مقاله پژوهشی

ارزیابی روابط آلومتریک و شاخص‌های رشد در ژنوتیپ‌های غرقابی، هوازی و آپلند برنج (*Oryza sativa* L.)

محجوبه اسماعیل‌زاده مریدانی[۱]، مسعود اصفهانی[۱*]، علی اعلمی[۱]، علی مؤمنی[۲]، محمدرضا خالدیان[۳]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، [۲] عضو هیئت علمی، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، معاونت مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، [۳] گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان و گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوزه آبی دریای خزر، رشت

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰)

چکیده

جهت بررسی روابط آلومتریک بین سطح برگ با صفات ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی و همچنین توصیف روند تغییرات ماده خشک و شاخص سطح برگ، آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه روش کشت (غرقابی مرسوم، هوازی و هوازی با اعمال تنش خشکی) و پنج ژنوتیپ (سه لاین هوازی، یک لاین آپلند و یک رقم غرقاب) بودند و آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. اندازه‌گیری وزن خشک برگ و ساقه، سطح برگ و ارتفاع بوته از مرحله سبزشدن به فاصله هر ده روز یک‌بار انجام شد. برای توصیف روابط آلومتریک از برازش مدل دوتکه‌ای استفاده شد. برای توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ و ماده خشک به‌ترتیب دو نوع مدل بتا پنج و سه پارامتری به داده‌ها برازش داده شد. نتایج نشان داد که برای برآورد سطح برگ از ارتفاع بوته و وزن خشک اندام‌های رویشی در برنج می‌توان از مدل رگرسیون دوتکه‌ای استفاده نمود (R^2=۰/۸۳-۰/۹۸). براساس مدل‌های بتا زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر (Tm) و سرعت رشد در مرحله رشد خطی (Cm) در شرایط غرقابی (به‌ترتیب ۹۸/۳۶ روز و ۲۳/۷۵ گرم در متر مربع در روز) بیشتر از شرایط هوازی (به‌ترتیب ۹۵/۸۹ روز و ۲۰/۲۴ گرم در متر مربع در روز) بودند. براساس نتایج این تحقیق از توابع و پارامترهای آن‌ها که برای اولین بار بر روی کشت هوازی انجام شده است، می‌توان در مدل‌های شبیه‌سازی و برآورد آسان و سریع سطح برگ در گیاه برنج استفاده کرد.

کلمات کلیدی: آلومتری، تابع بتا، تابع دوتکه‌ای، کشت هوازی، کمبود آب خاک، مدل‌سازی

مقدمه

با افزایش محدودیت آب موجود برای آبیاری، ضرورت افزایش کارایی مصرف آب در برنج، بیش از پیش اهمیت یافته است. با توجه به مصرف بالای آب در زراعت برنج با شیوه آبیاری غرقابی دائم (continuous-irrigated lowland) و بالا بودن تصعید گاز متان از شالیزارهای غرقاب، کشت برنج به‌صورت هوازی (aerobic) به‌عنوان یک شیوه جایگزین، مورد توجه قرارگرفته است (Khosa *et al*., 2011). اولین بار ایده تولید برنج هوازی توسط Bas Bouman با متخصصین زراعت و فیزیولوژی گیاهی به این صورت مطرح شد که آیا می‌توان

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: esfahani@guilan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

برنج را مثل سایر غلات که در اراضی خشک غیرغرقاب کشت می‌شوند، تولید کرد؟ این ایده با تلاش و همکاری محققان در مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) و چین به واقعیت نزدیک شد (Rice today, 2007). کشت هوازی یک نوع از کشت نوظهور برنج است که در آن به‌مراتب آب کمتری نسبت به کشت رایج برنج مصرف می‌شود (Humphreys *et al.*, 2011). نتایج بررسی‌ها نشان داده است که در کشت برنج به روش 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، درحالی‌که براساس آزمایش‌های انجام گرفته در شرایط کنترل‌شده، مقدار نیاز واقعی آب جهت تولید یک کیلوگرم برنج تنها ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ لیتر بوده است (مؤمنی، ۱۳۹۵). در کشت هوازی برنج، گیاهان در شرایط غیرگِلخراب، غیراشباع و با زه‌کشی مناسب خاک رشد می‌کنند. استفاده از آبیاری در کشت هوازی ضروری است و خاک باید کاملاً مرطوب باشد. برخلاف شیوه کشت سنتی برنج آپلند که تنها منبع آب برای گیاه باران و آب مویینگی (کاپیلاری) است، در کشت هوازی به‌دلیل مدیریت صحیح آبیاری، گیاه در معرض تنش خشکی و خاک غیرحاصلخیز قرار نمی‌گیرد (Bouman *et al.*, 2007; Kato and Katsura, 2014; Okami *et al.*, 2014). برنج هوازی در مقایسه با برنج غرقابی نیاز به نیروی کار کمتری داشته و قابلیت ماشینی‌شدن آن بیشتر است. اگرچه کشت هوازی، فناوری امیدبخشی در زیست‌بوم برنج تحت آبیاری محسوب می‌شود، اما آسیب‌پذیری گیاه در اثر تغییرات میزان آب خاک، باعث تأثیر سوء بر گسترش برگ و عملکرد دانه می‌شود (Okami *et al.*, 2014). در کشت هوازی به‌دلیل عدم سازگاری ارقام رایج برنج غرقابی با شرایط هوازی، عملکرد دانه اغلب کمتر است (Okami *et al.*, 2012). برای رفع این مشکل مهم، برنامه‌های اصلاحی برای تولید ارقام پر محصول هوازی حاصل از تلاقی ارقام پرمحصول غرقابی با ارقام آپلند سنتی در کشورهای برزیل، چین و (IRRI) طراحی شده است (Kato and Katsura, 2014). 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 نشان داده است که ژنوتیپ‌های برنج هوازی ضمن دارابودن عملکرد دانه مناسب، امکان تغییر الگوی کشت از غرقابی به هوازی در مناطق مواجه با خطر کم‌آبی را فراهم می‌کنند (مؤمنی، ۱۳۹۵).

معماری و توسعه سایه‌انداز (پوشش) گیاهی یکی از مهم‌ترین تعیین‌کننده‌های عملکرد دانه محسوب شده و در برنامه‌های اصلاحی بهبود شکل ظاهری (فنوتیپ) مورد توجه هستند (Donald, 1986). تا کنون، بسته به سیستم‌های کشت، براساس فیزیولوژی و مورفولوژی، تیپ‌های مطلوب برنج پیشنهاد شده است (Peng *et al.*, 2008). با معرفی ارقام نیمه پاکوتاه و پرپنجه، پتانسیل عملکرد برنج به‌صورت تدریجی در دهه ۱۹٦۰ افزایش یافت که نتیجه آن دستیابی به رشد سریع‌تر سایه‌انداز در سیستم کشت غرقابی متداول بود (Yoshida and Parao, 1972). این فنوتیپ‌ها ممکن است که برای کشت هوازی مناسب نباشند، چون به نوسانات رطوبت خاک حساسیت بالایی دارند (Okami *et al.*, 2012). در مقابل، فنوتیپ‌های با پنجه‌های کمتر در سیستم‌های برنج آپلند سنتی ترجیح داده می‌شوند، زیرا رشد اندام‌های هوایی آنها نسبت به سایر فنوتیپ‌ها در شرایط خشکی خاک بیشتر است (Chang *et al.*, 1972; Yoshida *et al.*, 1982).

روابط بین سرعت رشد اجزای منفرد یک اندام یا یک موجود، آلومتری نامیده می‌شود. روابط آلومتریک در گیاهان، تغییرات رشدونمو و مشخصات نسبی یک بخش از گیاه در مقایسه با کل یا بخش‌های دیگر گیاه را نشان می‌دهد (Niklas, 1994). این روابط در مقایسات درون‌گونه‌ای مبنایی برای به‌دست‌آوردن اطلاعات از وضعیت رشدونمو گیاهان هستند (پوررضا و همکاران، ۱۳۸٦؛ راحمی و همکاران، ۱۳۹٤). مقایسه‌های سریع فنوتیپ‌ها در یک مرحله نموی نمی‌تواند تصویر درستی از پاسخ‌های پیچیده رشد پوشش گیاهی به رژیم‌های مختلف مدیریتی بدهد (Wright and Mcconnaughay, 2002)، درحالی‌که تجزیه و تحلیل آلومتریک

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

در مدت طولانی‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرد تا مشخص شود که چگونه شکل یک اندام در اثر رشد گیاه تغییر می‌کند (Gould, 1966). تحلیل‌های آلومتری می‌توانند یک روش مؤثر در تشخیص تفاوت‌های میان ارقام از نظر درک اهمیت نسبت اندازه به تعداد شاخه در کشت هوازی محسوب شوند (Van Loo, 1992).

