1] در تولید و افزایش عملکرد گیاهان زراعی است. بطوری که امروزه در دنیا، علم مدیریت مزرعه و شناخت توام فاکتورهای اکولوژیکی و فیزیولوژیکی موثر بر رشد محصولات زراعی همراه با درکی درست از پتانسیل واقعی و توان تولید در گیاهان زراعی، با ملحوظ نگه‌داشتن حفظ محیط زیست و کشاورزی پایدار، توجه دانشمندان و کشاورزان زیادی را در سراسر جهان به خود جلب کرده است (Uphoff, 2005).

افزایش تولید برنج در قالب سیستم مدیریت فشرده کشت (SRI) ، که در حدود ۳۰ سال قبل برای اولین بار توسط یک کشیش و مروج فرانسوی بنام هنری د لاولانی[2] در سال ۱۹۸۳ در ماداگاسکار توسعه یافته است، یک روش شناسی اگرواکولوژیک برای افزایش بهره وری در اکوسیستم های فاریاب برنج، از طریق بهبود مدیریت گیاه، خاک، آب و عناصر غذایی با هدف افزایش بهره وری زمین، نیروی انسانی و سرمایه در تولید برنج می باشد. در این روش نهاده های تولید از جمله بذر، کودهای شیمیایی، آب و سوخت مورد نیاز برای پمپاژ آب کاهش می یابند در حالی که عملکرد افزایش می یابد. این سیستم افزایش تولید برنج در حال حاضر به صدها کشاورز در سراسر جهان (خصوصاً کشورهای آسیای جنوب شرقی) کمک کرده است تا عملکرد مزرعه خود را حتی تا دو برابر افزایش دهند.

اصول و قواعد سیستم مدیریت فشرده کشت برنج

روش SRI با یک فلسفه اولیه آغاز می‌شود و آن این است که گیاه برنج یک موجود زنده است که ظرفیت رشد و تولید بالایی دارد. این ظرفیت در صورتی قابل حصول است که ما بتوانیم شرایط ایده‌آلی را برای رشد آن ایجاد نماییم. اجرای این روش نیاز به مهارتهای مدیریتی بالا در زمینه فاکتورهای تولید و شناخت دقیق مراحل رشد، فنولوژی، مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه برنج دارد و در یک نکته، مدیریت تلفیق دانش در کشت برنج می‌باشد که افزایش عملکردی بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد را در پی خواهد داشت (Anthofer, 2004). اصول و قواعد اجرای سیستم مدیریت فشرده کشت برنج عبارتند از :

- نشاکاری گیاهچه های جوان ۱۲ تا ۱۵ روزه در مرحله ۳ تا ۳/۵ برگی قبل از شروع رشد فیلوکرون[3] چهارم (Nemoto et al. 1995). برای پرورش نشا در این سیستم، از غرقابی دائم خزانه و ایجاد حالت

[1] -Integrated management
[2]- Henri de Laulanie
[3] -Phyllochron

۳- فیلوکرون فاصله زمانی ظهور دو برگ متوالی یا دو واحد نموی می باشد.

احیاء اجتناب می شود و نشاها بصورت جعبه ای و یا داپوگ[1] و بصورت هوازی پرورش می یابند (البته در مناطق سرد می توان از نشاهای ۴ برگه و ۲۵ تا ۳۰ روزه استفاده کرد).

- نشاکاری سریع گیاهچه های برنج حداکثر در فاصله ۳۰ دقیقه بعد از کندن از خزانه بطوری که در همه مراحل کندن و انتقال، حداقل آسیب به گیاهچه ها وارد شود و نشاکاری با عمق کم ۱ تا ۲ سانتیمتر به شکلی که نوک ریشه گیاهچه های نشاکاری شده از خاک بیرون نیاید. در این شرایط، شوک نشاکاری حداقل است.
- نشاکاری تنها یک نشا در کپه بصورت مربعی و با فاصله ۲۵×۲۵ سانتیمتر (البته در خاکهای فقیر تعداد نشا به ۲ تا ۳ عدد و فاصله کشت به ۲۰×۲۰ سانتیمتر قابل تغییر است).
- استفاده از حداقل آب و اجرای آبیاری متناوب در طول دوره رشد رویشی گیاه با حفظ رطوبت مزرعه در طول روز و اجتناب از خشک شدن سطح خاک. حفظ لایه نازکی از آب به ارتفاع ۱ تا ۲ سانتیمتر بعد از تشکیل خوشه اولیه تا ۱۵ روز قبل از برداشت و سپس زهکشی مزرعه
- کنترل علفهای هرز با استفاده از روتاری وجین ۱۰ تا ۱۲ روز بعد از نشاکاری و تکرار آن تا زمانی که پوشش کانوپی گیاه کامل شود. با اجرای این روش، علاوه بر اینکه علفهای هرز جوان به زیر خاک رفته و تجزیه می شوند، هوادهی خاک و خروج گازهای مضر نیز به خوبی انجام می شود.
- استفاده از کمپوست و کودهای آلی به تنهایی و یا در ترکیب با کودهای شیمیایی. البته سیستم کشت SRI، یک سیستم کشت ارگانیک نیست اما نتایج نشان داد که استفاده از کمپوست در این سیستم باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد محصول گردید.

