

## برهمکنش شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر ویژگی‌های شیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاه لوپیا سبز در سیستم هیدرопونیک

حمید رضا روستا<sup>\*</sup><sup>۱</sup>، نجمه رسولی<sup>۱</sup> و محمدحسین شمشیری<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۱۸)

### چکیده

به دلیل قلیایی بودن بیشتر خاک‌ها و آب‌های ایران و در نتیجه پ-هاش زیاد ناشی از وجود بی‌کربنات در محیط رشد گیاهان و تأثیر متفاوت آمونیوم و نیترات بر افزایش یا کاهش پ-هاش محیط کشت گیاه، تحقیق در مورد تأثیرات نامطلوب عواملی مانند قلیائیت و اثر مقابله شکل نیتروژن با آن بر خصوصیات شیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاهان ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور بی‌کربنات سدیم در چهار سطح (صفرا، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار) و شکل نیتروژن (آمونیوم و نیترات) روی لوپیا سبز انجام گرفت. طبق نتایج این آزمایش، تیمار بی‌کربنات سدیم باعث کاهش شاخص SPAD و غلظت رنگیزه‌های گیاهی در برگ شد. غلظت پرولین در تیمار آمونیوم با افزایش بی‌کربنات به‌طور خطی افزایش یافت؛ در حالی که در تیمار نیترات و در غلظت ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات، غلظت پرولین کمی کاهش یافته ولی با افزایش غلظت بی‌کربنات دوباره به شدت افزایش یافت. شدت فتوستزر، بازده مزوپیل و کارآئی مصرف آب در تیمار آمونیوم با افزایش قلیائیت کاهش یافت. در صورتی که در تیمار نیترات، بی‌کربنات در غلظت‌های کم و متوسط باعث افزایش آنها شد. از این آزمایش نتیجه‌گیری شد که در تیمار آمونیوم، بی‌کربنات در تمام غلظت‌ها باعث کاهش بازدهی فتوستزری و استفاده از آب توسط گیاه لوپیا سبز شد. در صورتی که در گیاهان تغذیه شده با نیترات، بی‌کربنات در غلظت کم (۱ میلی‌مولار) احتمالاً به دلیل تأمین مقداری دی‌اکسید کربن برای آسمیلاسیون نیتروژن، برای گیاهان مفید نیز بود.

واژه‌های کلیدی: نیترات، آمونیوم، فتوستزر، قلیائیت، گرامینه

### مقدمه

نشده و خاک‌های با هوادهی ضعیف، کوددهی با نسبت بیشتر آمونیوم به نیترات منجر به اسیدی شدن محیط شده و سبب کاهش کاتیون‌هایی مثل کلسیم، منیزیم و پتاسیم در ریشه‌ها می‌شود<sup>(۴)</sup>. ممانعت آمونیوم از رشد گیاهان از بی‌نظمی در احیای آمونیوم، کاهش پ-هاش، اثر سمیت آمونیوم آزاد، کمبود مواد غذایی معدنی مثل پتاسیم، کلسیم و منیزیم و محدودیت کربوهیدرات‌ها ناشی از مصرف بیش از حد قندهای محلول

نیتروژن عنصر مهم و حیاتی برای گیاه به شمار می‌رود. اگرچه این عنصر به طور فراوان در طبیعت یافت می‌شود، ولی اغلب مهمترین عامل محدود کننده رشد گیاهی به حساب می‌آید<sup>(۱۳)</sup>. گیاهان می‌توانند اشکال متفاوت ترکیبات نیتروژنی را جذب کنند. ولی به طور کلی نیترات و آمونیوم مهمترین شکل نیتروژن است که گیاهان جذب می‌کنند<sup>(۵)</sup>. در سیستم‌های هیدرопونیک بافری

۱. گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان  
\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: roosta\_h@yahoo.com

بی‌کربنات و آهن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۲۱). آمونیوم با دو مکانیسم سبب اسیدی شدن محیط ریشه می‌شود. در یک مکانیسم، گیاه یون آمونیوم را جذب کرده و پروتون را به ریزوسفر رها می‌کند. مکانیسم دیگر تبدیل یون آمونیوم به یون نیترات به وسیله باکتری‌های خاکزی است که باعث اسیدی شدن محیط رشد می‌شود. البته باید توجه داشت که یون آمونیوم بیش از اندازه در کودهای شیمیایی مورد استفاده نیز می‌تواند سمی باشد، که این سمیت به وسیله اسیدی کردن بیش از اندازه یا افزایش فرم سمی آمونیاک ( $\text{NH}_3$ ) بر اثر پ-هاش زیاد محیط ریشه ایجاد می‌شود (۴).

بنابراین، به دلیل آهکی بودن بسیاری از خاک‌ها و قلیائیت منابع آب کشور و تأثیر آن بر ایجاد کلروز و رشد گیاهان و هم‌چنین با توجه به تأثیر شکل نیتروژن بر پ-هاش محیط ریشه (۲۲)، این پژوهش جهت بررسی برهمکنش شکل نیتروژن و بی‌کربنات سدیم بر رنگیزهای گیاهی و ویژگی‌های شیمیایی و اکوفیزیولوژیک گیاه لوپیا سبز انجام شد.

## مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر متقابل قلیائیت و شکل نیتروژن بر لوپیا سبز، آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور، یکی غلظت بی‌کربنات سدیم (صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مolar) و دیگری شکل نیتروژن (آمونیوم و نیترات) و طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه هیدروپونیک دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان که دارای نور طبیعی، دمای  $25 \pm 4$  درجه سلسیوس در روز و  $21 \pm 4$  درجه در شب و میانگین رطوبت نسبی ۵۸٪ بود، انجام گرفت. بذرهای لوپیا سبز رقم آلفا ابتدا درون گلدان‌های یونولیتی حاوی پرلایت کاشته شدند و پس از دو هفته محلول دهی نشاھای یکنواخت انتخاب و به گلدان‌های چهار لیتری مجهر به سیستم همراهی انتقال داده شدند. به گلدان‌ها عناصر پرصرف شامل مونوپاتاسیم فسفات (۰/۲ میلی‌مolar)، سولفات پتاسیم (۰/۲ میلی‌مolar)، سولفات منیزیم (۰/۳ میلی‌مolar) و کلریدسدیم (۰/۱ میلی‌مolar) اضافه شد.

برای آسیمیلاسیون (همگون‌سازی) آمونیوم تأثیر می‌پذیرد (۲۵). منبع نیتروژن تأثیر زیادی بر پ-هاش محلول غذایی دارد. به گونه‌ای که نیترات باعث افزایش پ-هاش محلول و قلیائی شدن آن می‌شود؛ در صورتی که آمونیوم باعث کاهش پ-هاش شده و محلول غذایی را اسیدی می‌کند (۲۰). آب آبیاری هنگامی که از چاههای عمیق تأمین می‌شود دارای بی‌کربنات زیاد است. قلیائیت ناشی از بی‌کربنات باعث ایجاد تنش در گیاه و در نتیجه کاهش فتوستز شده (۱۳) و ترکیبات معدنی را در گیاهان تغییر داده، سبب عدم تعادل یونی و سمیت می‌شود (۲۹). هواهی این آب‌ها و یا کاربرد مقداری اسید سولفوریک (کاهش پ-هاش آب آبیاری تا حد خشی)، میزان بی‌کربنات را کاهش می‌دهد. قلیائیت خاک نیز باعث کاهش جذب عناصری مثل آهن می‌شود. بروز زردی ناشی از کمبود آهن در گیاهان روئیده در خاک‌های قلیائی نشانه کمبود مطلق این عنصر نیست، بلکه با توجه به شرایط شیمیایی این خاک‌ها، آهن موجود به صورت ترکیب‌های غیر محلول درآمده، در نتیجه نیاز گیاه را از نظر آهن مرتفع نمی‌کند. آهن در غلاظت‌های ۷ تا ۵۰۰ گرم بر کیلوگرم در خاک‌ها موجود است (۱۳). با افزایش پ-هاش خاک از ۴ به ۸ غلاظت یون‌های  $\text{Fe}^{3+}$  از  $10^{-8}$  به  $10^{-20}$  مولار کاهش پیدا می‌کند. کمبود آهن همواره موجب از بین رفتن هم‌زمان کلروفیل و تخربی ساختار کلروپلاست می‌شود. ناهنجاری ریز برگی که موجب ضعف تدریجی گیاه و در نهایت مرگ گیاه می‌شود به دلیل کمبود آهن می‌باشد (۱). به طور کلی علائم کمبود آهن ابتدا در برگ‌های جوان و قسمت‌های فوقانی گیاه ظاهر شده و در حالت پیشرفت‌هه تمامی گیاه را در بر می‌گیرد (۲۴). علت اصلی کلروز آهن نیترات‌ها و کربنات‌ها هستند (۱۴). غلاظت زیاد بی‌کربنات در محلول خاک باعث افزایش پ-هاش خاک و شیره آوند چوبی می‌شود. پ-هاش شیره آوند چوبی نیز با پ-هاش آپوپلاست برگ در ارتباط است. یکی از مکانیسم‌ها برای کمبود آهن که زیاد مورد توجه است، کاهش در دسترس بودن ترکیبات آهن در گیاه است، و این مکانیسم توسط

به مدت یک شب درون یخچال قرار داده شد. ده میلی‌لیتر از هر نمونه در سانتریفیوژ با سرعت ۲۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۷ دقیقه و دمای ۴°C قرار داده شد. سپس میزان کلروفیل a و b و کارتوئینیدها با استفاده از دستگاه طیفسنج در طول موج‌های ۶۵۳، ۶۶۶ و ۶۷۰ نانومتر، در محلول فوکانی اندازه‌گیری و محاسبه شد (۱۰).

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۲ گرم برگ تازه وزن شده و در هاون کوبیده شد. سپس با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیک ٪۳ مخلوط شده و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال قرار داده شد. سپس نمونه نگهداری شده در یخچال را صاف کرده و پس از افزودن ۲ میلی‌لیتر از عصاره به همراه ۲ میلی‌لیتر ناین‌هایدرین (برای تهیه ناین‌هایدرین ۱/۵ گرم ناین‌هایدرین خالص با ۲۴ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و ۳۶ میلی‌لیتر اسید استیک ۶ مولار مخلوط گردید و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک، یک ساعت در حمام آب گرم (با دمای ۱۰ درجه سلسیوس) گذاشت، در نهایت فاز بالایی محلول را جدا کرده و میزان جذب نمونه در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف سنج (اسپکتروفتومتر مدل T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd شد. آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵٪ توسط آزمون دانکن انجام شد.