جذب تابش در گیاه برنج در حصول عملکرد بالا در سیستم هوازی به‌مراتب اهمیت بیشتری نسبت به کشت غرقابی متداول دارد (Okami *et al*., 2011). برگ‌ها اندام‌های اصلی برای جذب تابش و فتوسنتز هستند و شاخص سطح برگ نشان‌دهنده ظرفیت تولید ماده خشک در گیاه، یا به عبارتی سرمایه‌گذاری برای تولید است. بعلاوه سطح برگ یکی از مهم‌ترین متغیرهایی است که در مدل‌سازی و مطالعات فیزیولوژیک و اکولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد (زینلی، ۱۳۹۲؛ Akramghaderi, 2003). شاخص سطح برگ یک متغیر ضروری در مدل‌های مبتنی بر سازوکار رشد گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تولید زیست توده و عملکرد محسوب می‌شود (Soltani and Sinclair, 2012). برآورد سطح برگ می‌تواند با استفاده از صفاتی که اندازه‌گیری آن‌ها ساده‌تر و مقرون به صرفه‌تر بوده و به ابزار کمتری نیاز داشته باشد (مانند وزن خشک برگ، وزن خشک اندام‌های رویشی، ارتفاع بوته و تعداد برگ‌ها) انجام شود (زینلی و همکاران، ۱۳۹۵؛ بخشنده و همکاران، ۱۳۹۰). Yoshida و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که در ارقام برنج رابطه آلومتریک واضح و ثابتی بین شاخص سطح برگ و رشد اندام‌های هوایی وجود دارد. Okami و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی روابط آلومتریک بین اندازه و تعداد برگ‌ها در ارقام برنج در سیستم هوازی دریافتند که نسبت اندازه اندام هوایی به تعداد آن‌ها، نقش مهمی در پاسخ رشد برگ در شرایط خاکی و آبی دارد. آن‌ها گزارش کردند که تیپ مطلوب در سیستم هوازی به‌طور قابل توجهی با سیستم غرقاب متفاوت است، به‌طوری‌که اندازه بزرگ‌تر اندام‌ها باعث افزایش رشد برگ می‌شود. سطح تک برگ و ارتفاع بوته در طول دوره رویشی می‌تواند ملاک انتخاب غیرمستقیم برای پایداری عملکرد در کشت هوازی مورد استفاده قرار گیرد. کشت هوازی در ایران اولین بار توسط مؤمنی (۱۳۹۲) گزارش شد که با مطالعه بر روی ٦١ ژنوتیپ هوازی برنج به بررسی امکان تغییر الگوی کشت غرقابی به کشت هوازی در مازندران پرداخت و بیان نمود که تعداد هشت ژنوتیپ هوازی و رقم ندا امکان کشت به‌صورت هوازی در مناطق مستعد کشت برنج را دارند. همچنین لیموچی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی ارقام هوازی در شرایط تنش و مطلوب در شمال خوزستان، رقم متحمل وندانا را بسیار متحمل ارزیابی کردند. حجازی و همکاران (۱۳۹۸) با مطالعه کارآیی روش‌های مدیریت علف‌های هرز در دو سیستم کشت هوازی و غرقابی دریافتند ژنوتیپ هوازی در سیستم کشت هوازی از نظر عملکرد نسبت به ارقام ایرانی برتری داشت.

اهداف این تحقیق الف- بررسی روند تغییرات و کمی‌سازی شاخص‌های مهم رشد از جمله شاخص سطح برگ و روند تغییرات تجمع ماده خشک، ب- روابط آلومتریک بین ارتفاع بوته و وزن خشک اندام‌های رویشی با تغییرات سطح برگ در سه روش غرقابی، هوازی و هوازی در شرایط تنش خشکی، تعیین پارامترها، ضرایب آلومتریک، برآورد سطح برگ و مقایسه ژنوتیپ‌های برنج از نظر تغییرات در این پارامترها بود که نتایج و پارامترهای حاصل از این پژوهش می‌تواند در مدل‌سازی گیاه برنج کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال ۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان واقع در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤٩ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی با ارتفاع ٢٤ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش در سه روش غرقابی، هوازی با آبیاری کامل و هوازی با کمبود آب خاک روی پنج ژنوتیپ برنج در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاصله مزرعه غرقاب و هوازی حدود ۷۰۰ متر بود (جدول ۱).

مواد گیاهی شامل ژنوتیپ‌های هوازی، غرقاب و آپلند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مزرعه هوازی و غرقابی

	بافت خاک	رس	سیلت	شن	N (%)	P_2O_5 (mg/kg)	K (mg/kg)	pH	EC (dS/m)	OC (%)
غرقابی	رسی	٦٦	٢١	١٣	٠/١٦	١٦/٧	١٦٣	٦/٥	٠/٨٩	١/٠٨
هوازی	رسی	٦٩	٢٠	١١	٠/١٥	١٢/١	١٣٥	٦/٩	٠/٩٦	١/٠٣

جدول ۲- شجره، نام اختصاری، مبدأ و نوع سازگاری ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه

ژنوتیپ	سازگاری	نام اختصاری	مبدأ
VANDANA	Aerobic	AR1	India
IR 78875-176-B-1-B	Aerobic	AR4	IRRI
IR 80508-B-194-4-B	Aerobic	AR6	IRRI
IR 83141-11	Upland	UR2	IRRI
NEDA	Lowland	LR1	Iran (Improved)

بودند (جدول ۲). ژنوتیپ‌های غرقاب به‌طور متداول و با آبیاری غرقابی و به‌صورت نشایی کشت شدند. ژنوتیپ‌های آپلند در زمین‌های کم حاصلخیز به‌صورت خشکه‌کاری کشت شده و غیر از آب باران از آبیاری دیگری برای آن‌ها استفاده نمی‌شود. دارای سیستم ریشه‌ای قوی و مقاوم به خشکی هستند. ژنوتیپ‌های هوازی از تلاقی این دو دسته به وجود آمده‌اند و به‌صورت خشکه‌کاری با آبیاری تکمیلی غیرغرقاب کشت می‌شوند. ژنوتیپ‌های برنج مورد مطالعه حاصل از بررسی اولیه در آزمایش‌های اولیه براساس صفات آستانه‌های گسترش سطح برگ، تعرق و صفات ریشه‌ای انتخاب شدند.

در روش هوازی، شخم اولیه در اسفند و شخم دوم در فروردین با گاوآهن برگردان‌دار تیلری انجام شد. از روتیواتور تیلری برای آماده‌سازی بستر کاشت و خردکردن کلوخه‌ها در اول اردیبهشت استفاده شد. کشت هوازی در هر دو شرایط آبیاری کامل و کمبود آب در تاریخ نهم اردیبهشت ۱۳۹۵ انجام شد. بذرها ابتدا به‌مدت ٢٤ ساعت هیدروپرایم شده و سپس خشکانده و کشت شدند. کشت به‌صورت ردیفی انجام شد. در هر ردیف چهار برابر بذر مورد نیاز برای هر خط کاشت کشت و پس از سبزشدن گیاهچه‌ها تنک‌کردن آنها برای رسیدن به فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. هر بلوک شامل پنج ژنوتیپ و هر کرت دارای هشت ردیف به طول پنج متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ و روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر بود (مؤمنی، ۱۳۹۲). آماده‌سازی و کشت در سیستم غرقابی به‌صورت متداول انجام شد و پس از آماده‌سازی زمین و پرورش گیاهچه‌ها در خزانه به‌مدت ۲۷ روز، انتقال و نشاکاری گیاهچه‌ها به زمین اصلی انجام شد. بذرپاشی در خزانه هم‌زمان با کشت هوازی انجام شد. فواصل نشاکاری مشابه روش هوازی و به‌صورت تک نشا انجام شد. آبیاری در روش هوازی به‌صورت قطره‌ای انجام شد، به‌صورتی‌که یک لوله اصلی در بالای بلوک‌ها نصب شد و تیپ‌های متصل به آن به‌صورت عمود بر بلوک‌ها و به فاصله ٦٠ سانتی‌متر از هم قرار داده شدند. سیستم آبیاری در روش هوازی بدون تنش و تنش به‌صورت جداگانه تعبیه شد. آبیاری در شرایط بدون تنش به‌صورت کامل، بسته به شرایط جوی هر دو تا سه روز یک‌بار انجام شد و رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی حفظ شد. در شرایط تنش نیز تا ٥٥ روز پس از کاشت آبیاری همانند شرایط بدون تنش ادامه داشت و از روز ٥٥ در مرحله‌ای که گیاهان در مرحله پنجه‌زنی بودند، به‌مدت ۱۸ روز تحت تنش کم‌آبی قرار گرفت. اعمال تنش در این مرحله، امکان سنجش قابلیت تطابق گیاه در شرایط کاهش میزان آب خاک در حد آستانه‌های کاهش گسترش سطح برگ را فراهم می‌کند. این آستانه‌ها در آزمایشات اولیه گلدانی محاسبه شدند. نمونه خاک به اندازه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

یک گلدان با ظرفیت حدود یک کیلوگرم خاک از خاک سطحی مزرعه برداشته شد. آب به‌صورت تدریجی به خاک گلدان اضافه شد تا به حالت اشباع برسد. سپس خاک گلدان هر شش ساعت وزن گردید با ثابت‌شدن وزن آن، نقطه ظرفیت زراعی تعیین گردید (Miller and Donahue, 1990; سلطانی و فرجی، ۱۳۸٦) سپس خاک گلدان در آون قرار داده و کاملاً خشک و وزن آن ثبت شد. اختلاف وزن خاک خشک و خاک در نقطه ظرفیت زراعی به‌عنوان مقدار آب برای رسیدن خاک مزرعه به ظرفیت زراعی در مقدار خاک مشخص ثبت و کاهش ۳۰ درصد از آن (۷۰ درصد ظرفیت زراعی) به‌عنوان محدوده تنش در نظر گرفته شد. برای پایش آب مزرعه در مدت هجده روزه تنش، هر دو روز یک‌بار نمونه‌برداری با سیلندر از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری انجام و براساس تناسب، مقدار رطوبت تعیین و با رسیدن به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری مجدد انجام شد. در طی این مدت، بارندگی در محل اجرای آزمایش صفر بود. پس از این دوره، آبیاری به‌صورت کامل برای شرایط تنش نیز انجام شد. کود مورد نیاز برای هر روش کاشت براساس نتایج آزمون خاک و از منبع اوره و سوپرفسفات تریپل به‌صورت پایه و سرک در هر سه روش استفاده شد. کود سرک نیتروژن در سه نوبت بعد از حذف علف‌های هرز در مراحل شروع پنجه‌زنی، اواسط پنجه‌زنی و طویل‌شدن ساقه به‌صورت نواری در کنار بوته‌ها قرار داده شد و سپس آبیاری صورت گرفت. در هر سه روش مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و استفاده از علف‌کش‌های پروپانیل و بازاگران پس از رویش در مرحله پنجه‌زنی انجام شد. صفات و شاخص‌های گیاهی مورد بررسی شامل سطح برگ، ارتفاع بوته، تعداد برگ‌ها در ساقه اصلی و پنجه‌ها، تعداد پنجه‌ها، وزن خشک بوته بودند. نمونه‌برداری در هر دو روش کشت از ابتدای فصل (برای کشت هوازی پس از سبزشدن و در کشت غرقابی پس از سبزشدن در خزانه) هر ۱۰ روز یک‌بار و از ردیف‌های غیرحاشیه انجام شد و کلیه صفات روی پنج بوته که به تصادف از هر کرت انتخاب شدند، ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ رومیزی (Delta-T devices, UK) استفاده شد. برای ثبت صفت ماده خشک، نمونه‌های گیاهی در آون در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشکانده شده و پس از رسیدن به وزن ثابت، توزین شدند.