مقالات و گزارشات زیادی بر این نکته تاکید کردند که روش SRI می تواند اثرات متقابل ژنوتیپ-محیط را بطور موثری به نمایش بگذارد. نتیجه این اثرات متقابل در گیاه برنج، ایجاد فنوتیپ های بارور و قوی می باشد. این اثرات می تواند بر روی مورفولوژی اندام هوایی و ریشه، خصوصیات فنولوژیک، فیزیولوژیک، رشد و عملکرد گیاه برنج مشاهده و اندازه گیری شود (Horie et al, 2005; Mishra et al., 2006; Stoop, 2011). همانطوری که اشاره گردید، عناصر اصلی در اجرای روش SRI را کاهش مصرف آب، کاهش جمعیت گیاهی، نشاکاری نشاهای جوان و استفاده از مواد آلی تشکیل می دهند که در این بخش به مرور تحقیقات انجام گرفته در خصوص موارد فوق می پردازیم.

کاهش مصرف آب

برای سالیان متمادی این عقیده غالب بود که برنج کشت شده در شالیزارهای غرقابی یک گیاه آبزی بوده و تحت شرایط غرقابی دائم بهتر رشد می کند (DeDatta, 1981). اعتقاد به این امر موجب شد تا کشاورزان سعی کنند مصرف آب را برای کشت برنج به حداکثر برسانند و به دو حقیقت مهم توجهی نداشته باشند. اول اینکه ریشه های گیاه برنجی که تحت شرایط بی هوازی رشد می کنند به خوبی توسعه نیافته و غیرطبیعی می شوند. ریشه هایی که در این شرایط رشد می کنند قبل از بلوغ دچار پوسیدگی می شوند و کارایی آنها در جذب آب و عناصر غذایی کاهش شدیدی می یابد (Kirk and Bouldin, 1991). دوم اینکه تحت شرایط غیرهوازی، باکتریها و میکروارگانیسم های خاک از نظر تعداد و تنوع کاهش می یابند. تحت شرایط بی هوازی، باکتریها و قارچهای هوازی تثبیت کننده نیتروژن، و حل کننده فسفات و نیز قارچهای میکوریزایی که منافع زیادی برای گیاهان دارند، قادر به فعالیت نیستند.

1 -Dapog nursery

مطالعات انجام شده توسط لین و همکاران[1] (۲۰۱۱) و ایسواندی و همکاران[2] (۲۰۱۱) نشان داد که کاهش مصرف آب تحت مدیریت فشرده کشت برنج، جمعیت میکروارگانیسم های مفید خاک افزایش می یابد. آنها تاکید کردند که میزان آب مصرفی باید تنها برای تامین نیاز آبی گیاه و میکروارگانیسم های خاک باشد و مصرف بیش از حد آب باعث پوسیدگی ریشه و توسعه میکروبهای بی هوازی می شود. یکی دیگر از مزایای ایجاد شرایط هوازی در خاک، توسعه سیستم ریشه ای و افزایش حجم و طول ریشه می باشد که توسط بریسون و اوفاف[3] (۲۰۱۱) و تاکور و همکاران[4] (۲۰۱۱) گزارش شده است. این امر باعث افزایش منطقه توسعه ریشه در خاک می شود، بطوری که در شرایط بی هوازی منطقه توسعه ریشه توسط لایه سخت[5] -که برای نگه داری آب درلایه شخم خاک غرقابی ایجاد می شود- محدود می شود. توسعه سیستم ریشه ای قوی و گسترده در سیستم کشت SRI باعث افزایش جذب عناصر غذایی و رطوبت خاک می شود که گیاه را در برابر استرس های زنده و غیر زنده مقاوم می کند.