## نتایج

### پ-هاش و EC محلول غذایی

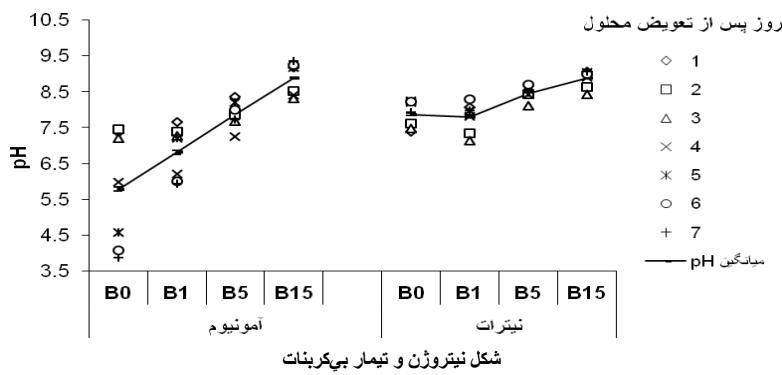
تغییرات پ-هاش محلول غذایی در روزهای مختلف پس از تعویض محلول (به مدت یک هفته)، در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش غلظت بیکربنات در تیمار آمونیوم، میانگین پ-هاش محلول غذایی در روزهای مختلف هفته به صورت خطی افزایش پیدا کرد و در تیمار بدون بیکربنات، کاهش شدید پ-هاش در طول یک هفته مشاهده شد، که این اسیدی شدن به خاطر وجود آمونیوم در محلول غذایی بود.

عناصر کم مصرف نیز به صورت کلات آهن (۰/۲۰ میکرومولار، Fe-EDDHA)، سولفات منگنز (۰/۷ میکرومولار)، کلرید روی (۰/۸ میکرومولار)، سولفات مس (۰/۸ میکرومولار)، اسید بوریک (۰/۲ میکرومولار) و مولیبدات سدیم (۰/۸ میکرومولار) به کار رفت (۲۲). بسته به تیمار مورد استفاده، نیتروژن به دو صورت سولفات آمونیوم (۰/۵ میلی‌مولا نیتروژن)، یا نیترات کلسیم (۰/۵ میلی‌مولا نیتروژن) افزوده شد. برای جبران کلسیم، ۵ میلی‌مولا کلرید کلسیم به تیمار سولفات آمونیوم اضافه شد. هم‌زمان با عناصر غذایی دیگر، بیکربنات سدیم نیز در ۴ سطح صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولا به محلول غذایی اضافه شد. محلول غذایی درون گلدان‌ها هر هفته عوض می‌شد. پس از این که گیاهان به مرحله شروع گل‌دهی رسیدند خصوصیات اکوفیزیولوژیک آنها شامل شدت فتوستتر (میکرومول CO<sub>2</sub> بر متر مربع بر ثانیه)، میزان تعرق (میکرومول بر مول آب)، Z<sub>CO<sub>2</sub></sub> کارآیی مصرف آب (میکرومول CO<sub>2</sub> بر مول آب)، (PAR) روزنها (میکرومول بر مول) و تشبع فعال فتوستتری (میکرومول بر متر مربع بر ثانیه)، با دستگاه آنالیزور گاز مادون قرمز (مدل ۴-ADC، LCA ساخت شرکت هادسدون انگلستان) اندازه‌گیری شد.

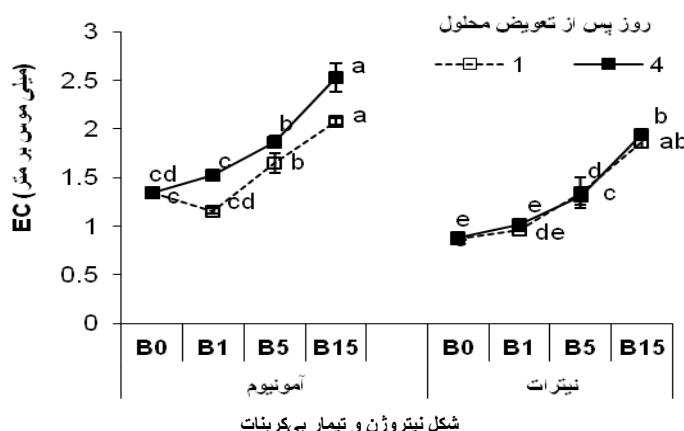
کارآیی آب مصرفی از نسبت میزان فتوستتر به میزان تعرق طبق فرمول زیر به دست آمد:

$$WUE = \frac{A}{B} \quad (1)$$

که در آن: WUE کارآیی آب مصرفی بر حسب میکرومول بر میلی‌مول، A شدت فتوستتر بر حسب میکرومول بر متر مربع بر ثانیه و B میزان تعرق بر حسب میلی‌مول بر متر مربع بر ثانیه است. بازده مزوپیل (مول CO<sub>2</sub> بر متر مربع بر ثانیه) از تقسیم شدت فتوستتر بر CO<sub>2</sub> زیر روزنها به دست آمد (۳۱ و ۳۲). کلروفیل a، b و کارتوئینیدها با استفاده از متانول از بافت برگ استخراج شدند. برای این منظور، ۰/۲ گرم برگ تازه در یک هاون روی ظرف یخ برای جلوگیری از تجزیه کلروفیل ساییده شد و در حین ساییدن ۲۵ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه شد. نمونه به دست آمده را درون لوله‌های پلاستیکی ریخته و



شکل ۱. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر pH- هاش محلول غذایی در محیط کشت لوبيا سبز. شکل نیتروژن و تیمار بی‌کربنات در غلظت‌های صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار است.



