کاربرد شاخص های فلورسانس کلروفیل در ارزیابی عملکرد دستگاه فتوسنتز کننده پسته خنجک (*Pistacia khinjuk* L.) تحت تنش اسمزی

ابوالفضل رنجبر فردویی*

گروه علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان، کاشان

(تاریخ دریافت: ٩٣/١٠/٠٦، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٤/١١/١٩)

چکیده:

از ویژگی اکوسیستم‌های خشک، دمای بالا، تشعشعات خورشیدی زیاد، فشار بخار آب پایین و فقدان بارندگی در بیشتر ماه های سال است. در این شرایط، درختانی مانند پسته تحت تنش شوری همراه با خشکی قرار می گیرند. به منظور مطالعه اثر تنش همزمان خشکی و شوری بر عملکرد دستگاه فتوسنتز کننده، نهال های پسته خنجک تحت تاثیر سه سطح تیمار تنش اسمزی (حاصل از ترکیب نمک و پلی اتیلن گلیکول): تنش کم، متوسط و زیاد قرار گرفتند. بازده فلورسانس پارامترهای F_0، F_m، F_v، F'_m، F'_0، F'_v، F_s، F_0/F_m، F_v/F_m، F_v/F_0، F'_v/F'_m، ΦPSII، ETR و Photoinhib-PSII% اندازگیری و محاسبه شدند. داده های بدست آمده از این مطالعه نشان داد که تمام پارامترهای مذکور با شدت‌های متفاوت به تیمارهای تنش اسمزی "بدون بروز علائم مرئی" پاسخ دادند. بیشترین کاهش یا تغییر عملکرد در قالب مکانیزم دفاعی (بازدارندگی) یا غیر فعال شدن فتوسیستم‌های ١و٢ در سطوح مختلف تنش اسمزی مشاهده شد.

واژه های کلیدی: بازدارندگی نوری؛ فتوسیستم؛ فلورسانس؛ کارائی فتوشیمیایی

مقدمه:

پسته اهلی (*Pistacia vera*) محصول باغی مهم در کشورهای ایران، ترکیه و اخیراً هم در ایالات متحده است. با اتکاء به پایه‌های غیراهلی تولید این محصول رشد قابل توجهی نشان داده است (Ranjbar-Fordoei *et al.*, 2000). در میان گونه های پسته غیر اهلی، پسته خنجک (*P. khinjuk*) بعنوان پایه‌ی مقاوم به خشکی مورد استفاده کشاورزان قرار می‌گیرد (Karimi and Kafkas, 2011).

از ویژگی اکوسیستم‌های خشک، دمای بالا، تشعشعات خورشیدی بالا، فشار بخار آب پایین و فقدان بارندگی در بیشتر ماه‌های سال است. در این اکوسیستم‌ها، خاک‌ها به علت تبخیر سریع آب عمدتا شور هستند (Ashraf and O'Leary, 1996). در این شرایط، درختانی مانند پسته، تحت تنش شوری همراه با خشکی قرار می‌گیرند. نخستین واکنش فیزیولوژیکی گیاهان در چنین محیط نامساعدی غیرفعال شدن یا کاهش شدید فعالیت دستگاه فتوسنتز کننده است که توسط برخی محققین مانند (Baker, 2008) و (Allakhverdie, 2000) گزارش شده است. بر اساس گزارش Stirbet و Govindjee (٢٠١١)، با کاهش پتانسیل اسمزی خاک کارایی فتوشیمیایی حداکثر در فتوسیستم٢ (F_v/F_m)، کارایی واقعی فتوشیمیایی در این فتوسیستم (ΦPSII) و پراکنش غیرفتوشیمیایی انرژی جذب شده (*NPQ*) افزایش می یابد.

مطالعات متعددی در خصوص اثرات خشکی و شوری روی عملکرد دستگاه فتوسنتز کننده درختان پسته انجام شده

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: aranjbar@kashanu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

است (Filella *et al*., 1998; Ranjbar-Fordoei *et al*., 2000; Adish *et al*., 2000; Li *et al*., 2013) ، اما در مورد اثرات توأم این دو عامل تنش‌زا (خشکی و شوری) روی عملکرد دستگاه فتوسنتز کننده در پسته خنجک گزارشی در منابع موجود نیست. پلی‌اتیلن گلیکول یک پلیمر غیریونی قابل حل در آب است و اغلب بدون آنکه به بافت های سالم گیاه آسیب برساند (Nepomuceno *et al*., 1998) برای ایجاد تنش خشکی در گیاهان عالی مانند درختان بکاربرده می‌شود (Chazen *et al*., 1995). هدف از مطالعه حاضر ارزیابی اثرات تنش اسمزی حاصل از ترکیب نمک (کلرید سدیم) و پلی اتیلن گلیکول ٦۰۰۰ روی عملکرد دستگاه فتوسنتزکننده پسته خنجک از طریق اندازگیری و محاسبه پارامترهای فلورسانس کلروفیل بود.