کاهش جمعیت گیاهی

همانند باور غلط تاثیر مثبت مصرف آب بیشتر و ایجاد شرایط غرقابی برای گیاه برنج، عقیده غلط دیگری نیز مبنی بر مزیت تعداد بیشتر بوته در واحد سطح وجود دارد. مطمئنا این مطلب مورد تایید همگان است که جمعیت گیاهی در واحد سطح باید بهینه باشد نه حداکثر؛ تراکم بسیار زیاد باعث محدودیت رشد ریشه و کاهش پنجه زنی می شود (Akita and Tanaka, 1992). اکثر محققین و کشاورزان بر این عقیده هستند که تراکم مطلوب گیاه برنج به تولید حداکثر تعداد پنجه بارور در واحد سطح می انجامد. در سیستم های رایج کشت برنج به شیوه سنتی در دنیا، مصرف تا ۱۲۰ کیلوگرم بذر در هکتار (که در کشور ما نیز بین ۶۰ تا ۸۰ کیلوگرم است)، برای تامین تراکم بالای خوشه، توصیه می شود. از طرف دیگر در روش SRI، با استفاده از گیاهچه های جوان، با تراکم کم و ایجاد شرایط هوازی، تعداد خوشه بیشتری را با مصرف حتی ۵ کیلوگرم بذر در هکتار می توان تولید نمود (Kassam et al. 2011).

باور این مسئله برای کشاورزان سنتی سخت است که عملکرد محصول می تواند با کاهش تعداد بوته در مترمربع، افزایش ۵۰ تا ۱۰۰ درصدی (حتی بیشتر) داشته باشد. زمانی که عملیات کشت سنتی با انجام آبیاری غرقابی دائم، استفاده از نشاهای مسن بصورت دسته ای و با تراکم بالا، عدم هوادهی خاک و استفاده از کودهای شیمیایی بدون کاربرد مواد آلی اجرا می شود، در این شرایط برای حصول عملکرد بالا (اما کمتر از عملکرد بهینه) حتما باید تعداد بوته زیادی در واحد سطح داشته باشیم (Mishra and Salokhe, 2008). به خاطر اینکه رشد رویشی و زایشی گیاه برنج در این شرایط محدود می شود. در مقابل با عملیات SRI و بهینه سازی محیط رشد گیاه، تعداد بوته های نشا شده ۸۰ تا ۹۰ درصد کمتر است اما تفاوت معنی داری در فنوتیپ بوته ها وجود دارد (Mishrs and salokhe, 2008; Thakur et al, 2010a; stoop, 2011). کاهش تعداد بوته و الگوی کشت مربعی باعث حداقل رقابت اندام هوایی و ریشه می شود که نتیجه آن رشد بیشتر ریشه، اندام هوایی و توزیع بهتر کانوپی برای جذب نور می شود. افزایش حجم ریشه همراه با توزیع یکنواخت تاج پوشش، باعث جذب بیشتر عناصر غذایی و فتوسنتز بیشتر و بادوام تر همراه با انتقال مواد فتوسنتزی بیشتری به خوشه ها می شود (Kassam et al. 2011).

[1] -Lin et al.
[2] -Iswandi et al.
[3] - Barison and Uphoff
[4] -Thakur et al.
[5] -Hard pan