برای توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ از مدل بتا استفاده شد (درخشان و همکاران، ۱۳۹٤).

رابطه (۱)

$$y=Lmax\left[\left(\frac{te-t}{te-tm}\right)\left(\frac{t-tb}{tm-tb}\right)^{\frac{tm-tb}{te-tb}}\right]^{c}$$

t: زمان (روز پس از بذرپاشی در خزانه در سیستم غرقابی و روز پس از کشت مستقیم بذر در روش هوازی)، y: شاخص سطح برگ، Lmax: حداکثر شاخص سطح برگ، tb: زمان شروع رشد، tm: زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ، te: زمان پایان رشد برگ و c: ضریب ثابت مدل هستند.

برای توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک در طول دوره رشد از مدل بتا استفاده شد (درخشان و همکاران، ۱۳۹٤).

رابطه (۲)

$$w=wmax\left(1+\frac{te-t}{te-tm}\right)\left(\frac{t}{te}\right)^{\frac{te}{te-tm}}$$

t: زمان (روز پس از کاشت)، w: ماده خشک تجمعی، wmax: حداکثر تجمع ماده خشک، tm: زمان وقوع حداکثر سرعت رشد محصول و te: زمان وقوع حداکثر تجمع ماده خشک هستند. براساس پارامترهای بدست‌آمده، حداکثر سرعت رشد محصول (Maximum CGR (cm)) براساس رابطه زیر محاسبه شد. cm حداکثر رشد محصول در فاز خطی است و واحد آن گرم در متر مربع در روز است (غدیریان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Yin *et al.*, 2003).

رابطه (۳)

$$cm=\left(\frac{2te-tm}{te(te-tm)}\right)\left(\frac{tm}{te}\right)^{\frac{tm}{te-tm}}wmax$$

برای تعیین روابط آلومتریک بین ارتفاع بوته و سطح برگ، داده‌ها در هر روش (غرقابی، هوازی و هوازی با تنش خشکی) در هر ژنوتیپ پلات شدند. براساس پراکنش داده‌ها که به‌طور تقریبی به شکل نمایی بودند، مدل نمایی و مدل دوتکه‌ای به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

آنها برازش شد. به‌دلیل ضریب تبیین (R^2) بالاتر و همچنین جذر میانگین مربعات (RMSE) پایین‌تر و پارامترهای مفید که از مدل دوتکه‌ای حاصل می‌شود، مدل نمایی حذف و تفسیرها براساس مدل دوتکه‌ای انجام شد (بخشنده و همکاران، ۱۳۹۰).

رابطه (٤)

$$Y = aX^b$$
$$\ln y = \ln a + b\ln x$$
$$y = X^b$$

رابطه (۵)

$$y = b_1X \quad \text{if} \quad X \le X_0$$
$$y = b_1X_0 + b_2(X - X_0) \quad \text{if} \quad X > X_0$$

در هر روش کاشت، داده‌های ژنوتیپ‌ها ادغام و ضرایب آلومتریک برای هر روش به‌طور جداگانه به‌دست آمد. برای تعیین ضریب آلومتریک بین وزن خشک اندام‌های رویشی گیاه تا مرحله گلدهی، از مدل دوتکه‌ای طبق روند تغییرات مذکور استفاده شد. برای برازش داده‌ها از نرم‌افزارهای sigma plot به روش مطلوب‌سازی تکراری و Excel با استفاده از رویه Solver استفاده شد (اشراقی‌نژاد، ۱۳۸۹). جهت تجزیه همبستگی از رویه Corr در نرم‌افزار SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مشاهده‌شده نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی و سه روش کشت در صفات ماده خشک، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه بود. مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین صفات در جدول ۳ ارئه شده است.

شاخص سطح برگ: نتایج برازش مدل بتا به داده‌های سطح برگ در برابر زمان (روز پس از کاشت) نشان داد که مقدار بیشینه شاخص سطح برگ در روش‌های مختلف کشت متفاوت بود (جدول ٤). براساس پیش‌بینی مدل بتا در شرایط غرقابی، بیشینه شاخص سطح برگ از ۲/۹۸ در ژنوتیپ AR4 تا ۳/۹۲ در AR6 متغیر بود. اجزای سطح برگ که شامل سطح تک برگ و تعداد برگ‌ها است در این دو ژنوتیپ کاملاً برخلاف هم بود، به‌طوری‌که AR4 دارای برگ‌های کوچک‌تر و تعداد برگ و پنجه بیشتر بود و AR6 دارای برگ‌های گسترده‌تر و تعداد پنجه و برگ کمتر بود (داده‌ها ارائه نشده‌اند). نتایج دو آزمایش نشان داد که در شرایط هوازی (Okami *et al*., 2014) و تنش خشکی پیش‌رونده (Farooq *et al*., 2010) ژنوتیپ‌های دارای سطح تک برگ بیشتر، دارای سرعت گسترش سطح برگ کل و عملکرد مطلوب‌تری بودند. در شرایط هوازی و هوازی با تنش خشکی، میانگین شاخص سطح برگ نسبت به شرایط غرقابی به‌ترتیب ۱۵/۸٦ و ۳٤/۳۲ درصد کاهش نشان داد. Okami و همکاران (۲۰۱۲ و ۲۰۱٤) گزارش دادند که ارقام هوازی و غرقابی برنج در شرایط غرقابی دارای شاخص سطح برگ بالاتری بودند، به‌طوری‌که در ارقام غرقابی در شرایط هوازی تا ۵۰ درصد کاهش سطح برگ مشاهده شد. در شرایط هوازی و تنش خشکی بیشترین کاهش سطح برگ مربوط به رقم ندا بود. این رقم با وجود نشان‌دادن تحمل بالا در آزمایشات اولیه و صفات ریشه‌ای مناسب (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹٦)، نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کاهش بیشتری در شاخص سطح برگ نشان داد. این نتیجه می‌تواند برتری ارقام هوازی و آپلند را در حفظ شاخص سطح برگ و درنتیجه عملکرد در شرایط هوازی و تنش تأیید کند. Okami و همکاران (۲۰۱٤) با ارزیابی روابط آلومتریک در ژنوتیپ‌های هوازی و غرقابی برنج گزارش کردند که در شرایط هوازی، عملکرد بالا به شاخص سطح برگ بالا، نسبت وزن برگ به زیست‌توده کل و اندازه بزرگ‌تر برگ مرتبط است. همچنین Yoshida و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه روی نه ژنوتیپ برنج گزارش کردند رابطه آلومتریک نسبتاً پایداری بین سطح برگ و عملکرد زیست‌توده برقرار است. از این روابط رشد شناختی (Ontogeny) می‌توان به‌عنوان اجزای مدل استفاده کرد (Reddy *et al*., 1998). در شرایط غرقابی سطح زیرمنحنی (شکل ۱) نیز بیش از شرایط هوازی و تنش بود که نشان‌دهنده دوام بیشتر سطح برگ در این شرایط است. براساس گزارش مهدوی و همکاران (۱۳۸٤) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین دوام سطح برگ و عملکرد ارقام برنج وجود داشت. ژنوتیپ‌های AR6 و وندانا در شرایط غرقابی و هوازی دارای سطح زیرمنحنی و دوام سطح برگ بیشتر و افت عملکرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات ماده خشک، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه و مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه صفات

		ماده خشک ($g.m^{-2}$)	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد دانه ($kg.h^{-2}$)
F	ژنوتیپ	۱۹/۹۹**	۲۱/٦٥**	۱۸۹/٦۳**	۱٥/٦۲**
	روش کشت	۲٦/۹۸**	۳۳/۲۱**	۸۸۰/٦۸**	۱۸۹/٦۱**
	ژنوتیپ × روش کشت	ns ۲/۱۹	۲/٤٤*	۳۹/۷٤**	٤/۸۳**
	میانگین	۱۰۷۸/۲۷	۲/۹٦	۸۸/۳۸	٤۰۰٤/٤۸
	کمینه	۸٤۲/۲۱	۲/۰۱	٤٦/۳۲	۱٦۰۲/۱
	بیشینه	۱٤۳۲/۷۱	٤/٥۱	۱٤۱/۸	۷۱۱۳/۲
	ضریب تغییرات	٦/۸	۹/۰۹	۳/۳٤	۱۰/٤٥

داده‌های مورد تجزیه مربوط به نمونه‌برداری روز صدم پس از کاشت است.