مواد و روش‌ها:

نهال های یکساله پسته خنجک از یک نهالستان محلی تهیه و به گلدان های پلاستیکی ٦ لیتری پرشده از ورمیکولیت منتقل شد. با کشت یک نهال در هر گلدان، گلدان‌ها به گلخانه منتقل و با استفاده ار سیستم هیدروپونیک شامل پمپ آب، گاتر (gutter) و مخزن حامل محلول آبیاری (Koyro, 2006) به مدت سه ماه آبیاری شدند. سپس تیمارهای تنش اسمزی شامل تیمارکنترل و سه سطح تنش اسمزی مرکب از مخلوط پلی‌اتیلن گلیکول (با وزن مولکولی ٦۰۰۰) و کلرید سدیم تهیه شد. هر دو عامل ایجاد تنش بطور یکسان در پتانسیل اسمزی محلول آبیاری (Ψ_s) مشارکت داشتند. سطوح تنش اسمزی با توجه به ویژگی‌های خاکشناختی و اقلیم‌شناختی مناطق پسته کاری کشور و منابع موجود (Dewan and Famoury, 1964; Ranjbar-Fordoei *et al*., 2000; Adish *et al*., 2010) انتخاب شد. به منظور جلوگیری از اثر مضر پلی‌اتیلن گلیکول بر قابلیت دسترسی اکسیژن برای ریشه‌های گیاهان، محلول آبیاری بطور مداوم هوادهی شد.

تراکم پلی‌اتیلن گلیکول (گرم بر لیتر آب) برای هر سطح تنش اسمزی با توجه به معادله‌ی Burlyn و Merrill (۱۹۷۳) تعیین و پتانسیل اسمزی محلول آبیاری (Ψ_s) (مخلوط پلی‌اتیلن گلیکل و نمک) توسط یک دستگاه پتانسیومتر(Potentiometer, Decagon Devices Inc., Washington, USA) مشخص شد. پتانسیل اسمزی محلول آبیاری بطور روزانه و در هر روز ۰/۱۵- مگاپاسکال (MPa) کاهش یافت. پتانسیل اسمزی نهایی برای شاهد ۰/۱- مگاپاسکال، برای تنش کم ۰/٤٤- مگاپاسکال، برای تنش متوسط ۰/۸٦- مگاپاسکال و برای تنش زیاد ۱/۵۱- مگاپاسکال اندازگیری شد. این سطوح تنش اسمزی به مدت پنج هفته حفظ شد. با اضافه کردن محلول هوگلند با توان غذایی۵۰٪ به هر تیمار، گیاهان تغذیه شدند (Picchioni و Miamoto، ۱۹۹۰). حجم و هدایت الکتریکی هر محلول تیمار بطور روزانه کنترل و با اضافه کردن آب مقطر ثابت نگه داشته شد. در مجموع تعداد شانزده اصله نهال در قالب یک طرح کاملا تصادفی، با چهار تکرار برای هر تیمار، در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفت.

اندازگیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل: با استفاده از یک دستگاه فلورومتر PAM-2500 (*H. Walz, Effeltrich, Germany*)، پارامترهای فلورسانس کلروفیل اندازگیری شد. اندازگیری‌ها روی برگ‌های کاملا رشد یافته، مستقر در رأس شاخه اصلی (پنجمین برگ از رأس شاخه)، انجام شدند. قبل از اندازگیری بازده فلورسانس کلروفیل، برگ ها به مدت سی دقیقه با استفاده از کلیپس های مانع نور، در تاریکی کامل قرار گرفتند (Genty *et al*., 1989). در این وضعیت (سازگاری به تاریکی)، تمام مراکز واکنش و حامل های الکترون در فتوسیستم۲ اکسیده می شوند که برای القاء سریع فلورسانس و اندازگیری پارامترهای فلورسانس کلروفیل ضروری است. پس از اکسایش مراکز واکنش و حامل‌های الکترون، پارامترهای اولیه فلورسانس کلروفیل شامل: فلورسانس پایه در حالت‌های سازگارشده به تاریکی (اکسید شده) (F_0) و قرار گرفته تحت نور اشباع (احیاء) (F'_0)، فلورسانس حداکثر در حالت های سازگارشده به تاریکی (F_m) و نور اشباع (F'_m)، و فلورسانس ثابت (F_s) (Zhang *et al*., 2011)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

اندازگیری شدند. با توجه به پارامترهای فلورسانس اندازگیری شده، تعدادی از پارامترهای دیگر فلورسانس به شرح ذیل محاسبه شدند:

– فلورسانس متغیر در حالت سازگار شده به تاریکی (Weis and Krause, 1991) $F_v = (F_m - F_0)$

– بازده کوانتوم مبنا (Rohâcek, 2002) F_0 / F_m

حداکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ ($F_v / F_m = (F_m$ - (Bolhar-Nordenkampf and Oquist, 1993) $F_0)/F_m$)

– فعالیت مجموعه‌ی شکافت آب $F_v / F_0 = (F_m - F_0)/F_0$ (Kalaji *et al.*, 2011)

– کارایی تبدیل انرژی الکترون‌ها به انرژی شیمیایی تحت نور اشباع $F'_v / F'_m = (F'_m - F'_0)/ F'_m$ (Genty، ۱۹۸۹)

– کارایی واقعی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ $F'_m / (F'_m - F_s) = \Phi PSII$ (Gilmore، ۲۰۰٤)

– پراکنش غیر فتوشیمیایی فوتون های جذب شده $NPQ =$ (Bilger and Bjorkman, 1990) $(F_m - F'_m) / F'_m$,

– سرعت انتقال الکترون از طریق فتوسیستم۲ $ETR = 0.5 \times 0.84 \times \Phi PSII \times PPFD$ (Edwards and Krall, 1993)

– درصد بازدارندگی نوری

$$[100 - (\frac{(Fv/Fm)\text{noon}}{(Fv/Fm)\text{predawn}})] \times 100$$ (Photoinhib-PSII%) (Dodd *et al.*, 1998)

تجزیه آماری داده ها: آنالیز واریانس میانگین‌های ٤ تکرار برای هر یک از پارامترهای فلورسانس کلروفیل توسط DMC با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد و معنی‌داری آماری در سطح $P<0.05$ تعیین شد.

نتایج و بحث:

با قرار گرفتن نهال های پسته خنجک در معرض سطوح تنش اسمزی انتخاب شده، تغییرات در پارامترهای فلورسانس کلروفیل مشاهده شد (جدول ۱). با کاهش پتانسیل اسمزی محلول آبیاری (Ψ_s) از تیمار شاهد به تنش کم، تغییر معنی‌داری در میزان F_0 مشاهده نشد، اما کاهش بیشتر در Ψ_s منجر به افزایش معنی‌داری این پارامتر در تنش متوسط شد و به بالاترین مقدار (۲٦۸) در تنش زیاد رسید. با افزایش تنش اسمزی، کاهش تدریجی در مقادیر F_m مشاهده شد اما تغییر معنی‌دار این پارامتر در تنش متوسط آشکار و تا تنش زیاد ادامه یافت که در مقایسه با کنترل کاهش ۲۲٪ را نشان داد (جدول ۲). شاخص‌های F_0 و F_m از پارامترهای مهم بشمار می روند که برای ارزیابی مقایسه‌ای دیگر پارامترهای فلورسانس اندازگیری می شوند. گرچه این دو پارامتر اساس محاسبه‌ی دیگر متغیرهای فلورسانس را تشکیل می دهند اما مقدار آنها متغییر است. افزایش F_0 و کاهش F_m گویای آسیب رسیدن به انتقال فوتون‌های جذب شده از آنتن ها به مراکز واکنش است (Schreiber *et al.*, 1998). بنابراین، افزایش F_0 مشاهده شده در نهال های پسته خنجک می تواند مربوط به آسیب دستگاه فتوسنتز کننده، مانند غیرفعال شدن بخشی از مراکز واکنش فتوسیستم۲، باشد که ممکن است برگشت پذیر یا غیرقابل جبران باشد (Yamne, 1997). همچنین کاهش مقدار F_m را می توان به افزایش پراکنش انرژی نورانی جذب شده بصورت گرما نسبت داد (Muller *et al.*, 2001). نتایج بدست آمده از این آزمایش در خصوص پارامترهای فلورسانس اعلام شده فوق الذکر با نتایج گزارش شده توسط De Lucena و همکاران (۲۰۱۲) روی گیاه انبه (*Mangifera indica*) مطابقت دارد.