شکل ۲. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر هدایت الکتریکی محلول غذایی در دوره رشد لوبيا سبز. حروف متفاوت بین تیمارها (در داده‌های مربوط به روز نمونه‌گیری مشابه) نشانه اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد. شکل نیتروژن و تیمار بی‌کربنات در غلظت‌های صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار است.

غلظت‌های مختلف بی‌کربنات در تیمار نیترات کمتر از تیمار آمونیوم بود.

در تیمار آمونیوم، در مرحله اول نمونه‌برداری، یعنی یک روز بعد از تعویض محلول غذایی گیاهان، با افزودن ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات، کاهش اندکی در میزان هدایت الکتریکی به وجود آمد که معنی‌دار نبود (شکل ۲). در غلظت ۵ میلی‌مولار، هدایت الکتریکی افزایش داشت و در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات میزان هدایت الکتریکی با همان شبی قبلی افزایش پیدا کرد. در مرحله دوم نمونه‌برداری، یعنی ۴ روز بعد از تعویض محلول غذایی گیاهان، هدایت الکتریکی پس از غلظت یک میلی‌مولار بی‌کربنات به طور پیوسته افزایش داشته و

در غلظت ۱ میلی‌مولار، بی‌کربنات کاهش پ-هاش را تا حدی کنترل کرد. یعنی بی‌کربنات جلوی کاهش شدید پ-هاش در طول زمان را گرفته و با وجود محدوده تغییرات کمتر در غلظت ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات این تغییرات پ-هاش در طول هفته باز هم کمتر شده، و در نهایت در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بیشترین میانگین و کمترین نوسان پ-هاش در طول زمان مشاهده شد. یعنی بی‌کربنات در این غلظت توانسته اثر آمونیوم را خنثی کرده، باعث افزایش پ-هاش محلول غذایی شود. در تیمار نیترات، با گذشت زمان، پ-هاش محلول غذایی در غلظت‌های بیشتر از ۱ میلی‌مولار بی‌کربنات افزایش پیدا کرد، اگرچه نوسانات پ-هاش در

جدول ۱. اثر متقابل شکل نیتروژن و بیکربنات بر شاخص SPAD، کلروفیل a، کلروفیل b و کارتوئیدها در گیاه لوبیا سبز

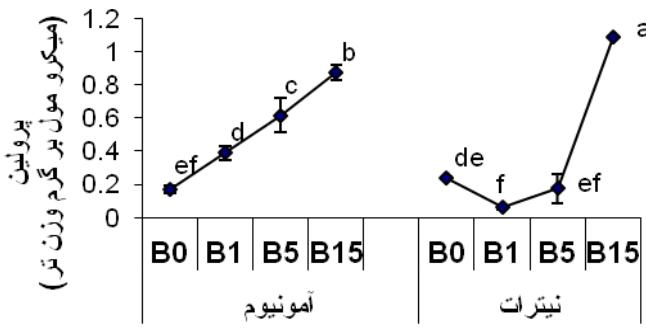
شکل نیتروژن	بیکربنات (mM)	شاخص SPAD	کلروفیل a (mg g <sup>-1</sup> fw)	کلروفیل b (mg g <sup>-1</sup> fw)	کارتوئید (mg g <sup>-1</sup> fw)
آمونیوم	۰	۳۹/۵±۰/۲۹a	۱/۶۵۴±۰/۰۵۸ ab	۱/۱۵±۰/۰۶ab	۱/۰۸±۰/۰۴ab
۱	۳۹/۱±۰/۲۴a	۱/۸۷±۰/۲۷۱ ab	۱/۳۱±۰/۲۱a	۱/۲۵±۰/۱۸ab	۰/۹۷±۰/۰۴bc
۵	۳۷/۸±۰/۶۳a	۱/۴۶۸±۰/۰۴۹ abc	۱/۱۳±۰/۰۳ab	۰/۸۴±۰/۰۸bc	۰/۷۲±۰/۰۶cd
۱۵	۳۴/۱±۰/۶۲b	۱/۰۹۵±۰/۰۹۴ cd	۲/۰۱۶±۰/۰۶۶a	۱/۴۲±۰/۰۱a	۱/۳۵±۰/۰۴a
۱	۳۳/۹±۱/۰۹b	۱/۹۲±۰/۱۲۵ ab	۱/۰۰±۰/۲ab	۱/۴۲±۰/۱a	۱/۲۸±۰/۰۸ab
۵	۲۷/۵±۰/۹۲d	۱/۴۴۲±۰/۳ bc	۰/۷۰۷±۰/۱۱۱d	۰/۰۸±۰/۰۷c	۰/۴۶±۰/۰۷d
تیمار	df	میانگین مربعات			
N	۱	۰/۰۰۰۰۰۳۲۶۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۴۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۰۰۰۳۸ <sup>ns</sup>	۵۹۸/۳۰**
B	۳	۰/۵۷**	۰/۵۱**	۰/۲۰**	۱۳۲/۴۷**
NxB	۳	۰/۲۷**	۰/۲۵**	۰/۰۹**	۱۵۶/۵۵**
خطا	۱۶	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۱/۸۵
CV (%)		۱۸/۲۳	۱۸/۵۹	۱۹/۳۳	۴/۱۷