نشاکاری گیاهچه‌های جوان‌تر و کوچک‌تر

در سیستم کشت SRI توصیه می شود که گیاهچه ها در سن ۳ برگی یعنی در حدود ۱۲ روز بعد از بذرپاشی نشاکاری شوند. گیاهچه های جوان از قدرت و پتانسیل بیشتری برای رشد و توسعه ریشه و اندام هوایی برخوردار بوده و دارای باروری بیشتری می باشند (Pasuquin et al. 2008; Stoop, 2011). سن گیاهچه برنج در زمان نشاکاری تاثیر قابل توجهی بر تعداد و سرعت خروج برگ، طول دوره رشد و فنولوژی محصول دارد. بدین ترتیب که نشاهای جوان تر در مقایسه با نشاهای بالغ بعد از نشاکاری در زمین اصلی تعداد کل برگ بیشتری تولید می کنند. میزان اثرگذاری شوک نشاکاری ممکن است بسته به خصوصیات نشا و شرایط آب و هوائی قبل و بعد از نشاکاری متفاوت باشد به دلیل اینکه ساقه و ریشه نشاهای مسن تر در طی کندن از خزانه صدمه بیشتری می بینند و رسیدگی به تاخیر می افتد (Kotera, 2004). محققین دیگری گزارش نمودند که بوته های حاصل از نشاهای جوانتر (۱۰-۲۰ روزه) قادرند که چرخه زندگی خود را ۵-۹ روز سریع تر طی کرده و زودتر از نشاهای بالغ (۳۰ روزه) می رسند (Patel, 1999). پاسوکوئین و همکاران[1] (۲۰۰۸) تاثیر سه سن نشا ی ۳، ۵ و ۷ برگه را بر روی رشد و عملکرد برنج بررسی نمودند. افزایش وزن ماده خشک اندام هوائی در نشاهای ۷ روزه (۳ برگه) تفاوت معنی داری با نشاهای ۱۴ روزه (۵ برگه) و ۲۱ روزه (۷ برگه) داشته است. همچنین نشاهای ۳ برگه (۷ روزه) از شاخص سطح برگ و تعداد پنجه بیشتری در مترمربع برخوردار بودند. با تاخیر نشاکاری در خصوص استفاده از نشاهای ۵ و ۷ برگه، سرعت افزایش وزن خشک اندام هوائی در مقایسه با نشاهای ۳ برگه (۷ روزه) کاهش معنی داری داشت. وزن خشک اندام هوائی نشاها در تاریخ ۲۸ روز بعد از تاریخ بذرپاشی برای نشاهای ۳، ۵ و ۷ برگه به ترتیب در حدود ۱۹/۴، ۶ و ۳/۸ گرم در مترمربع بود. این روند در زمان گلدهی نیز ادامه یافت و به ترتیب برابر ۱۱۹۹، ۹۹۰ و ۸۳۴ گرم در مترمربع بود.

ارجحیت استفاده از مواد آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی

افزایش تولید گیاهان زراعی با استفاده از کودهای شیمیایی به خصوص در خاکهای فقیر و دارای کمبود عناصر غذایی بر کسی پوشیده نیست. با مصرف کودهای شیمیایی مقدار نیتروژن، فسفر و پتاس بیشتری در دسترس گیاهان قرار می گیرد اما استفاده از کمپوست و کودهای آلی باعث پایداری و بهره دهی بیشتر خاک می گردد. کود شیمیایی گیاه را تغذیه می کند اگرچه کارایی مصرف آنها نیز بسیار پایین است بطوری که در برنج غرقابی در حدود ۳۰٪ است، اما کودهای آلی در ابتدا خاک را تغذیه می کنند و سپس خاک، گیاه را با کارایی بالاتری تغذیه خواهد کرد. بعلاوه اینکه کمپوست باعث بهبود ساختمان خاک و باروری درازمدت آن می شود که کودهای شیمیایی قادر به انجام آن نیستند. افزایش فعالیت میکروبی خاک و افزایش سلامتی و باروری گیاه از دیگر نتایج استفاده از مواد آلی هستند. مواد آلی بعلت دارا بودن عناصر ریزمغذی ضروری گیاهان، باعث سنتز آنزیم های ضروری متابولیسم گیاه می شوند که نقش مهمی در مقاومت به استرس های زنده و غیرزنده دارند (Kassam et al. 2011). لین و همکاران[2] (۲۰۱۱) گزارش دادند که آبیاری متناوب در روش SRI همراه با مصرف کمپوست باعث افزایش جمعیت میکروبی خاک در منطقه ریزوسفر و افزایش جذب نیتروژن و فسفر می شود. استفاده از کمپوست و منابع کودهای آلی بخاطر در اختیار گذاشتن تدریجی و مداوم عناصر غذائی خصوصاً در طول دوره پر شدن دانه همراه با افزایش حجم ریشه و جذب بیشتر مواد غذائی خاک در اثر آبیاری متناوب باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Barison, 2003; Joelibarison, 2003).

1- Pasuquin et al
2- Lin et al

مطالعات انجام شده در کشور چین نشان داد که راندمان استفاده از کود نیتروژنه در سیستم کشت SRI افزایش می‌یابد. بطوری که مقادیر بهینه مصرف نیتروژن در مدیریت کشت به روش SRI به مقدار ۸۰ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار بود در حالی که تحت مدیریت سنتی کشت، این مقدار به ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. جالب توجه اینکه با وجود مصرف کمتر کود، عملکرد دانه در سیستم کشت SRI بیشتر بود (Zhao et al., 2011). علاوه بر کمپوست و کودهای آلی، گزارشات دیگری مبنی بر تاثیر مثبت استفاده از کودهای زیستی در افزایش عملکرد برنج در سیستم کشت SRI وجود دارد (Mishra and Salokhe, 2011; Iswandi et al, 2011).