در مطالعه حاضر، افزایش F_0 و کاهش F_m همزمان تحت تنش اسمزی منجر به کاهش جزئی در پتانسیل فتوشیمیایی فتوسیستم۲ (F_v / F_m)، "اندازه‌گیری شده در برگ‌های سازگار شده به تاریکی"، شد که تا سطح تنش متوسط ادامه یافت (جدول ۲). کاهش بیشتر پتانسیل اسمزی محلول غذایی (تنش زیاد) سبب شد این پارامتر حداقل مقدار معنی دار (۰/۷۰) را نشان دهد که در مقایسه با تیمار شاهد کاهش ۱۹٪ را نشان داد (جدول ۲). پتانسیل فتوشیمیایی فتوسیستم۲ (F_v / F_m) بیانگر ظرفیت جذب انرژی القائی توسط برگ است و معمولا به عنوان پیامد اثرات عوامل نامساعد محیطی مانند خشکی، شوری و سرما کاهش می یابد. در شرایطی که عوامل محیطی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

جدول ۱- خلاصه‌ی نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش اسمزی بر شاخص های اساسی فلورسانس کلروفیل در برگ نهال های پسته خنجک.

شاخص فلورسانس تجزیه واریانس	F_0	F_m	F_v/F_m	F_v/F_0	F_0/F_m
F	۲۹/۷٦۸	۲۵/۸۵۳	٦۸۷/۷۷۲	۳۳/۱٥٦	۳۰/٥٥٥
MS	۱۱۲۲۲/۰٤	٦۰۱۷۰/٤۸٤	۰/٥٤٦	۱٤/٤۰٤	۰/۲٤٤
P	۰/۰۰۰۷***	۰/۰۰۰۲***	۰/۰۰۰٤***	۰/۰۰۰٤***	۰/۰۰۰۷***

*****معنی دار در سطح خطای ۰/۱ درصد.**

جدول ۲- اثر سطوح مختلف تنش اسمزی بر شاخص‌های اساسی فلورسانس کلروفیل در برگ نهال‌های پسته خنجک.

شاخص فلورسانس تیمار	F_0	F_m	F_v/F_m	F_v/F_0	F_0/F_m
شاهد	۱٥۸±۷^{a}	۱۱۲۷±۲۰^{a}	۰/۸٥^{a}	٦/۱٤^{a}	۰/۱٤^{a}
کم	۱٦٤±۸^{a}	۱۱٦۱±۱۲^{a}	۰/۸٦^{a}	٦/۰۹^{a}	۰/۱۳^{a}
متوسط	۲۰۳±۱٦^{b}	۱۰۷۰±۲۸^{b}	۰/۸۱^{a}	٤/۲٦^{b}	۰/۱۹^{a}
زیاد	۲٦۸±۱۱^{c}	۸۹۳±۱٥^{c}	۰/۷۰^{b}	۲/۳۳^{c}	۰/۲۹^{b}

فلورسانس پایه (F_0)، فلورسانس حداکثر (F_m)، حد اکثر کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ (F_v/F_m)، فعالیت مجموعه شکافت آب (F_v/F_0) و بازده کوانتوم مبنا (F_0/F_m). حروف مختلف نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار نتایج هر پارامتر در بین سطوح مختلف تنش اسمزی است.

برای گیاه بازدارنده (تنش‌زا) نباشند، نسبت F_v / F_m در دامنه ۰/۷٥ تا ۰/۸٥ (بسته به گونه گیاه) قرار دارد (Schreiber و همکاران، ۱۹۹۸). کاهش نسبت مذکور به کمتر از مقدار طبیعی (<۰/۷٥) حاکی از فتواکسیداسیون نوری و آسیب رسیدن به مراکز واکنش فتوسیستم۲ است (Kaouther *et al.*, 2012). نتایج بدست آمده از این آزمایش در خصوص F_v / F_m با نتایج گزارش شده توسط Suriyan و Chalermpol (۲۰۰۹) و Kaouther و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد.

داده های بدست آمده از این آزمایش، مبیّن یک روند موازی بین تغییر تنش اسمزی و واکنش بازده کوانتوم مبنا (F_0 / F_m) است. بطوریکه کمینه (۰/۱۳۸) و بیشینه‌ی (۰/۳۰۰) این پارامتر بترتیب در تیمار شاهد و تنش زیاد مشاهده شد. در نهال های قرار گرفته در معرض تیمارهای تنش کم و تنش متوسط تغییرات تدریجی و معنی‌دار نبود و اختلاف معنی‌دار فقط بین تیمارهای شاهد و تنش زیاد مشاهده شد. در شرایط عادی (بدون تنش) مقدار نسبت F_0 / F_m بین ۰/۱٤ تا ۰/۲۰ است و هر گونه تغییر ورای این دامنه می‌تواند به عنوان یک شاخص تنش در نظر گرفته شود (Rohacek, 2002). بالاتر بودن F_0 / F_m نشان می‌دهد که افزایش تنش اسمزی سبب شده مقدار کاهش اولیه پلاستوکینون (Q_a) بیشتر از مقدار اکسیداسیون مجدد آن توسط Q_b و فعالیت فتوسیستم۱ باشد.