\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار

اثر متقابل شکل نیتروژن و بیکربنات بر شاخص SPAD، میزان رنگیزهای گیاهی و پرولین با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، تأثیر مربوط به غلظت‌های مختلف بیکربنات و شکل نیتروژن و اثر متقابل آنها بر شاخص SPAD از نظر آماری در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد. مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص SPAD نشان داد که در تیمار نیتروژن آمونیومی، با افزودن غلظت‌های مختلف بیکربنات، میزان شاخص SPAD کاهش پیدا کرد که این کاهش فقط در تیمار ۱۵ میلی‌مolar بیکربنات معنی دار بود. در تیمار نیتروژن نیتراتی، با افزودن یک میلی‌مolar بیکربنات، میزان شاخص SPAD به طور معنی داری افزایش پیدا کرد. ولی با افزایش بیشتر بیکربنات (۵ و ۱۵ میلی‌مolar) شاخص SPAD کاهش یافت. کمترین مقدار شاخص SPAD مربوط به تیمار

تنها تغییر قابل بیان افزایش شب خیز برای هدایت الکتریکی در غلظت ۱۵ میلی‌مolar بیکربنات بود و بیشترین میزان هدایت الکتریکی در بین غلظت‌های مختلف بیکربنات مربوط به غلظت ۱۵ میلی‌مolar بیکربنات بود.

در تیمار نیترات، میزان هدایت الکتریکی در هر دو مرحله نمونه‌برداری (۱ و ۴ روز بعد از تعویض محلول) مشابه بوده و نمودار آنها بر هم منطبق شد. در رابطه با غلظت بیکربنات مشاهده شد که با افزایش غلظت بیکربنات میزان هدایت الکتریکی به طور پیوسته افزایش داشت و بیشترین شب خیز این نمودار در غلظت ۱۵ میلی‌مolar بیکربنات بود. در کل، میزان هدایت الکتریکی در محلول غذایی حاوی آمونیوم در همه غلظت‌های بیکربنات بیشتر از محلول غذایی حاوی نیترات بود.



شکل نیتروژن و تیمار بی‌کربنات

شکل ۳. اثر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر غلظت پرولین در اندام هوایی گیاه لوپیا سبز. حروف متفاوت بین تیمارها نشانه اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

B0، B1، B5 و B15 به ترتیب بی‌کربنات در غلظت‌های صفر، ۱، ۵ و ۱۵ میلی‌مولار است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر بی‌کربنات و تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات در سطح ۱٪ بر مقدار کارتنتوئیدها معنی‌دار بود. در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی‌داری بر کارتنتوئیدها نداشت. بیشترین و کمترین غلظت کارتنتوئیدها همان گونه که در جدول ۱ آمده، متعلق به تیمار نیتروژن نیتراتی و به ترتیب با غلظت بی‌کربنات صفر و ۱۵ میلی‌مولار بود. در تیمار آمونیوم، غلظت کارتنتوئیدها در سطح ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات نسبت به شاهد کاهش یافت. در مورد تیمار نیترات کاهش چشمگیری بین تیمارهای صفر و یک میلی‌مولار بی‌کربنات با ۵ میلی‌مولار وجود داشت و این کاهش در تیمار ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بیشتر بود. نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به تیمارهای مختلف بر میزان پرولین در شکل ۳ آورده شده است. در تیمار آمونیوم، مقدار پرولین با افزایش غلظت بی‌کربنات به طور پیوسته افزایش یافت. در تیمار نیترات، میزان پرولین با افزودن یک میلی‌مولار بی‌کربنات مقداری کاهش نشان داد. در صورتی که در غلظت ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات میزان پرولین نسبت به تیمار یک میلی‌مولار افزایش داشت و در غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات به بیشترین مقدار در بین تمام تیمارها رسید. کمترین مقدار پرولین در بین همه تیمارها، در تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات و در نیتروژن نیتراتی دیده شد (شکل ۳).

نیترات و غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات بود و بیشترین مقدار شاخص SPAD در تیمار نیتروژن آمونیومی با غلظت صفر میلی‌مولار بی‌کربنات مشاهده شد. در کل، در همه غلظت‌های بی‌کربنات، شاخص SPAD در تیمار آمونیوم بیشتر از تیمار نیترات بود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات بر کلروفیل a در سطح ۱٪ معنی‌دار بود؛ در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار بدون بی‌کربنات با نیترات به دست آمد. هم‌چنین افزایش غلظت بی‌کربنات باعث کاهش غلظت کلروفیل a شد و کمترین مقدار کلروفیل a نیز در تیمار نیترات و غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات مشاهده شد. در مورد تیمار آمونیوم با افزایش غلظت بی‌کربنات، مقدار کلروفیل a کاهش پیدا کرد. البته در تیمار یک میلی‌مولار بی‌کربنات، افزایش جزیی در مقدار کلروفیل a دیده شد که معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات بر کلروفیل b در سطح ۱٪ معنی‌دار بود، و علی‌رغم معنی‌دار نبودن اثر شکل نیتروژن بر غلظت کلروفیل b، تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بی‌کربنات در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. با توجه به جدول ۱، تنها غلظت ۱۵ میلی‌مولار بی‌کربنات میزان کلروفیل b را در هر دو تیمار نیتروژنی کاهش داد.