افزایش عملکرد و مزایای دیگر حاصل از اجرای روش SRI

نتیجه اجرای سیستم کشت SRI، که متضمن تغییر عملیات زراعی گیاه برنج است، برد - برد برای کشاورز، مصرف کننده و محیط زیست است. افزایش تولید در واحد سطح، تنها یکی از شاخص های اندازه گیری بهره وری است. افزایش بهره وری در تولید برنج شامل موارد دیگری همچون بهره وری مصرف آب، بهره وری عناصر غذایی و کود مصرفی، بهره وری انرژی و بهره وری سرمایه (سودمندی) نیز می شود. البته ساده ترین معیار و ملاک تشخیص برتری هر سیستم کشتی، اندازه گیری عملکرد دانه است. افزایش عملکرد محصول برنج تحت سیستم مدیریت فشرده کشت، حاصل بهبود تعداد زیادی از خصوصیات و فاکتورهای مرتبط با افزایش عملکرد و کیفیت محصول است که بطور خلاصه در قالب چهار یافته زراعی، فیزیولوژیکی، بیولوژیکی و اقتصادی-زیست محیطی قابل طرح است.

- **یافته های زراعی:** کاهش مرگ و میر پنجه ها و افزایش تعداد خوشه در کپه؛ افزایش مقاومت به ورس؛ افزایش طول خوشه؛ افزایش تعداد دانه در خوشه؛ افزایش درصد دانه‌های پر و وزن بیشتر دانه؛ افزایش ضریب تبدیل دانه سالم؛ افزایش مقاومت به حشرات آفت؛ کاهش جمعیت حشرات آفت و بیمارهای قارچی در خزانه و زمین اصلی؛ کاهش طول دوره رشد (Stoop, 2005; Uphoff, 2005).
- **یافته های فیزیولوژیکی:** حجم بیشتر ریشه؛ افزایش میزان کلروفیل برگ؛ افزایش فتوسنتز و تجمع ماده خشک؛ افزایش سرعت نمو فیزیولوژیکی و کاهش فیلوکرون؛ افزایش شاخص سطح برگ؛ کاهش ضریب استهلاک نوری؛ افزایش راندمان جذب و متابولیسم عناصر غذائی؛ افزایش مقدار پروتئین محلول؛ افزایش مقدار و فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز[1](Zbu et al., 2002; Wang et al, 2002; Randriamibarisoa, 2002).
- **یافته های بیولوژیکی:** افزایش فعالیت اکسیداسیونی ریزوسفر؛ افزایش تعداد و فعالیت جمعیت میکروبی خاک از جمله باکتریهای هوازی و بی هوازی؛ افزایش تعداد باکتریهای Azospirillum,Azotobacter,Phosphobacteria ؛ افزایش فعالیت قارچهای میکوریزا و پروتوزوآ ؛ افزایش ترشح فیتوهورمونها توسط ریشه برنج؛ ثتبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط میکروارگانیسمهای خاک (Randriamibarisoa, 2002; Randriamibarisoa et al, 2007)
- **ارزیابی اقتصادی و زیست محیطی:** کاهش مصرف بذر در هکتار و صرفه جوئی آن به میزان ۷۰ تا ۸۰ درصد؛ کاهش سطح خزانه به میزان ۷۰ تا ۸۰ درصد؛ صرفه جوئی و کاهش مصرف آب به میزان ۳۰ تا۴۰ درصد که در بعضی از منابع تا ۵۰ درصد نیز گزارش شده است؛ کاهش مصرف کودها و سموم شیمیائی آفت کش در درازمدت؛ کاهش مصرف سموم علفکش؛ بهبود منابع آب و خاک و کاهش آلودگی آنها (Uphoff, 2005; Anthofer, 2004).

[1] -Nitrate reductase

۱- توضیح اینکه نیتروژن در ابتدا باید توسط آنزیم نیترات رداکتاز احیا شده و سپس جذب ریشه گیاه برنج گردد.