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، افزایش تنش اسمزی سبب کاهش نسبت F_v / F_0 شد. این پارامتر نشان دهنده‌ی فعالیت مجموعه‌ی شکافت مولکول آب در فتوسیستم۲ و حساس‌ترین عضو در زنجیر انتقال الکترون است. تغییر معنی‌دار این پارامتر، با کاهش۳۰٪، در مقایسه با تیمار شاهد از تنش متوسط شروع و به حداکثر کاهش (٦۲٪) در تنش زیاد رسید. هر کاهش در این نسبت گویای آسیب در زنجیر انتقال الکترون است (Strasser *et al.*, 2004). نتایج این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

جدول ۳- خلاصه‌ی نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف تنش اسمزی بر شاخص‌های غیروابسته فلورسانس کلروفیل در برگ نهال‌های پسته خنجک.

	میانگین مربعات				
شاخص فلورسانس	*ETR*	*NPQ*	ΦPSII	Photoinhib-PSII%	F'_v/F'_m
F	۱۵۳/۶۸۱	۳۲/۳۰۶	۲۶/۵۸۷	۱۵٤/۰٦۹	۱۱/۹۸٤
MS	۵۳٤/۱۷۰	۰/۱۵۱۳	۰/۰۵٦	٤٦۵/٤۲۹	۰/۰۲۵
P	۰/۰۰۷***	۰/۰۰٤**	۰/۰۰۰۱***	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۰٦***

*** و ** به ترتیب **معنی دار در سطح خطای۰/۱ و ۱ درصد**

جدول ٤- اثر سطوح مختلف تنش اسمزی بر شاخص‌های محاسبه‌ای فلورسانس کلروفیل در نهال‌های پسته خنجک.

شاخص فلورسانس	*ETR*	*NPQ*	ΦPSII	Photoinhib-PSII%	F'_v/F'_m
تیمار					
شاهد	٤۹/۵۰±۱/۳۷^{a}	۰/۷۷^{a}	۰/٦۱^{a}	۱۱/۲۰±۱/٤۲^{a}	۰/٦۲^{a}
کم	٤۸/٦۰±۱/۳۹^{a}	۰/۷٤^{a}	۰/٦۳^{a}	۱۰/٤۰±۰/۸۰^{a}	۰/۵۸^{a}
متوسط	٤۲/٤۰±۲/۷۰^{a}	۱/۱۱^{b}	۰/۵٤^{b}	۱۵/۸۵±۱/۳۰^{a}	۰/۵۱^{b}
زیاد	۲٤/٦۰±۱/٦۸^{b}	۱/۰۷^{b}	۰/۳۷^{c}	۳۳/۳۰±۲/۸۰^{b}	۰/٤٤^{b}

سرعت انتقال الکترون از طریق فتوسیستم۲ (*ETR*)، پراکنش غیر فتو شیمیایی فوتون های جذب شده (*NPQ*)، کارایی واقعی فتوشیمیایی فتوسیستم ۲ (ΦPSII)، درصد بازدارندگی نوری (Photoinhib-PSII%) و کارایی تبدیل انرژی الکترون‌ها به انرژی شیمیایی توسط مراکز واکنش باز در فتوسیستم۲ (F'_v/F'_m). حروف مختلف نشان دهنده‌ی اختلاف معنی دار نتایج هر پارامتر در بین سطوح مختلف تنش اسمزی است.

آزمایش در خصوص اثر تنش اسمزی بر F_v/F_0 با نتایج ارائه شده توسط Kalaji و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

با افزایش تنش اسمزی محلول آبیاری، کارایی واقعی فتوشیمیایی فتوسیستم۲ (ΦPSII) روند کاهشی را نشان داد (جدول ۳)، بطوریکه بیشینه (۰/٦۱) و کمینه‌ی (۰/۲۷) این پارامتر بترتیب در تیمار شاهد و تنش زیاد مشاهده شد. اثر معنی دار کاهش پتانسیل اسمزی بر ΦPSII در سطح تنش متوسط شروع و تا تنش زیاد (با کاهش ٤۰٪ در مقایسه با تیمار شاهد) ادامه یافت (جدول ٤). با توجه به اینکه یک مول فوتون سبب تحریک یک میکرومول الکترون کلروفیل می‌شود (Schreiber و همکاران، ۱۹۹۸) ، به نظر می رسد که ΦPSII بیانگر سهم این الکترون‌ها است که در طول کاهش فتوشیمیایی $NADP^{+}$ استفاده می شود. بر این اساس، کاهش ΦPSII سبب فزونی انرژی و به دنبال آن افزایش تولید گونه اکسیژن واکنشی (ROS) و در نتیجه بازدارندگی نوری افزایش می‌یابد (Muller *et al*., 2001). همچنین بخشی از انرژی نورانی مازاد می‌تواند از طریق پراکنش غیرفتوشیمیایی (NPQ) دفع شود. به موازت افزایش تنش اسمزی محلول آبیاری، مقدار NPQ هم افزایش یافت، اما تغییر معنی‌دار این پارامتر در تنش متوسط مشاهده شد و در تنش زیاد به بالاترین مقدار افزایش یافت (جدول ٤). نتایج بدست آمده از این آزمایش در خصوص ΦPSII و NPQ با نتایج گزارش شده توسط Murata و همکاران (۲۰۰۷) و Loukehaich و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر گویای کاهش سرعت انتقال الکترون (ETR) در نهال‌های پسته با افزایش تنش اسمزی محلول آبیاری است. در میان تیمارها، فقط تنش زیاد اثر معنی‌داری را با بیشترین کاهش (۵۰٪) بر پارامتر ذکر شده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