جدول ۲. اثر متقابل شکل نیتروژن و بیکربنات بر فتوستز، تعرق، کارآئی مصرف آب، بازده مزوپیل، PAR و  $\text{CO}_2$  زیر روزنہ در گیاه لوپیا سبز

شکل نیتروژن (میلی مولار)	بیکربنات (میلی مولار)	فتوستز ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	تعرق ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	کارآئی مصرف آب ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ )	بازده مزوپیل ( $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Zir Ruzne ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )
آمونیوم	۰	۴/۴۵±۰/۲۲b	۱/۵۳±۰/۲۱a-d	۲/۹۷±۰/۲۳۱a	۰/۰۰۶۴±۰/۰۰۰۵b	۳۵۷/۳±۱۲/۵۵bc	۷۲۱±۱۱۲/۱a
نیترات	۱	۲/۳۷±۰/۱۷cd	۱/۲۸±۰/۱۱d	۱/۸۷±۰/۰۸۶b	۰/۰۰۳۷±۰/۰۰۰۲cd	۳۹۳/۷±۴/۲۶b	۶۳۹/۱±۸/۱۲۹a
	۵	۲/۴۱±۰/۲۱cd	۱/۸۲±۰/۱ab	۱/۱۳۳±۰/۱۳۲bcd	۰/۰۰۳۸±۰/۰۰۰۴cd	۳۲۰/۰±۱۵/۳۷c	۶۳۷/۲±۲۰/۸۶a
	۱۵	۱/۷۸±۰/۱۲de	۱/۴۵±۰/۱۳bcd	۱/۲۵±۰/۰۷bcd	۰/۰۰۲۸±۰/۰۰۰۱de	۳۹۱/۷±۴/۹۱b	۶۳۰/۷±۳۱/۵۳a
	۰	۱/۴۶±۰/۲۱e	۱/۸±۰/۱۳ab	۰/۸۳±۰/۰۲۷d	۰/۰۰۲۳±۰/۰۰۰۱e	۳۴۹/۳±۱۷/۸۹bc	۶۶۹±۶۴/۸۳a
	۱	۵/۸۷±۰/۳۶a	۱/۸۵±۰/۱a	۳/۲۰±۰/۳۳۲a	۰/۰۰۸۸±۰/۰۰۰۴a	۴۴۰/۰±۱۳۱/۶۵a	۶۶۶/۴±۲۷/۶۵a
	۵	۲/۶۶±۰/۲۴c	۱/۷۱±۰/۰۳abc	۱/۵۶±۰/۱۴۲bc	۰/۰۰۴۳±۰/۰۰۰۶c	۳۸۴/۰±۱۵/۱۰b	۶۲۸/۶±۳۱/۴۴a
	۱۵	۱/۴۵±۰/۲۶e	۱/۳۷±۰/۰۸cd	۱/۰۵±۰/۱۵bcd	۰/۰۰۲۴±۰/۰۰۰۱e	۲۰۳/۰±۱۰/۵۸d	۶۱۰/۳±۲۸/۷۱a
میانگین مریعات						df	تیمار
۱۰۸۵/۴۱ns	۲۷۹۵/۰۴ns	۰/۰۰۰۰۰۰۳۹ns	۰/۲۳ns	۰/۱۶ns	۰/۰۷ns	۱	N
۶۳۹۳/۷۶ns	۱۴۳۲۱/۰۴**	۰/۰۰۰۰۱۳۴۲**	۲/۱۸**	۰/۱۳ns	۶/۴۷**	۳	B
۳۵۸۴/۸۸ns	۱۵۱۱۶/۵۶**	۰/۰۰۰۰۱۵۲۰**	۲/۳۲**	۰/۱۴*	۷/۳۶**	۳	NxB
۷۸۱۵/۶۹	۷۸۶/۹۱	۰/۰۰۰۰۰۶۱۶	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۱۶	۱۶	خطا
۱۳/۰۹	۷/۹۰	۱۴/۳۶	۱۷/۰۸	۱۲/۹۷	۱۴/۳۶	CV (%)	

\*\*, \* و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی داری ندارند.

که در تیمار نیترات با افزودن یک میلی مولار بیکربنات شدت فتوستز در گیاهان لوپیا سبز به شدت افزایش نشان داد که این مقدار بیشترین شدت فتوستز در بین همه تیمارهای مورد آزمایش بود. در ادامه، با افزایش غلظت بیکربنات اضافه شده به محلول غذایی، از شدت فتوستز کاسته شد که در غلظت ۱۵ میلی مولار بیکربنات به کمترین مقدار آن در بین همه تیمارهای موجود در آزمایش رسید. با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) تأثیرات مربوط به غلظت‌های مختلف بیکربنات و شکل نیتروژن بر میزان تعرق از نظر آماری معنی دار نشد. اما اثر متقابل شکل نیتروژن و بیکربنات در سطح احتمال ۵٪ معنی دار بود. بر اساس نتایج آزمون دانکن، سرعت تعرق در بین تیمارهای مختلف، اختلافات معنی داری نشان نداد، و تنها اختلاف معنی دار قابل توجه بین تیمار یک میلی مولار بیکربنات در نیتروژن نیتراتی با تیمار یک میلی مولار بیکربنات همراه با آمونیوم بود که به

## اثر متقابل شکل نیتروژن و بیکربنات بر ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر غلظت‌های مختلف بیکربنات و تأثیر متقابل شکل نیتروژن و بیکربنات بر شدت فتوستز در سطح ۱٪ معنی دار شد؛ در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی داری نداشت. بر اساس نتایج آزمون دانکن، بیشترین شدت فتوستز در نیتروژن آمونیوم، در تیمار شاهد به دست آمد. در صورتی که در نیتروژن نیتراتی، حداکثر شدت فتوستز در غلظت یک میلی مولار بیکربنات مشاهده شد. کمترین شدت فتوستز در هر دو شکل تیمار نیتروژنی متعلق به غلظت ۱۵ میلی مولار بیکربنات بود. همان‌گونه که در جدول ۲ ملاحظه می‌گردد در تیمار آمونیوم، با افزایش غلظت بیکربنات، شدت فتوستز در گیاهان کاهش یافت، البته بین غلظت‌های ۱ و ۵ میلی مولار بیکربنات اختلاف معنی داری دیده نشد. در صورتی

بر مقدار PAR در سطح ۱٪ معنی دار بود؛ در صورتی که شکل نیتروژن اثر معنی داری نداشت. تغییرات میزان PAR در نیتروژن آمونیومی روند مشخصی نداشت. اما در نیتروژن نیتراتی، با افزوده شدن یک میلی مولار بی‌کربنات نسبت به شاهد مقدار PAR افزایش نشان داد و با افزایش بیشتر بی‌کربنات دوباره کاهش یافت (جدول ۲). اثر تیمارهای مختلف بر میزان  $\text{CO}_2$  زیر روزنه معنی دار نشد (جدول ۲).