جدول ۱ خلاصه ای از گزارشات تفاوت عملکرد برنج در دو سیستم کشت سنتی و SRI را در کشورهای مختلف نشان می دهد. بطور کلی اختلاف عملکردی معادل ۶۰ ٪ قابل مشاهده می باشد که از ۱۱٪ در کشور چین تا ۲۲۰٪ در یک آزمایش مزرعه ای به روش مکانیزه در کشور پاکستان (Sharif, 2011) متغیر است.

جدول ۱- تفاوت عملکرد برنج فاریاب، بین روش کشت سنتی و SRI در کشورهای مختلف (Kassam et al. 2011)

کشور/منطقه	SRI (تن در هکتار)	روش سنتی (تن در هکتار)	درصد افزایش	ارقام مورد استفاده	تعداد سایت	سال انجام آزمایش
افغانستان / استان بغلان	۹/۳	۵/۶	۶۶	واریته بومی	۴۲	۲۰۰۹-۲۰۰۸
چین / استان ژیانگ	۸/۱	۷/۳	۱۱	هیبرید	۱	۲۰۰۷-۲۰۰۶
چین / استان ژیانگ	۶/۶	۵/۸	۱۱	اصلاح شده ژاپونیکا	۱	۲۰۰۵
گامبیا / منطقه شرقی	۷/۶	۲/۵	۲۰۴	اصلاح شده	۱	۲۰۰۲-۲۰۰۰
هند / ایالت اندهارا پرادش	۵/۴	۴/۶	۱۸	اصلاح شده	۴۹	۲۰۱۰-۲۰۰۹
هند / ایالت اریسا	۶/۵	۴/۴	۴۸	اصلاح شده	۱	۲۰۰۹-۲۰۰۸
اندونزی / استانهای شرقی	۷/۶	٤/۳	۷۸	اصلاح شده	۱۲۱۳۳	۲۰۰۶-۲۰۰۲
عراق / نجف	۵/۳	۳/۸	۴۰	بومی (عنبر)	۱	۲۰۰۹
کنیا	۹/۶	۵/۰	۹۲	اصلاح شده	۲	۲۰۰۹
ماداگاسکار / نواحی شرقی	۶/۳	۴/۹	۲۹	اصلاح شده	۱	۲۰۰۱-۲۰۰۰
ماداگاسکار / نواحی مرکزی و شمالی	۶/۴	۳/۴	۸۹	اختلاط واریته ها	۱۰۹	۲۰۰۱-۲۰۰۰
مالی / ناحیه تیمبوکتو	۹/۱	۵/۵	۶۶	بومی و پرمحصول	۵۳	۲۰۰۸
پاکستان / استان پنجاب	۱۲/۸	۴/۰	۲۲۰	هیبرید	۱	۲۰۰۹
پاناما / استانهای مرکزی	۴/۸	۳/۴	۴۷	بومی و اصلاح شده	۱۰	۲۰۱۰-۲۰۰۹

در تحقیقی که توسط پاناپ[1](۲۰۰۷) انجام شد، خسارت بیماری شیت بلایت، بلایت برگی و خسارت زنجره و ملخ قهوه ای در روش SRI به ترتیب ۶۳٪، ۷۶.۵٪، ۴۹.۵٪ و ۸۳٪ کمتر از روش کشت سنتی بود و در مجموع خسارت آفات و بیماریها در فصل تابستان در روش SRI به مقدار ۷۰.۷٪ کمتر از روش سنتی بود. افزایش درآمد خالص و افزایش عملکرد دانه در کشورهای بنگلادش، کامبوج، چین،هند، اندونزی، نپال و سریلانکا در روش SRI به ترتیب ۵۹ و ۲۴ درصد-۷۴ و ۴۱ درصد-۶۴ و ۲۹ درصد- ۶۷ و ۳۲ درصد-۱۰۰ و ۷۸ درصد-۱۶۳ و ۸۲ درصد-۱۱۷ و ۴۹ درصد بود. استوپ و کاسام[2] (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که گیاهان رشد یافته در روش SRI در زمان گلدهی دارای فعالیت ریشه بسیار بالائی بوده و مقاومت بیشتری به خشکی و ورس دارند. در تحقیقی توسط منته و همکاران (۲۰۰۸)[3] نشان داده شد که در خاک شور روش SRI باعث کاهش عملکرد در مقایسه با روش سنتی شد و علت آن استفاده از روش آبیاری

1 -PANAP (Pesticide Action Network Asia and the Pacific)
2 - Stoop and Kassam
3 - Mete Ceet al.,

تناوبی در روش SRI و خسارت شوری و کاهش عملکرد دانه گزارش شده است. البته ایشان گزارش کردند که استفاده از کمپوست و ترکیبات آلی در آزمایشات جداگانه در همین شرایط باعث افزایش عملکرد دانه شده است. در آزمایشی که توسط تاکور و همکاران[1] (۲۰۱۱) انجام شد، کشت برنج به روش SRI در مقایسه با روش معمول کشت و غرقابی دائم، باعث افزایش ۴۸ درصدی عملکرد دانه و کاهش ۲۲ درصدی مصرف آب شد.