نشان داد. کاهش میزان ETR را می توان به افزایش تراکم یون‌ها (در اینجا Na^+) در سیتوسل و بدنبال آن از هم پاشیدگی پلاستوسیانین در مجموعه فتوسیستم۱ نسبت داد که نتیجه‌ی آن کاهش انتقال الکترون بین فتوسیستم های ۱ و ۲ است (De Lucena و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج حاصل از این آزمایش در مورد اثر متضاد افزایش تنش اسمزی بر میزان ETR با نتایج گزارش شده از سوی Abdeshahian و همکاران (۲۰۱۰) و، Kanwal و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد.

افزایش تنش اسمزی محلول آبیاری منجر به افزایش درصد بازدارندگی نوری شد که تنها در تنش زیاد (با افزایش ۳۳٪) معنی‌دار بود. تغییر معنی دار این پارامتر گویای برهم خوردن تعادل بین فعالیت فتوشیمیایی فتوسیستم۲ و مقدار الکترون مورد نیاز برای چرخه کالوین است که موجب آسیب رسیدن به مراکز واکنش فتوسیستم۲ می‌شود (Jamnicka *et al.*, 2013). چنانچه مکانیزم‌های پراکنش انرژی مانند NPQ کارایی مؤثر را داشته باشد، آسیب ناشی از بازدارندگی نوری قابل جبران است، در غیر این صورت، موجب آسیب غیرقابل برگشت به سیستم فتوسنتزکننده می‌شود. با توجه به اینکه در مطالعه‌ی حاضر به موازات افزایش بازدارندگی نوری، NPQ هم افزایش یافت، بنظر می‌رسد اثر بازدارندگی نوری برگشت پذیر است (Baker and Rosenquist, 2004). نتایج بدست آمده از این مطالعه در خصوص بازدارندگی نوری با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین مانند Li و همکاران (۲۰۱۳) و، Hans-Werner (۲۰۱۳) مطابقت دارد.

با افزایش تنش اسمزی محلول آبیاری، بازده کوانتوم مؤثر (F'_v / F'_m) روند کاهشی را نشان داد، بطوریکه بیشینه (۰/٦۲) و کمینه‌ی (۰/٤٤) این پارامتر بترتیب در تیمار شاهد و تنش زیاد مشاهده شد. اثر معنی‌دار کاهش پتانسیل اسمزی بر این پارامتر در سطح تنش متوسط شروع و تا تنش زیاد (با کاهش ۳۰٪ در مقایسه با تیمار شاهد) ادامه یافت (جدول ٤). اصطلاح F'_v / F'_m به پارامتر جِنتی (Genty) معروف است (De Lucena *et al.*, 2012)، و بیانگر کارایی تبدیل انرژی الکترون‌ها به انرژی شیمیایی توسط مراکز واکنش باز در اکوسیستم۲ است. پارامتر F'_v / F'_m تغییرات در کارایی کوانتومی فتوسنتز را بخوبی آشکار می‌کند و کاهش آن نشان دهنده‌ی کاهش انتقال الکترون بین فتوسیستم های۱ و ۲ است. آنالیز داده های حاصل از مطالعه‌ی حاضر در خصوص F'_v / F'_m مشابه با پارامتر ETR بود. نتایج حاصل از این آزمایش در مورد اثر متضاد افزایش تنش اسمزی بر پارامتر جِنتی (F'_v / F'_m) در راستای نتایج بدست توسط Schreiber و همکاران (۱۹۹۸)، De Lucena و همکاران (۲۰۱۲) و Cousins و همکاران (۲۰۰۲) می باشد.