### بحث

مهتمترین قسمت گیاه که بیش از همه تحت تأثیر تغذیه نیتروژن و یا تنش بی‌کربنات قرار می‌گیرد، بخش فتوستز کننده گیاه، یعنی کلروفیل است (۱۳). شاخص سبزینگی (SPAD) نشان‌دهنده رنگ سبز برگ می‌باشد که می‌تواند به عنوان شاخصی مناسب در ارزیابی میزان نیتروژن گیاه و اثر تنش‌هایی مثل تنش بی‌کربنات بر گیاه مورد استفاده قرار گیرد. ارتباط مستقیمی بین شاخص سبزینگی و مقدار کلروفیل برگ وجود دارد و ارقام مقاوم به بی‌کربنات مقدار شاخص سبزینگی بیشتری نسبت به ارقام حساس دارند (۱۵). اگرچه، با این که در این آزمایش اثر شکل نیتروژن بر میزان شاخص SPAD در برگ‌های لوبيا سبز معنی دار شد، ولی بر کلروفیل a، b و کارتنتوئیدها اثر معنی داری نداشت. همچنین اثر بی‌کربنات و تأثیر متقابل آن با شکل نیتروژن بر مقدار شاخص SPAD، کلروفیل a، b و کارتنتوئیدها در برگ‌های لوبيا سبز معنی دار شد. اثر غلظت‌های بی‌کربنات بر کاهش شاخص SPAD، کلروفیل a، b و کارتنتوئیدها در تیمار نیترات بیشتر از تیمار آمونیوم بود. در یک آزمایش که روی خیار انجام شد، میزان کلروفیل a و b و کارتنتوئیدها در برگ‌های گیاهان تغذیه شده با نیترات بیشتر غلظت ۵ میلی مولار نسبت به گیاهان تغذیه شده با آمونیوم در بود. در صورتی که افزایش غلظت آمونیوم تا ۱۰ میلی مولار باعث کاهش مقدار آن در گیاه شد (۲۲). علت افزایش کلروفیل این است که آمونیوم باعث افزایش جذب بعضی عناصر از جمله آهن و منیزیم می‌شود که در ساخت کلروفیل نقش دارند.

ترتیب بیشترین و کمترین میزان تعرق در بین تیمارها را داشتند. لذا، تیمار آمونیوم نسبت به تیمار نیترات، میزان تعرق را کاهش داده است. البته این اثر آمونیوم در غلظت‌های بیشتر بی‌کربنات تا حدی تعديل شده است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر مربوط به غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و اثر متقابل آن با شکل نیتروژن بر کارآیی مصرف آب در سطح ۱٪ معنی دار شد. در صورتی که از نظر آماری، شکل نیتروژن به تنها یک تأثیر معنی داری بر کارآیی مصرف آب نداشت. نتایج آزمون دانکن در مورد نیتروژن نیتراتی نشان داد که یک میلی مولار بی‌کربنات باعث افزایش معنی دار کارآیی مصرف آب نسبت به شاهد شد (جدول ۲). بی‌کربنات ۵ میلی مولار نیز در این شکل نیتروژن کارآیی مصرف آب را کمی افزایش داده اما این میزان نسبت به تیمار یک میلی مولار بی‌کربنات کمتر بود. برخلاف تیمار نیترات، در تیمار آمونیوم کاهش معنی دار کارآیی مصرف آب در غلظت یک میلی مولار بی‌کربنات نسبت به بی‌کربنات صفر مشاهده شد و این روند کاهش با افزایش غلظت بی‌کربنات در بین بقیه تیمارها نیز دیده شد. کمترین مقدار کارآیی مصرف آب در بین همه تیمارها متعلق به تیمار شاهد بی‌کربنات در نیتروژن نیتراتی بود و بیشترین مقدار این فاکتور نیز مربوط به نیتروژن نیتراتی و تیمار یک میلی مولار بی‌کربنات بود.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و اثر متقابل آن با شکل نیتروژن بر مقدار بازده مزووفیل در سطح ۱٪ معنی دار بود؛ در صورتی که شکل نیتروژن به تنها یک اثر معنی داری بر این فاکتور نداشت. با توجه به جدول ۲ میزان بازده مزووفیل در نیتروژن آمونیومی با افزایش غلظت بی‌کربنات کاهش نشان داد و بیشترین میزان آن در این شکل نیتروژن متعلق به تیمار شاهد (بی‌کربنات صفر) بود. ولی در نیتروژن نیتراتی بیشترین بازده مزووفیل مربوط به تیمار ۱ میلی مولار بی‌کربنات بود.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر غلظت‌های مختلف بی‌کربنات و تأثیر متقابل آن با شکل نیتروژن

مشاهده شد. در این آزمایش غلظت ۱۰ میلی مولار بیکربنات سدیم باعث کاهش ۴۷ درصدی در شاخص SPAD گیاه پریوش شد. اما بیشترین میزان SPAD در غلظت ۲/۵ میلی مولار بیکربنات مشاهده شد.