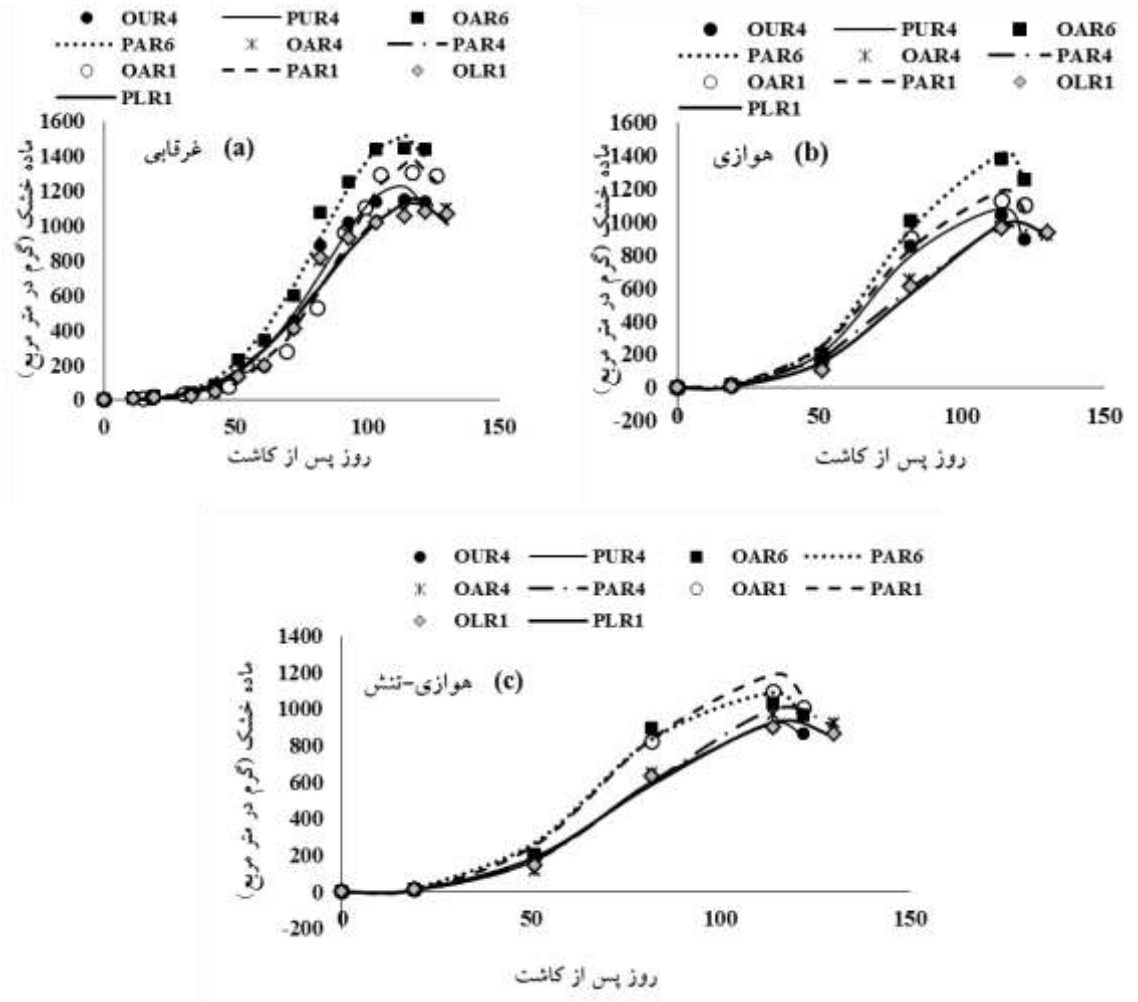
جدول ٤- پارامترهای به‌دست آمده از برازش مدل بتا به داده‌های شاخص سطح برگ در برابر زمان (روز پس از کاشت) در ژنوتیپ‌های برنج در سه روش کشت غرقابی، هوازی و هوازی با تنش خشکی. LAI_{max}: بیشینه شاخص سطح برگ، tb: زمان شروع رشد برگ، tm: زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ، te: زمان پایان رشد برگ و c: ضریب ثابت مدل هستند.

	ژنوتیپ‌های برنج	LAI_{max}	tb	tm	te	c	RMSE	R^2
غرقابی	ندا	۳/۳٥	۳/۱٤	۹٥/٦۸	۱٤۷/۲٤	٤/۱۰	۰/٥۱۳	۰/۸۹
	وندانا	۳/۰۷	۱٤/٤٦	۱۰۰/۲۰	۱٤۷/۱۳	۳/۳۹	۰/۰۷۱	۰/۹۸
	AR4	۲/۹۸	٥/٦۹	۱۰٤/٥٤	۱٤۸/۳٤	۳/۸۱	۰/۱۱۲	۰/۹۷
	AR6	۳/۹۲	۳/۱۳	۹۰/٦۲	۱٤۷/۸٥	٤/۱٦	۰/۱٤	۰/۹۹
	UR2	۳/۲	۳/۱۱	۱۰۰/۷۹	۱٤۸/۸۰	۲/۷۸	۰/۱٦٦	۰/۹۸
هوازی	ندا	۲/۲۷	۰/٥۸	۹۳/۹۱	۱٤۷/۸۲	٤/۰٥	۰/۹۱	۰/۹۷
	وندانا	۲/۹۱	۸/۸٤	۹۸/۰۱	۱٤٦/٤۹	۳/٦۷	۰/۰۸۲	۰/۹۷
	AR4	۲/۰٥	۱۱/۹٥	۹٦/٥۲	۱٤۹/٦۱	۳/۸۳	۰/۱۰۷	۰/۹۸
	AR6	۳/٥۸	۰	۹۸/۰۸	۱٤۳/۲۰	٤/٦٤	۰/۲٦۱	۰/۹٤
	UR2	۲/٦	۰/٦۲	۱۰۷/۱٥	۱٤۸/۸	۳/۲	۰/۱٦۷	۰/۹٥
هوازی- تنش خشکی	ندا	۱/۹۸	۰	۱۰۰/۲۲	۱٥۱/۳۱	۳/۸۸	۰/۱۲۱	۰/۹٦
	وندانا	۲/٤٥	۰	۹۷/۱۱	۱٤٦/٦۲	۳/۹۹	۰/۰۸۹	۰/۹۸
	AR4	۱/۰۸	۰	۱۰۸/۷۱	۱٥۱/۳۲	۳/٦۱	۰/۰۸۰	۰/۹۷
	AR6	۳/۰۳	۰	۱۰۲/۷٦	۱٦۱/٥۷	۳/٤۸	۰/۱٤۲	۰/۹۳
	UR2	۱/۳۲	۱۰/٦۰	۱۳۷/٦٥	۱٤٦/۰٦	۲/٦۷	۰/۱۲٦	۰/۹۷

کمتر (به‌ترتیب ۳۷/۷۲ و ۱۹/۰۹ درصد) در روش هوازی نسبت به روش غرقابی بودند. زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ (tm) در شرایط غرقابی طولانی‌تر از شرایط هوازی بود که به‌نظر می‌رسد شوک نشاکاری گیاهچه‌ها باعث تعویق چند روزه در روند گسترش برگ شده باشد. این تأخیر در شرایط تنش نیز دیده شد که می‌توان آن را به تنش کمبود آب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]



شکل ۱- مدل بتا برازش‌شده بر روند شاخص سطح برگ ژنوتیپ‌های برنج در برابر زمان. نقاط نشان‌دهنده مقادیر مشاهده‌شده و خطوط نشان‌دهنده مقدار پیش‌بینی شده هستند. در راهنمای سمت راست علامت اختصاری ژنوتیپ‌ها و شکل و خطوط مربوط به هرکدام مشخص شده است. در ابتدای اسم اختصاری O به معنی مشاهده‌شده (Observed) و P به معنی پیش‌بینی شده (Predicted) است. الف: شرایط غرقابی، ب: شرایط هوازی و ج: شرایط هوازی با تنش خشکی است.

مرتبط دانست.

روند تغییرات ماده خشک: نتایج برازش مدل بتا (رابطه ۲) در جدول ۵ و شکل ۲ نشان داده شده است. میزان بیشینه ماده خشک (Wmax) در شرایط غرقابی در کلیه ژنوتیپ‌ها بیشتر از شرایط هوازی بود. میزان بیشینه ماده خشک در شرایط هوازی و تنش خشکی به‌ترتیب ۹/۸۹ و ۱۹/۰۴ درصد کاهش نشان دادند. کمترین کاهش ماده خشک مربوط به ژنوتیپ AR6 و بیشترین کاهش مربوط به رقم وندانا بود. میانگین زمان رسیدن به بیشینه ماده خشک (tm) و زمان رسیدن به حداکثر سرعت رشد محصول در کشت هوازی و تنش خشکی، زودتر از کشت غرقاب رخ داد. به‌نظر می‌رسد که این برتری در کشت هوازی به بیشتربودن سرعت رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ مرتبط است. مقدار بیشینه ماده خشک در ژنوتیپ AR6 در هر سه روش کشت، از سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود و در شرایط هوازی به حدود ۱/۵ برابر بعضی ژنوتیپ‌ها رسید. تولید ماده خشک بالا در این ژنوتیپ به بهینه‌بودن شاخص سطح برگ مرتبط است. بالابودن شاخص سطح برگ و توان تولید زیست‌توده از شاخص‌های پتانسیل عملکرد مطلوب در برنج است (Peng *et al*., 2008; Okami *et al*., 2014).