نتیجه‌گیری:

تنش اسمزی حاصل از ترکیب نمک (کلرید سدیم) و پلی‌اتیلن گلیکول (با وزن مولکولی ٦۰۰۰) اثر بازدارنده بر فعالیت دستگاه فتوسنتز کننده، بخصوص در فتوسیستم۲، نهال های پسته خنجک داشت. در این بررسی مشخص شد که جدای از پارامترهای فلورسانس کلروفیل که بطور عام در مطالعات اثر تنش‌های محیطی بر دستگاه فتوسنتز گیاه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، مانند F_v / F_m که کارایی فتوسیستم۲ را نشان می دهد، متغیرهای کلیدی دیگر مانند ΦPSII، ETR، NPQ، نقش برجسته‌ای در بررسی اثرتنش‌های محیطی مانند تنش اسمزی بر دستگاه فتوسنتز کننده گیاه دارند. علاوه براین، استفاده از روش فلورومتری نسبت به سایر روش های مطالعه‌ی فیزیولوژیکی گیاهان، هم کم هزینه تر و هم غیرمخرب است. داده های بدست آمده از این مطالعه نشان داد که تقریبا تمام پارامترهای فلورسانس با شدت‌های متفاوت به تیمارهای تنش اسمزی "بدون نشان دادن علائم مرئی" پاسخ داده‌اند. بیشترین کاهش یا تغییر عملکرد در قالب مکانیزم دفاعی (بازدارندگی) یا غیر فعال شدن اجزای دستگاه فتوسنتزکننده در تنش اسمزی بالا مشاهده شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

منابع :

Abdeshahian, M., Nabipour, M., Meskarbashee, M. (2010) Chlorophyll fluorescence as criterion for the diagnosis salt stress in wheat plants. World Academy of Science, Engineering and Technology 71: 569-571.

Adish, M., Fekri, M. and Hokmabadi, H. (2010) Response of Badami-Zarand Pistachio Rootstock to Salinity Stress, International Journal of Nuts Related Sciences 1: 1-11.

Allakhverdiev, S. I., Sakamoto, A., Nishiyama, Y., Inaba, M. and Murata, N. (2000) Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of Photosystems I and II in *Synechococcus* sp. Plant Physiology, Rockville1 23: 1047-1056.

Ashraf, M. and O'Leary, J. W. (1996) Responses of some newly developed salt tolerant genotypes of spring wheat to salt stress - II. Water Relations and photosynthetic capacity. Acta Botanica Neerlandica 45: 29-39.

Baker, N. R. and Rosenquist, E. (2004) Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: An examination of future possibilities. Journal of Experimental Botany 55:1607–1621.

Baker, N. R. (2008) Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis *in vivo*. Annual Review of Plant Physiology, Boca Raton 59: 89-113.

Bilger, W. and Bjorkman, O. (1990) Role of the xanthophyll cycle in Photoprotection Elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. Photosynthesis Research 25: 173–185.

Bolhar-Nordenkampf, H. R. and Oquist, G. (1993) Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual (Eds. Hall, D. O., Scurlock, J. M. O., Bolhar-Nordenkampf, H. R.; Leegood, R. C.; Long, S. P.).Pp. 193-206. London: Chapman & Hall.

Burlyn, E. M. and Merrill, R. K. (1973) Osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology 51: 914-916.

Chazen, O., Hartung W. and Neumann, P. M. (1995) The different effects of PEG 6000 and NaCl on leaf development are associated with differential inhibition of root water transport. Plant, Cell Environment 18: 727-735.

Cousins, A. B., Adam, N. R, Wall, G. W., Kimball, B. A., Pinter, P. J., Ottman, M. J., Webber, A. N. (2002) Leavitt S.W. Photosystem II energy use, non-photochemical quenching and the xanthophyll cycle in *Sorghum bicolor* grown under drought and free-air CO2 enrichment (FACE) conditions. Plant, Cell and Environment 25: 1551–1559.

De Lucena, C. C, De Siqueira, D. L., Martinez, H. N. and Cecon, P. R. (2012) Salt stress change chlorophyll fluorescence in mango. Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal 34: 1245-1255.

Dewan, M. L. and Famouri J., (1964). The Soils of Iran**.** FAO, Rome.

Dodd, I., Critchley, C., Woodall, G. and Stewart, G. (1998) Photoinhibition in differently coloured juvenile leaves of Syzygium species. Journal of Experimental Botany 49:1437–1445.

Filella, L., J. Llusia, J., Pinol, J., Penol, J. and Peuelas, J. (1998) Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* saplings in severe drought and high temperature conditions, Environmental and Experimental Botany 39: 213–220.

Genty, B., Briantais, J.M. and Baker N.R., (1989). Relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence, Biochimica et Biophysica Acta 990: 87–92.

Gilmore, A. M. (2004) Chlorophyll a Fluorescence. In: A signature of Photosynthesis (Eds. Papageorgiou, G. C. and Govindjee, D.),Pp.55-600. Springer, Dordrecht.