نتیجه گیری

پایداری تولید برنج به خصوص در مواقع کم آبی و نیز تولید محصول همراه با کاهش مصرف نهاده های تولید به خصوص در شرایط زارعین خرده پا با متوسط مالکیت کم، همراه با افزایش بهره وری نهاده ها در تولید محصول برنج با ملحوظ نگه داشتن حفظ محیط زیست، از اهداف اصلی کشت برنج به روش SRI می باشد. از آنجایی که این متدولوژی همچنان در حال نمو و تکامل می باشد، هنوز امکان ارزیابی نهایی و تهیه دستورالعمل واحدی برای همه مناطق شالیزاری با شرایط اقلیمی و خاکی متنوع وجود ندارد. تحقیقات و ارزیابی های زیادی هنوز باقی مانده است و دستکاریها و تغییرات بعدی برای سازگارسازی و بومی سازی این روش، همانند فناوریهای دیگر، جزء ذات هر متدولوژی جدیدی است. برای توسعه و بهبود روش SRI ، که از نتایج تحقیقات دانشمندان و فعالیت کشاورزان حاصل خواهد شد، توجه به مشارکت جمعی و تبادل اطلاعات با انجام تحقیقات مشارکتی بر فعالیتهای خاص و فردی ارجحیت دارد. متدولوژی SRI قبل از اینکه یک فناوری خاص باشد، یک پارادایم فکری است. نظر به اجرای قانون هدفمند سازی یارانه ها و ضرورت صرفه جویی در مصرف نهاده های کشاورزی و لزوم حرکت به سمت کشاورزی پایدار و تولید محصول سالم، پیشنهاد می گردد که با اجرای روشهای تولید مبتنی بر سیستم های مدیریت اکولوژیک همچون SRI و بومی سازی آن، تعادلی بین تولید محصول و حفظ منابع تولید در درازمدت برقرار شود.

کلام آخر اینکه اجرای چنین روشهایی نیاز به بستر سازی برای تغییر نگرش در تولیدات کشاورزی با هدف افزایش بهره وری و کاهش استهلاک منابع پایه در دراز مدت دارد که در این راه آموزش کشاورزان و بهره برداران و بازتعریف کشاورزی دانش بنیان و اکولوژیک و بسط و گسترش فناوریهای مرتبط امری ضروری است.

منابع

Akita K, Tanaka N, 1992. Effects of planting density and planting patterns on young seedlings transplanting on the growth and yield of rice plant. Jpn J Crop Sci 61:80-86.

Anthofer J, 2004. The potentioal of the system of rice intensification (SRI) for poverty reduction in combidia. Conference on International Agricultural Research for Development. Berlin.

Barison J and Uphoff N, 2011. Rice yield and its relation to root growth and nutrient-use efficience under SRI.

Barison J, 2003. Nutrient use efficiency and nutrient uptake in conventional and intensive (SRI) rice cultivation systems in Madagascar. Master's Thesis. Cornell university.USA. New york.

De Datta SK, 1981. Principles and practices of rice production. Wiley, New York.

Horie T, Shiraiwa T, Homma H, Katsura K, Maeda S and Yoshida H (2005). Can yields of lowland rice resume the increases that they showed in the 1980s? Plant Prod Sci 8:257-272.

1- Thakur et al.

Iswandi A, Rupela OP, Thiyagarajan TM and Uphoff N, 2011. Effects of SRI on beneficial organisms in rice rhizospheres and soil. Paddy Water Environ.

Joelibarison, 2003. Nutrient-use efficiency and nutrient use uptake in conventional and intensive (SRI) rice cultivation systems in Madagascar. Master's thesis, Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca,NY.

Kassam A, Stoop W, and Uphoff N, 2011. Review of SRI modification in rice crop and water management and research issues for making further improvements in agricultural and water productivity. Paddy Water Environ. 9:163-180.