تفاوت سیستم‌های کشت از نظر حداکثر سرعت رشد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

جدول ۵- پارامترهای حاصل از برازش مدل بتا به داده‌های ماده خشک در برابر زمان (روز پس از کاشت) در ژنوتیپ‌های برنج در شرایط غرقابی، هوازی و هوازی با تنش خشکی

	ژنوتیپ‌های برنج	Wmax ($g.m^{-2}$)	te (day)	tm (day)	cm ($g.m^{-2}.d^{-1}$)	RMSE	R^2
غرقابی	ندا	۱۱۳۸/۴۰	۱۱۷/۵۱	۸۵/۰۲	۱۹/۱۷	۶۵/۷	۰/۹۶
	وندانا	۱۳۷۲/۷۷	۱۱۱/۹۱	۸۳/۶۵	۲۵/۷	۴۹/۴۵	۰/۹۸
	AR4	۱۱۶۳/۹۸	۱۱۷/۹۱	۸۵/۴۹	۱۹/۶	۶۲/۸	۰/۹۷
	AR6	۱۵۲۵/۳۱	۱۱۱/۹۳	۸۳/۰۹	۲۸/۱۹	۵۳/۶۲	۰/۹۸
	UR2	۱۲۳۰/۲۷	۱۱۱/۴۱	۸۴/۴۹	۲۳/۸۲	۶۳/۷۳	۰/۹۷
هوازی	ندا	۱۰۰۰/۹۳	۱۱۹/۲۵	۸۴/۷۸	۱۶/۱۷	۲۷/۹	۰/۹۸
	وندانا	۱۲۰۷/۵۸	۱۰۹/۴۴	۷۷/۰۴	۲۰/۹۶	۴۶/۳	۰/۹۷
	AR4	۱۰۰۶/۷۲	۱۱۷/۶۴	۸۲/۶۸	۱۶/۲۲	۳۳/۷	۰/۹۶
	AR6	۱۴۳۸/۶۴	۱۰۹/۲۹	۷۹/۵۵	۲۶/۳۱	۳۴/۷	۰/۹۸
	UR2	۱۱۴۰/۲۴	۱۰۶/۵۰	۷۷/۸۹	۲۱/۵۷	۴۳/۴۶	۰/۹۵
هوازی- تنش خشکی	ندا	۹۳۲/۶۹	۱۱۷/۴۳	۷۹/۸۲	۱۴/۴۳	۲۷/۸۴	۰/۹۸
	وندانا	۱۲۰۷/۵۸	۱۰۹/۴۴	۷۷/۰۴	۲۰/۹۶	۵۳/۳۸	۰/۹۵
	AR4	۱۰۰۶/۷۲	۱۱۷/۶۴	۸۲/۶۸	۱۶/۲۲	۳۳/۷	۰/۹۶
	AR6	۱۱۳۲/۴۸	۱۰۶/۶۹	۷۴/۳۰	۲۲/۸۷	۴۴/۸۶	۰/۹۷
	UR2	۹۲۶/۶۵	۱۱۱/۴۷	۷۹/۶۴	۱۶/۱۳	۱۸/۲۶	۰/۹۸

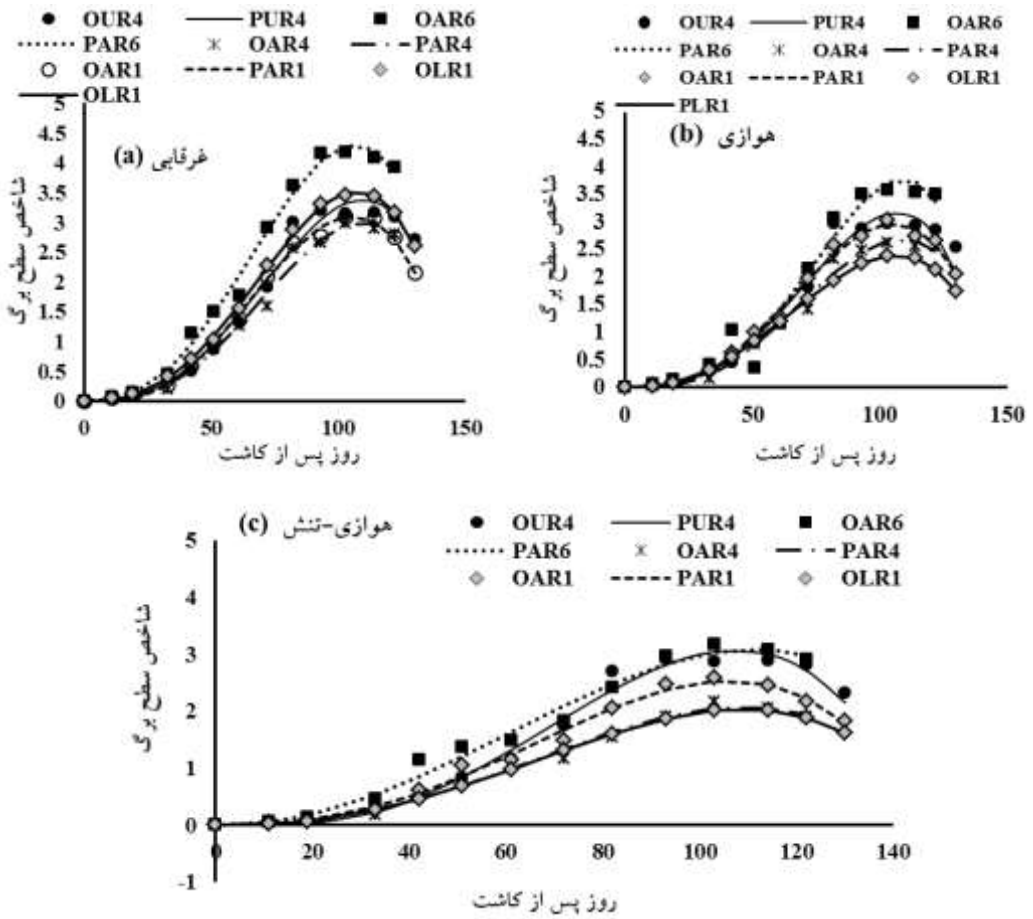
محصول در مرحله رشد خطی (cm) قابل توجه بود، به‌طوری‌که میانگین cm در شرایط غرقاب بیشتر از شرایط هوازی و تنش بود. این برتری با توجه به شوک نشاکاری در حدود ۳۰ تا ۴۰ روزگی و بروز آن در شروع دوره مؤثر رشد برگ‌ها در شرایط غرقاب قابل تأمل است. به‌نظر می‌رسد که با وجود زوال برگ‌های اولیه که معمولاً در کشت غرقابی (نشاکاری) اتفاق می‌افتد و گیاه دچار کاهش رشد به‌مدت هفت تا ده روز می‌شود، اما پس از طی‌شدن این مرحله، سرعت رشد به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. تفاوت بین ژنوتیپ‌ها نیز از نظر شاخص cm مشاهده شد، به‌طوری‌که ژنوتیپ AR6 با حداکثر رشد معادل ۲۸/۱۹ گرم در مترمربع در روز دارای بیشترین مقدار در شرایط غرقابی بود. این برتری در شرایط هوازی و تنش حفظ شد. هر چند رقم وندانا دارای سرعت رشد بالایی نبود، اما دارای روند مشابه AR6 در روش‌های مختلف کشت بود. درخشان و همکاران (۱۳۹۴) در روش کشت مستقیم برنج رقم شیرودی، میزان cm در شرایط مطلوب را ۲۲/۰۳ تا ۲۳/۹۸ گرم در مترمربع در روز گزارش کردند.

تجزیه همبستگی بین داده‌های مشاهده‌شده ماده خشک، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته با عملکرد دانه در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج تجزیه همبستگی نشان داد تمام صفات با هم همبستگی مثبت و معنی‌دار دارند. این رابطه تنها بین عملکرد دانه و ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. بالاترین مقدار همبستگی مربوط به رابطه عملکرد و شاخص سطح برگ بود (r^2=۰/۸۱) که نشان‌دهنده ارتباط مثبت و بسیار قوی بین این دو صفت است. به‌دلیل همبستگی بالا بین عملکرد و LAI، از سطح برگ برای پیش‌بینی عملکرد در بسیاری از مطالعات استفاده شده است (Zhou *et al.*, 2017).

نتایج تجزیه همبستگی بین پارامترهای برآوردشده و عملکرد دانه (جدول ۷) نشان داد که رابطه همه پارامترهای مورد بررسی به غیر از tm مثبت و معنی‌دار بود. این رابطه نشان‌دهنده صحت پیش‌بینی‌های انجام‌شده و ارتباط آن‌ها با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]



شکل ۲- مدل بتا برازش‌شده بر روند ماده خشک ژنوتیپ‌های برنج در برابر زمان. نقاط نشان‌دهنده مقادیر مشاهده‌شده و خطوط نشان‌دهنده مقدار پیش‌بینی شده هستند. در راهنمای سمت راست علامت اختصاری ژنوتیپ‌ها و شکل و خطوط مربوط به هرکدام مشخص شده است. در ابتدای اسم اختصاری O به معنی مشاهده‌شده (Observed) و P به معنی پیش‌بینی شده (Predicted) است. الف: شرایط غرقابی، ب: شرایط هوازی و ج: شرایط هوازی با تنش خشکی است.

جدول ٦- نتایج تجزیه همبستگی بین صفات ماده خشک، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها و روش‌های مختلف کاشت. داده‌های مورد تجزیه مربوط به نمونه‌برداری روز صدم پس از کاشت است.

صفات	ماده خشک	شاخص سطح برگ	ارتفاع بوته	عملکرد دانه
ماده خشک	۱			
شاخص سطح برگ	۰/۷۸ ۰/۰۰۰۵	۱		
ارتفاع بوته	۰/۸۱ ۰/۰۰۰۳	۰/٦٥ ۰/۰۰۸۳	۱	
عملکرد دانه	۰/۷۰ ۰/۰۰۳۳	۰/۸۱ ۰/۰۰۰۲	۰/٤۲ ۰/۱۱٤٤	۱

عدد بالا مقدار ضریب همبستگی (r^2) و عدد پایین سطح احتمال است.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

جدول ۷- نتایج تجزیه همبستگی بین پارامترهای برآوردشده با استفاده از مدل‌های بتا با عملکرد دانه (GY). پارامترها شامل زمان رسیدن به بیشینه شاخص سطح برگ (tmLAI)، بیشینه شاخص سطح برگ (MaxLAI)، حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله رشد خطی (cm)، و بیشینه ماده خشک (Wmax) هستند.