Hans-Werner, K., Hussain, T., Huchezermeyer, B. and M., Ajmal Khan (2013) Photosynthetic and growth responses of a perennial halophytic grass Panicum turgidum to increasing NaCl concentrations. Environmental and Experimental Botany 91: 22-29.

Jamnicka, G., Ditmarová, L., Kurjak, D., Kmeť, J., Pšidovö, E., Gömöry, D., Střelcovâ, K. and Macková, M. (2013) The soil hydrogel improved photosynthetic performance of beech seedlings treated under drought, Plant Soil Environment 59: 446–451.

Kalaji, H.M., Govindjee, Karolina, B., Janussz, K. and Krystina, Z-G. (2011) Effects of salt stress on photosystem II efficiency and CO2 assimilation of two Syrian barley landraces. Environmental and Experimental Botany 73: 64-72.

Kanwal, H., Ashraf, M. and Shahbaz, M. (2011) Assessment of salt tolerance of some newly developed and candidate wheat (*triticum aestivum* L.) cultivars using gas exchange and chlorophyll fluorescence attributes. Pakistan Journal Botany 43: 2693-2699.

Kaouther, Z., Ben, Fredj, M., Mani, F. and Hannachi, C. (2012) Impact of salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8: 236-252.

Karimi, H. R. and Kafkas S. (2011) Genetic relationships among Pistacia species studied by SAMPL markers, Plant System Evolution 297: 207-212.

Koyro, H.W. (2006) Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus*. Environmental and Experimental Botany 56:136-146.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]

Krall, J. P. and Edwards, G. E. (1992) Relationship between photosystem II activity and CO fixation in leaves. Physiologia Plantarum 86: 180–187.

Krause, G. H. and Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Ann. Rev. Plant Physiology Plant Molecular Biolology 42: 313–439.

Li, G. L., Wu, H. X., Sun, Y. Q. and Zhang, S. Y. (2013) Response of chlorophyll Fluorescence parameters to drought stress in sugar beet seedlings. Russian Journal of Plant Physiology 60: 337–342.

Loukehaich, R., Elyachioui, M., Belhabib, N. and Douira, A. (2011) Identifying multiple physiological responses associated with salinity-tolerance for evaluating three tomato cultivars selected from Moroccan territory. Journal of Animal and Plant Sciences 10(1): 1219- 1231.

Muller, P., Li, X. P. and Niyogi, K. K. (2001) Non-Photochemical quenching, A Response to excess light energy. Plant Physiology, Rockville 125: 1558-1566.

Murata, N., Takahashi, S., Nishiyama, Y. and Allakhverdiev, S. I. (2007) Photoinhibition of photosystem II under environmental stress. Biochemica et Biophysica Acta 1767: 414-421.

Nepomuceno, A. L., Oosterhuis, D. M. and Stewart, J. M. (1998) Physilogical response of cotton leaves and roots to water deficit induced by polyethylene glycol. Environental and Experimental Botany 40: 29-41.

Picchioni, G.A. and Miyamoto, S. (1990) Salt effects on growth and ion uptake of pistachio rootstock seedlings, Journal of American Society for Horticultural Science 115: 647-563.

Ranjbar-Fordoei, A., Samson, R., Lemeur and R., Van Damme, P. (2000) Effects of drought stress induced by polyethylene glycol on physiological performance two pistachio species (*Pistasia mutica* nad *P.khinjuk*). Photosynthetica 38: 443-447.

Rohâcek, K. (2002) Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. Photosynthetica 40:13-29.

Schreiber, U., Bilger, W., Hormann, H. and Neubauer, C. (1998) Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: Photosynthesis: a Comprehensive Treatise. (Ed. Raghavendra, A. S.).Pp. 320-336. Cambridge: Cambridge University Press.

Stirbet, A. and Govindjee (2011) On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications. Journal of Photochemistry Photobiology 104: 236-257.

Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M. and Srivastava, A. (2004) Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In: Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. (Eds. Papageorgiou, G., Govindjee, G.), Pp. 321–362. Springer, Dordrecht, (reprinted 2010).

Suriyan, C. and Chalermpol, K. (2009) Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars. Pakistan Journal of Botany 41: 87-98.

Yamane, Y., Kashino, Y., Koile, H. and Satoh, K. (1997) Increase in the fluorescence F0 level reversible inhibition of Photosystem II reaction center by high-temperature treatments in higher plants. Photosynthesis Research, Amsterdam 52: 57-64.

Zhang, Y., Xie, Z., Wang, Y., Su, P., An, L. and Gao H. (2011) Effect of water stress on leaf photosynthesis, chlorophyll content and growth of oriental lily, Russian Journal of Plant Physiology 58: 844–850.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-27]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1396.6.19.3.1]