Kirk GJD, Bouldin DR, 1991. Speculations on the operation of the rice root system in relation to nutrient uptake. In: Penning de Vries FWT et al (eds) Simulation and system analysis for rice production, Pudoc, Wageningen, Netherlands, pp 195-203.

Kotera A, E Nawata, P Chuong, N N Giao and T Sakuratani, 2004. A model for phenological development of Vietnamese rice influenced by transplanting shock. Plant Prod. Sci. 7: 62–69.

Lin X, Zhu D and X Lin, 2011. Effects of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics. Paddy Water Environ. 9:33-29

Menete MZL, HMvan Es, RML Brito, SD DeGloria and S Famba, 2008. Evaluation of system of rice intensification (SRI) component practices and their synergies on salt-affected soils. Department of Crop and Soil Sciences, 1005 Bradfield, Cornell University, Ithaca NY. 14853, USA.

Mishra A, Salokhe VM, 2008. Seedling characteristics and the early growth of transplanted rice under different water regimes. Exper Agric 44:1-19

Mishra A, Whitten M, Ketelaar JW, Salokhe VM, 2006. The system of rice Intensification (SRI): a challenge for science and opportunity for farmer empowerment toward sustainable agriculture. Int J Agric Sustain 4:193-212.

Nemoto K, Morita S, Baba T, 1995. Shoot and root development in rice related to the phyllochron. Crop Sci 35:24-29.

PANAP, 2007. The System Of Rice Intensification (SRI): an efficient, economical and ecologically-friendly way to increase productivity. Pesticide Action Network Asia and Pacific.

Pasuquin E, T Lafarge and B Tubana, 2008. Transplanting young seedling in irrigated rice fields: Early and high tiller production enhanced grain yield. Field Crops Research 105: 141-155.

Patel J R, 1999. Response of rice (*Oryza sativa*) to time of transplanting, spacing and age of seedlings. Indian J. Agron. 44: 344–346.

Randriamibarisoa RP, 2002. Research results on biological nitrogen fixation with the system of rice intensification. Proceedings of an International Conference on the system of rice intensification (SRI) held in Sanya, china.

Randriamiharisoa R, J Barison, and N Uphoff, 2007. Soil biological contributions to the system of rice intensification. Cornell International Institute for food, agriculture and development.

Sharif A, 2011. Technical adaptations for mechanized SRI production to achieve water saving and increased profitability in panjab, Pakistan. Paddy Water Environ.

Stoop WA, 2011. The scientific case for the System of Rice Intensification and its relevance for sustainable crop intensification. Manuscript under review by Int J Sustain Agric.

Stoop WA, 2005. The system of rice intensification (SRI):Results from exploratory field research in Ivory Coast—Research needs and prospects for adaptation to divers production systems of resource-poor farmers. WARDA.

Stoop WA and Kassam AH, 2006. The "system of rice intensification (SRI)": implications for agronomic research. Published in: Tropical Agriculture Association Newsletter.

Thakur AK, Uphoff N and Antony E, 2010a. An assessment of physiological effects of System of Rice Intensification (SRI) practices compared with recommended rice cultivation practices in India. Exper Agric 46:77–98

Thakur AK, Rath S, Patil DU and Kumar A, 2011. Effects on rice plant morphology and physiology of water and associated management practices of the system of rice intensification and their implications for crop performance. Paddy Water Environ 9:13-24.

Uphoff N, (2005). Features of the system of rice intensification (SRI) apart from increases in yield. Cornell International Institute for food, agriculture and development.

Uphoff N, (2006). Increasing water saving while raising rice yields with the system of rice intensification (SRI). 2nd international rice congress, New Dehli, October 9-13, Panel on water productivity and reuse.

Wang Sbb, C Weixing, J Dong and Z Yan, 2002. Physiological characteristics and high-yield techniques with SRI rice. Proceedings of an International Conference on the system of rice intensification (SRI) held in Sanya, china.

Zbu D, C Sbibua, Z Yaping and L Xiaqing, 2002. Tillering patterns and contribution of tillers to grain yield with Hybrid rice and wide spacing. Proceedings of an International Conference on the system of rice intensification (SRI) held in Sanya, china.

Zhao L, Wu L, Wu M and Y Li, 2011. Nutrient uptake and water use efficiency as affected by modified rice cultivation methods with reduced irrigation. Paddy Water Environ. 9:25-32