صفات	tmLAI	MaxLAI	cm	Wmax	GY
tmLAI	۱				
MaxLAI	−۰/۵۰ ۰/۰۵۵	۱			
cm	−۰/۲۹ ۰/۲۸	۰/۸٤ <۰/۰۰۰۱	۱		
Wmax	−۰/٤٤ ۰/۰۹۵۵	۰/۸٤ <۰/۰۰۰۱	۰/۹۵ <۰/۰۰۰۱	۱	
GY	−۰/۳۵ ۰/۲	۰/۸۳ ۰/۰۰۰۱	۰/۷۲ ۰/۰۰۲۲	۰/۷٤ ۰/۰۰۱۵	۱

عدد بالا مقدار ضریب همبستگی (r^2) و عدد پایین سطح احتمال است.

عملکرد دانه است. ارتباط منفی عملکرد و tm نیز به این دلیل است که هر چه مدت رسیدن به بیشینه LAI بیشتر باشد، گیاه فرصت کمتری برای استفاده حداکثری از تابش و پتانسیل تولید ماده خشک خواهد داشت که درنتیجه منجر به کاهش عملکرد خواهد شد. این رابطه منفی بین tm و Wmax نیز وجود دارد. بین عملکرد دانه و cm نیز رابطه مثبت و معنی‌داری وجود داشت (r^2=۰/۷۲). این نتیجه با نتایج مهدوی و همکاران (۱۳۸٤) مطابقت دارد که گزارش کردند عملکرد دانه گیاه برنج با CGR رابطه مثبت و معنی‌داری داشت (r^2=۰/٤۵).

روابط آلومتریک: در چندین آزمایش برای توصیف روابط آلومتریک بین سطح برگ و سایر صفات رویشی از رابطه نمایی (رابطه ٤) در گیاهان مختلف مانند نخود (پوررضا و همکاران، ۱۳۸٦)، باقلا (راحمی و همکاران، ۱۳۹٤) و پنبه (Akramghaderi, 2003) استفاده شده است، اما در آزمایش‌های اخیر در برخی از غلات از جمله گندم (بخشنده و همکاران، ۱۳۹۰) و ذرت (زینلی و همکاران، ۱۳۹۵) از مدل رگرسیون دوتکه‌ای استفاده شده است. در آزمایش حاضر برای توصیف روابط آلومتریک براساس پراکنش نقاط و شاخص‌های آماری نظیر ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مدل دوتکه‌ای انتخاب شد. مدل دوتکه‌ای دارای پارامترهایی است که از جنبه فیزیولوژیک قابل تعریف بوده و اطلاعات مفیدتری را در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد؛ بنابراین برای توصیف هر دو رابطه آلومتریک مورد بررسی در این آزمایش از این مدل رگرسیونی استفاده شد.

رابطه آلومتریک بین سطح برگ و ارتفاع بوته: برای توصیف رابطه سطح برگ و ارتفاع بوته (سطح برگ به‌عنوان متغیر وابسته و ارتفاع بوته به‌عنوان متغیر مستقل) از برازش مدل رگرسیون دوتکه‌ای (رابطه‌های ٤ و ۵) سه پارامتر حاصل شد (جدول ۸). X_0: نقطه چرخش (نقطه عطف) تابع است و قبل و بعد از آن رابطه سطح برگ و ارتفاع بوته متفاوت است. b_1 نشان‌دهنده شیب خط قبل از نقطه چرخش و b_2 که شیب خط بعد از نقطه چرخش است. بنابراین به‌طور مثال در ژنوتیپ AR6 در شرایط غرقابی، تا رسیدن به ارتفاع بوته ٤۰/۷۸ سانتی‌متر به‌ازای هر واحد افزایش ارتفاع بوته ۲/۸۱ سانتی‌متر مربع در بوته به سطح برگ گیاه افزوده شد و پس از آن تا مرحله ظهور خوشه به‌ازای هر واحد افزایش ارتفاع بوته،۱۱/۹۷ سانتی‌متر مربع در بوته به سطح برگ گیاه افزوده شد. بنابراین شیب خط در دو بخش از تابع را می‌توان ضریب

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

جدول ۸- پارامترهای حاصل از برازش مدل دوتکه‌ای به داده‌های سطح برگ در برابر ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های برنج از زمان کاشت تا ظهور خوشه. X_0: نقطه چرخش تابع، b_1: شیب خط قبل از نقطه چرخش و b_2: شیب خط بعد از نقطه چرخش هستند.

	ژنوتیپ‌های برنج	X_0	b1	b2	RMSE	R^2
غرقابی	ندا	۳۱/۰۵	۳/۳۸	۱۷/۳٦	۱۱/۱۱	۰/۹۸
	وندانا	٤۵/۹۲	۲/٤۲	۹/۱	۱۰/۸۸	۰/۹٦
	AR4	٤۲/۲۸	۲/٤۱	۹/۳۹	۲٤/۱۲	۰/۹۸
	AR6	٤۰/۷۸	۲/۸۱	۱۱/۹۷	٤۸/۵۷	۰/۹٦
	UR2	۲٤/٤۸	٤/۲۹	۱۵/۷٦	۱۷/۷۹	۰/۹٦
	ادغام	۱۱/۳۷	۱/۵۸	۷/۱۲	۹۰/۳۲	۰/۸٤
هوازی	ندا	۲٦/٤۰	۲/۹۳	۱۳/۵۱	۲۱/۱۷	۰/۹٦
	وندانا	٤۵/۹۲	۲/٤۲	۹/۱	۱۰/۸۸	۰/۹۸
	AR4	٤۱/۰۷	۲/۵۷	۱۱/۱۵	۲۲/۲۳	۰/۹٦
	AR6	۷۸/٤۸	۳/۰٦	۱۵/٦۳	٤۰/۱۵	۰/۹٤
	UR2	۳۸/۷۸	٤/۳۱	۱۹/۳۲	۲۸/۰٤	۰/۹۵
	ادغام	۱۲/۸٤	۱/۵	٦/٤٤	۸۱/۹۵	۰/۸۳
هوازی- تنش خشکی	ندا	۲۷/۵	۲/۹٦	۱۵/٤٦	۱۷/۵۵	۰/۹۵
	وندانا	٤۱/۹٦	۲/۳۵	۹/۵۸	۲۵/۱٦	۰/۹۵
	AR4	۳۵/۹۷	۲/۷۱	۱۱/۵	٦/۷۹	۰/۹۷
	AR6	۷٤/٤۸	٤/۰٤	۱٦/۰۷	۲٤/۰۷	۰/۹٦
	UR2	۲۵/۱۱	۳/٦۹	۱٤/۰۹	۲۰/۳٤	۰/۹۷
	ادغام	۱۰/۳۸	۱/۲۹	٦/٤۲	٦۳/۲۹	۰/۸۳

آلومتریک بین ارتفاع بوته و سطح برگ نامید.

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، در هر سه روش کاشت و در همه ژنوتیپ‌ها، شیب خط پس از نقطه چرخش چند برابر بیشتر از قبل از نقطه چرخش است. این افزایش شیب می‌تواند به تولید پنجه مرتبط باشد که از این مرحله تعداد پنجه‌ها افزایش یافته و توان تولید زیست‌توده و تولید برگ بیشتر می‌شود. نکته دیگر تفاوت ژنوتیپ‌ها در میزان شیب اولیه است. مسلماً بالاتربودن شیب اولیه به قدرت استقرار اولیه ژنوتیپ‌ها مرتبط است. در مورد تفاوت ژنوتیپ‌ها در قدرت استقرار اولیه در شرایط غرقاب با توجه به شیب اولیه ژنوتیپ UR2 و رقم ندا دارای بیشترین توان تولید سطح برگ بودند، اما در شرایط هوازی و تنش خشکی ژنوتیپ AR6 و UR2 برتری داشتند. دلیل برتری رقم ندا و ژنوتیپ UR2 به دلیل تعداد پنجه بیشتر و ژنوتیپ AR6 به‌دلیل برگ‌های بسیار گسترده بود. نکته قابل توجه در مورد ژنوتیپ AR6 توان بیشتر تولید برگ به‌ازای ارتفاع بوته در شرایط هوازی نسبت به شرایط غرقابی و همچنین نقطه چرخش بالا در شرایط هوازی و تنش خشکی است. این موضوع می‌تواند مؤید قدرت استقرار مطلوب این ژنوتیپ در شرایط هوازی باشد، زیرا گیاه قبل از شروع مؤثر تولید برگ به ارتفاع مطلوبی رسیده و در طول دوره رشد نیز قدرت تولید برگ بالایی نشان می‌دهد.

با توجه به ثابت‌بودن رابطه سطح برگ و ارتفاع بوته در سه روش کشت و پنج ژنوتیپ و همچنین جذر میانگین مربعات پایین و ضریب تبیین بالا می‌توان از مدل رگرسیون دوتکه‌ای برای برآورد سطح برگ از ارتفاع بوته در برنج استفاده نمود.

رابطه آلومتریک بین سطح برگ و وزن خشک اندام‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

جدول ۹- پارامترهای مدل دوتکه‌ای برازش‌شده به داده‌های سطح برگ ژنوتیپ‌های برنج در برابر وزن خشک اندام‌های رویشی. X0: نقطه چرخش تابع، b_1: شیب خط قبل از نقطه چرخش و b_2: شیب خط بعد از نقطه چرخش هستند.

	ژنوتیپ‌های برنج	X_0	b1	b2	RMSE	R^2
غرقابی	ندا	۰/٤٥٣	٢٣٤/٨١	٥٥/٨٩	١١/١٩	۰/٩٥
	وندانا	١/١٦٣	٩٠/٤٢	٣٨/٧٩	١/٧٨	۰/٩٧
	AR4	۰/٧٣١	١٤٠/١٥	٤٤/٩٢	٦/٠٦	۰/٩٧
	AR6	١/٦٨١	١٣٦/٢٠	٢٣/٨٠	٦/٦٥	۰/٩٦
	UR2	۰/٤٦٧	١٥٧/٢٠	٥٤/٠١	١٣/٢٤	۰/٩٤
	ادغام	١/٠٤٩	١٣٩/١٨	٣٥/٨		
هوازی	ندا	۰/٩٣٦	١٤٣/١٢	٢٤/٠٧٦	١٠/١٣	۰/٩٦
	وندانا	١/٧٨٥	٨٥/٦١	٢٢/٢٧٦	٩/٤٣	۰/٩٥
	AR4	۰/٨٢٦	١٣٥/٣٧	٢٨/٨٠٦	٦/٢٢	۰/٩٤
	AR6	۰/٨١	٩٩/٦٠	٢٧/٧٢١	٥/١٤	۰/٩٣
	UR2	٢/٤١٦	٦١/٢١	٣٠/٢٩٦	١٤/١٨	۰/٨٩
	ادغام	١/٣٧١	٩٣/٥٧	٢٦/٣١٥		
هوازی- تنش خشکی	ندا	۰/٨٦٧	١٥٦/٨٤	٢٠/٤٨	٦/٢٧	۰/٩٧
	وندانا	١/٩٣٤	٩١/٥٩	١٥/٨١	٩/٥٩	۰/٩٥
	AR4	١/٢٨٩	١١٤/٨١	١٥/٤٩	٧/٣٧	۰/٩٦
	AR6	٢/٤٠٢	١٠١/٣٢	١٥/٢٣	٤/٢٦	۰/٩٧
	UR2	٢/١٧٧	٦٢/٤٢	٣٨/٤٥	١٦/١٧	۰/٩٣
	ادغام	٢/٦١٤	٧٥/٢٨٩	١٩/١٠		

رویشی: پارامترهای حاصل از توصیف رابطه آلومتریک بین سطح برگ و وزن خشک اندام‌های رویشی (برگ و ساقه) تا قبل از ظهور خوشه در جدول ۹ ارائه شده است. برای این رابطه نیز از مدل رگرسیون دوتکه‌ای (رابطه ۵) استفاده شد. در این مدل رگرسیونی X_0 نقطه چرخش تابع و نقطه‌ای از وزن خشک است که قبل و بعد از آن ضریب آلومتریک متفاوت است. b1 و b2 به‌ترتیب شیب خط قبل و بعد از نقطه چرخش هستند و میزان افزایش سطح برگ به‌ازای هر واحد افزایش ماده خشک را نشان می‌دهند. برای مثال در رقم وندانا در شرایط غرقابی، از زمان سبزشدن تا رسیدن میزان ماده خشک به ۱/۷۸ گرم در بوته، به‌ازای هر گرم افزایش وزن خشک بوته، ۸۵/٦١ سانتی‌متر مربع در بوته به سطح برگ گیاه افزوده شد و پس از آن این تغییرات به ۲۲/۲۷ مترمربع در بوته کاهش یافت. در این رابطه برخلاف رابطه سطح برگ و ارتفاع بوته، شیب خط در مرحله اول (b1) بیشتر از شیب خط در مرحله دوم (b2) بود (بسته به ژنوتیپ‌ها و روش کشت، دو تا هشت برابر). نقطه چرخش تابع در بیشتر ژنوتیپ‌ها مصادف با اواسط تا اواخر پنجه‌زنی بود. این موضوع را می‌توان به تسهیم مواد فتوسنتزی و ضرایب تخصیص در غلات، به‌ویژه گیاه برنج، مرتبط دانست (احمدامینی و همکاران، ۱۳۹۰). به‌طوری‌که در مراحل اولیه رشد و پنجه‌زنی، تولید برگ افزایش یافته و بیشترین سهم مواد فتوسنتزی به برگ‌ها اختصاص می‌یابد، به‌طوری‌که ٦١/٢١ تا ٢٣٤/٨١ سانتی‌متر مربع در بوته به‌ازای یک گرم وزن خشک در بوته افزایش سطح برگ در ژنوتیپ‌های مختلف برنج مشاهده شد. بخشنده و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه روی ارقام برنج غرقابی، وجود رابطه خطی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

بین سطح برگ و وزن خشک برگ را تأیید کردند. آنها ضریب آلومتریک در این رابطه خطی را ۲۵۴/۶۳ گزارش کردند. این نتیجه به ضریب آلومتریک در رقم ندا در مرحله اول رابطه سطح برگ و وزن خشک اجزای رویشی (۲۳۴/۳۵) که بخش عمده آن را برگ تشکیل می‌دهد، بسیار نزدیک است.

نتایج برازش مدل رگرسیون دوتکه‌ای به داده‌های ادغام شده (pooled) ژنوتیپ‌ها در هر روش کشت در جدول ٦ ارائه شده است. نقطه چرخش به‌ازای کمبود آب خاک افزایش یافته و شیب اولیه و شیب ثانویه هر دو کاهش نشان می‌دهند. این تغییر در الگوی رشد می‌تواند نشان‌دهنده تولید سطح برگ بیشتر به‌ازای گرم ماده خشک تولیدی در شرایط دسترسی به آب باشد و در شرایط کمبود آب، گیاه با سرعت کمتری به تولید برگ ادامه می‌دهد.

در مورد مقایسه ژنوتیپ‌های برنج در روش‌های مختلف کشت می‌توان گفت اگر چه همه ژنوتیپ‌ها نسبت به رقم وندانا سرعت افزایش سطح برگ بیشتری در شرایط غرقاب داشتند، اما رقم وندانا در سه روش کشت تغییر چندانی نشان نداد و این ثبات استقرار اولیه در تمامی شرایط می‌تواند برای کشت هوازی صفت مطلوبی به شمار رود. بیشترین کاهش شیب اولیه در شرایط هوازی نسبت به شرایط غرقاب مربوط به ژنوتیپ آپلند UR2 بود که این کاهش را می‌توان به انعطاف‌پذیری این ژنوتیپ در کاهش بسیار شدید تعداد پنجه در شرایط هوازی نسبت داد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق روابط آلومتریک و شاخص‌های رشد شامل روند تغییرات شاخص سطح برگ و تغییرات ماده خشک ژنوتیپ‌های برنج در سه شرایط (غرقابی، هوازی و هوازی با تنش خشکی) مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای مربوطه استخراج و تجزیه و تحلیل شد. به‌طورکلی در شرایط غرقابی، شاخص سطح برگ و عملکرد زیست‌توده در ژنوتیپ‌های هوازی، غرقابی و آپلند بیشتر از شرایط هوازی و تنش بود. زمان رسیدن به شاخص سطح برگ حداکثر (tm) در شرایط غرقابی بیشتر از شرایط هوازی و تنش بود. به‌نظر می‌رسد این تأخیر به‌دلیل شوک انتقال گیاهچه اتفاق افتاده باشد. همچنین مدت زمان رسیدن به حداکثر ماده خشک در شرایط غرقابی کوتاه‌تر از شرایط هوازی بود که به زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ مرتبط است. این شاخص می‌تواند برتری کشت هوازی در بسته‌شدن زودتر سایه‌انداز گیاهی و استفاده بهینه از تابش حداکثر در جهت تولید زیست‌توده را نشان دهد. بنابراین مطالعه در زمینه تابش در کشت هوازی پیشنهاد می‌شود. از نظر سرعت رشد در مرحله رشد خطی (cm)، میانگین cm در شرایط غرقابی بیشتر از شرایط هوازی بود. بین عملکرد دانه و پارامترهای برآوردشده نظیر cm، LAImax، Wmax رابطه مثبت و معنی‌دار و بین مدت زمان رسیدن به حداکثر LAI و عملکرد دانه رابطه منفی وجود داشت که نشان‌دهنده صحت پارامترهای برآوردشده برای توجیه شاخص‌های رشد است. در بررسی روابط آلومتریک با توجه به ثابت‌بودن رابطه سطح برگ و ارتفاع بوته و همچنین سطح برگ و وزن خشک اندام‌های رویشی در سه شرایط کشت و پنج ژنوتیپ و همچنین جذر میانگین مربعات خطای پایین و ضریب تبیین بالا می‌توان از مدل رگرسیون دوتکه‌ای برای برآورد سطح برگ از ارتفاع بوته و وزن خشک اندام‌های رویشی در برنج استفاده نمود. در رابطه آلومتریک سطح برگ و ارتفاع بوته در هر سه شرایط و در همه ژنوتیپ‌ها شیب خط در مرحله دوم چند برابر بیشتر از مرحله اول بود که این امر به تولید پنجه در حدود نقطه چرخش تابع مرتبط است. بالاتر بودن شیب در مرحله اولیه می‌تواند نشان‌دهنده قدرت استقرار اولیه گیاهچه باشد که صفت مطلوبی در کشت هوازی محسوب می‌شود. شاخص سطح برگ در هر سه شرایط کاشت در لاین AR6، که یک لاین هوازی است بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. همچنین این ژنوتیپ دارای کمترین کاهش ماده خشک در شرایط هوازی و تنش و بیشترین سرعت رشد در مرحله رشد خطی و دارای سطح تک برگ بیشتر، تعداد پنجه کمتر، ارتفاع بوته بالاتر و قدرت استقرار اولیه بیشتر که از نظر فنوتیپی، مطلوب و نزدیک به تیپ ایده‌آل برای شرایط هوازی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

بود. بررسی روابط آلومتریک و کمّی‌سازی روند رشد در کشت هوازی برنج که تاکنون در ایران انجام نشده است می‌تواند جهت استفاده در مدل‌سازی گیاهان زراعی مفید باشد.

منابع

احمدامینی، ط.، کامکار، ب. و سلطانی، ا. (۱۳۹۰) اثر تاریخ کاشت بر ضرایب تخصیص ماده خشک در ارقام مختلف گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ٤: ۱۵۰-۱۳۱.

اسماعیل‌زاده مریدانی، م.، اصفهانی، م.، اعلمی، ع.، مؤمنی، ع. و خالدیان، م. (۱۳۹٦) ارزیابی صفات ریشه‌ای ژنوتیپ‌های هوازی، آپلند و غرقابی برنج (*Oryza sativa* L.). پانزدهمین کنگره ملی زراعت و اصلاح نباتات ایران، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، کرج، ایران.

اشراقی‌نژاد، م. (۱۳۸۹) پیش‌بینی نمو فنولوژیک ارزن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

بخشنده، ا.، سلطانی، ا.، زینلی، ا.، کلاته عربی، م. و غدیریان، م. (۱۳۹۰) ارزیابی روابط آلومتریک سطح برگ و صفات رویشی در ارقام گندم نان و دوروم. مجله علوم زراعی ایران ۱۳: ٦۵۷-٦٤۲.

پوررضا، ج.، سلطانی، ا.، راحمی کاریزکی، ع.، گالشی، س. و زینلی، ا. (۱۳۸٦) رابطه آلومتریک بین ارتفاع گیاه و صفات رویشی در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ١٤: ۱۹۹-۱۹۱.

حجازی‌راد، پ.، قرخلو، ج.، مؤمنی، ع.، باقرانی، ن.، زینلی، ا. و سلطانی، ا. (۱۳۹۸) کارایی روش‌های مدیریت علف‌های هرز در سه رقم برنج در سیستم کشت هوازی برنج و مقایسه آن با شرایط غرقابی. هشتمین همایش علوم علف‌های هرز ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

درخشان، ا.، قرخلو، ج. و باقرانی، ن. (۱۳۹٤) تأثیر فاصله ردیف و کاربرد علف‌کش بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد برنج در کشت مستقیم. مجله تولید گیاهان زراعی ۸: ٤۹-۳۱.

راحمی کاریزکی، ع.، حسن‌زاده، ع.، بیابانی، ع. و فروغی، ع. (۱۳۹٤) روابط آلومتریک بین سطح برگ با صفات رویشی در گیاه باقلا (*Vicia faba* L.). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۲۳: ١٦٤-١٥٦.

زینلی، ا.، سلطانی، ا. و خادم پیر، م. (۱۳۹۲) بررسی روابط آلومتریک بین سطح برگ و صفات رویشی در باقلا (*Vicia faba* L.). مجله پژوهش‌های تولید گیاهی ۲۰: ۲۲-۱.

زینلی، ا.، سلطانی، ا. و خادم پیر، م. (۱۳۹۵) بررسی روابط آلومتریک بین سطح برگ و تعدادی از صفات رویشی در ذرت رقم سینگل کراس ۷۰٤. پژوهش‌های زراعی ایران ١٤: ۳٦۸-۳۵٤.

سلطانی، ا. و فرجی، ا. (۱۳۸٦) رابطه آب خاک و گیاه. جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

لیموچی، ک.، یارنیا، م.، سیادت، س. ع.، رشیدی، و. و گیلانی، ع. (۱۳۹۵) اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های برنج هوازی در شمال خوزستان. پژوهش‌های کاربردی زراعی ۲۹: ۷۱-٦۰.

غدیریان، ر.، سلطانی، ا.، زینلی، ا.، کلاته عربی، م. و بخشنده، ا. (۱۳۹۰) ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ٤: ۷۷-۵۵.

مؤمنی، ع. (۱۳۹۲) مطالعه امکان تغییر الگوی کشت برنج از شرایط غرقابی به هوازی در مازندران. نشریه تولید گیاهان زراعی ٦: ۲۲۸-۲۱۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

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

مهدوی، ف.، اسماعیلی، م.، فلاح، ا. و پیردشتی، ه. (۱۳۸٤) مطالعه خصوصیات مرفولوژیک، شاخص‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام بومی و اصلاح‌شده برنج (*Oryza sativa* L.). نشریه علوم زراعی ایران ۷: ۲۹۷-۲۸۰.

Akramghaderi, F., Soltani, A. and Rezayi, J. (2003) Estimating the leaf area in cotton cultivars using vegetative characteristics. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 11: 15-23. (In Persian)

Bouman, B. A. M., Lampayan, R. M. and Tuong, T. P. (2007) Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity. International Rice Research Institute. Philippines.

Chang, T. T., Loresto, G. C. and Tagumpay, O. (1972) Agronomic and Growth Characteristics of Upland and Lowland Rice Varieties. International Rice Research Institute, Philippines.

Donald, C. M. (1968) the breeding of crop ideotypes. Euphytica 17: 385-403.

Gould, S. J. (1966) Allometry and size in ontogeny and phylogeny. Biological Reviews 41: 587-640.

Farooq, M., Kobayashi, N., Ito, O., Wahid, A. and Serraj, R. (2010) Broader leaves result in better performance of indica rice under drought stress. Journal of Plant Physiology 167: 1066-1075.

Humphreys, E., Kukal, S. S., Gill, G. and Rangarajan, R. (2011) Effect of water management on dry seeded and puddled transplanted rice: Part 2: Water balance and water productivity. Field Crops Researchs 120: 123-132.

Kato, Y. and Katsura, K. (2014) Rice adaptation to aerobic soils: Physiological considerations and implications for agronomy. Plant Production Science 17: 1-12.

Khosa, M. K., Sidhu, B. S. and Benbi, D. K. (2011) Methane emission from rice fields in relation to management of irrigation water. Journal of Environmental Biology 32: 169-172.

Miller, R. W. and Donahue, R. L. (1990) Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. 6th Ed. Prentice-Hall International (UK) Ltd., London.

Niklas, K. (1994) Plant algometry. The scaling of form and process. Chicago: University of Chicago press 81: 339-344.

Okami, M., Kato, Y. and Yamagishi, J. (2011) Role of early vigor in adaptation of rice to water-saving aerobic culture: Effects of nitrogen utilization and leaf growth. Field Crops Research 124: 124-131.

Okami, M., Kato, Y., Kobayashi, N. and Yamagishi, J. (2014) Agronomic performance of an IR64 introgression line with large leaves derived from new plant type rice in aerobic culture. European Journal of Agronomy 58: 11-17.

Okami, M., Kato, Y. and Yamagishi, J. (2012) Allometric relationship between the size and number of shoots as a determinant of adaptations in rice to water-saving aerobic culture. Field Crops Researches 131: 17-25.

Peng, S., Khush, G. S., Virk, P., Tang, Q. and Zou, Y. (2008) Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. Field Crops Researches 108: 32-38.

Rice Today, (2007) High and dry. Rice Today (China Special), International Rice Research Institute 6: 29-33.

Soltani, A. and Sinclair, T. R. (2012) Modeling physiology of crop development, growth and yield. CAB Int., Cambridge, MA.

Van Loo, E. N. (1992) Tillering, leaf expansion and growth of plants of two cultivars of perennial ryegrass grown using hydroponics at two water potentials. Annals of Botany 70: 511-518.

Wright, S. D. and Mcconnaughay, K. D. M. (2002) Interpreting phenotypic plasticity: The importance of ontogeny. Plant Species Biology 17: 119-131.

Yin, X., Gouadrian, J., Latinga, E. A., Vos, J. and Spiertz, J. H. (2003) A flexible sigmoid function of determinate growth. Annals of Botany 91: 361-371.

Yoshida, H., Horie, T., Katsura, K. and Shiraiwa, T. (2007) A model explaining genotypic and environmental variation in leaf area development of rice based on biomass growth and leaf N accumulation. Field Crops Research 102: 228-238.

Yoshida, S. and Parao, F. T. (1972) Performance of improved rice varieties in the tropics with special reference to tillering capacity. Experimental Agriculture 8: 203-212.

Yoshida, S., Bhattacharjee, D. P. and Cabuslay, G. S. (1982) Relationship between plant type and root growth in rice. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 28: 473-482.

Zhou, X., Zheng, H. B., Xu, X. Q., He, J. Y., Ge, X. K., Yao, X. and Tian, Y. C. (2017) Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 130: 246-255.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

Allometric relationships and growth indices analysis in aerobic, upland, and lowland rice (*Oryza sativa* L.) genotypes

Mahjoubeh Esmaeilzadeh-moridani[1], Masoud Esfahani[1*], Ali Aalami[1], Ali Moumeni[2], Mohammadreza Khaledian[3]

[1] Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan, Rasht, Iran
[2] Rice Research Institute of Iran, Mazandaran Branch, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Amol, Iran
[3] Department of Water Enginearing, University of Guilan, Rasht, Iran and Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, Rasht, Iran
(Received: 01/07/2020, Accepted: 19/01/2021)

Abstract

In order to assess the allometric relationship between leaf area and plant height and shoot dry weight as well as describing the trend of dry matter and leaf area index changes, an experiment was conducted at the research field of Faculty of Agriculture, University of Guilan in spring and summer of 2016. The treatments included three cultivation condition (conventional lowland, aerobic, and aerobic with drought stress) and five selected genotypes (three aerobic, one upland, and one lowland) in three replications as RCBD. Dry weight of leaves and stems, leaf area and plant height were measured every 10 days from the emergence. For describing allometric relationship, a segmented model was fitted. For describing the trend of dry matter and leaf area index changes, two types of 5 and 3-parameter beta models were adjusted to the data. The results showed that a segmented regression model can be used to estimate leaf area from plant height and dry weight of vegetative organs in rice (R^2=0.83-0.98). Based on beta models, the time of reaching maximum leaf area index (Tm) and growth rate at linear growth stage (Cm) in flooded conditions (98.36 days and 23.75 $g.m^{-2}.d^{-1}$ respectively) was longer than aerobic (95.89 days and 20.24 $g.m^{-2}.d^{-1}$) conditions. These functions and their parameters that performed on aerobic culture for the first time, can be used in simulation models and an easy and rapid estimation of leaf area in rice plant.

Keywords: Crop modelling, Allometry, Aerobic cultivation, Soil water deficit, Beta function, Segmented function

Corresponding author, Email: esfahani@guilan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-07-12]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1400.10.42.10.2]