تعدیل اسمزی در سطوح فیزیولوژیک، به دلیل حفظ آماس سلولی، آثار ناشی از کاهش سریع پتانسیل آب برگ را خنثی می‌نماید و یکی از مکانیسم‌های مؤثر در سازگاری گیاهان به تنفس شوری و خشکی می‌باشد. این فرایند سازگاری، معمولاً از طریق جذب یون‌های غیر آلی و هم‌چنین تجمع محلول‌های سازگار حاصل می‌شود (۱۶). گیاهان در شرایط ناشی از تنفس شوری، به منظور کاهش پتانسیل آب سلول، معمولاً یون‌های معدنی را در واکوئل خود انباسته می‌کنند. هم‌زمان با تجمع یون‌های غیر آلی در واکوئل‌ها، گیاهان هم‌چنین می‌توانند محلول‌های آلی با وزن مولکولی کم را به منظور ممانعت از آب‌زادایی و محافظت از ماکرومولکول‌های زیستی در سیتوپلاسم ستز نمایند. انواع محلول‌های سازگار شامل قندهای محلول، پرولین، بتائین، پروتئین‌های محلول و پلی‌الکل‌ها می‌باشند که در شرایط تنفس در سیتوپلاسم تجمع یافته و غشاء‌های سلولی را در برابر غلظت بالای یون‌های غیر آلی و انواع اکسیژن واکنش‌گر حفاظت می‌کنند (۳۰). در آزمایش حاضر، در تیمار آمونیوم، مقدار پرولین با افزایش غلظت بی-کربنات سدیم به طور پیوسته افزایش یافت. در تیمار نیترات، میزان پرولین با افزودن یک میلی مولار بیکربنات مقداری کاهش نشان داد. در صورتی که در غلظت ۵ میلی مولار بیکربنات میزان پرولین نسبت به تیمار یک میلی مولار افزایش داشت و در غلظت ۱۵ میلی مولار بیکربنات به بیشترین مقدار در بین تمام تیمارها رسید. بنابراین، تنفس بیکربنات در گیاهان رشد کرده در آمونیوم به تدریج و با افزایش غلظت بیکربنات ایجاد شده است. در صورتی که در تیمار نیترات در غلظت‌های کم بیکربنات تنفس وجود نداشته و یا حداقل تنفس ایجاد شده و با افزایش غلظت بیکربنات به ۱۵ میلی مولار تنفس شدیدی به گیاه وارد شده است. تغییرات پ-هاش محلول غذایی نیز

اما احتمالاً در آزمایش حاضر میزان حساسیت لوبيا به آمونیوم آنقدر زیاد بوده که اجازه افزایش جذب این عناصر را نداده است. هم‌چنین در این آزمایش بیکربنات اضافه شده به محلول غذایی، علاوه بر این که اثر اسیدی کردن محیط توسط آمونیوم را تقریباً خنثی کرده است، با بالا بردن قلیائیت منجر به غیرفعال شدن آهن و در نتیجه ایجاد کلروز برگ‌ها و کاهش میزان سبزینه و کلروفیل a و b و کارتنتوئیدها شده است. در شرایط کمبود آهن، سنتز کلروفیل به مقدار زیادی کاهش می‌یابد که عمدتاً مربوط به از بین رفتن پروتئین است و از طرفی موجب تخریب ساختار کلروپلاست می‌شود. اصلی‌ترین نتیجه زردی حاصل از آهن، کاهش فتوسنتز برگ‌هاست (۱۳). وقتی که دانه‌الهای آواکادو در خاک‌های آهکی رشد کردند کلروفیل و کاتالاز در برگ‌های جوان ۵ تا ۳۰ درصد کمتر بود (۲۶). در آزمایشی که روی لوبيا انجام شد، افزایش غلظت بیکربنات باعث کاهش غلظت آهن، کلروفیل و کارتنتوئید در برگ شد و نسبت کلروفیل a به b و کارتنتوئید به کلروفیل کل افزایش یافت (۱۲). با توجه به بالا بودن میزان آهن در گیاهان تیمار شده با بیکربنات (داده‌ها نشان داده نشده)، در آزمایش حاضر کاهش SPAD به دلیل کاهش غلظت آهن در برگ‌های لوبيا سبز نبوده بلکه احتمالاً به خاطر غیر فعال شدن آن در داخل گیاه بوده است (۲۴). در پژوهشی دیگر، اثر قلیائیت آب آبیاری بر چهار گونه‌ی داودی، رز، پریوش و بامیه بررسی شد (۲۸). غلظت ۲/۵ میلی مولار بیکربنات سدیم به مقدار کمی سبزینه گیاه داودی را کاهش داد؛ اما در غلظت ۷/۵ میلی مولار کلروز برگ‌ها مشاهده شد. کاربرد ۵ میلی مولار بیکربنات سدیم باعث کاهش ۲۱ درصدی شاخص SPAD شد و این کاهش در غلظت ۱۰ میلی مولار ۷۲٪ بود. بیکربنات سدیم رشد گیاه رز را تحت تأثیر قرار داد و در غلظت ۲/۵ میلی مولار مقداری از سبزینه گیاه کاسته شد و در ۵ میلی مولار نشانه‌های کلروز آشکار شد. بیکربنات سدیم رشد گیاه پریوش را نیز تحت تأثیر قرار داد (۲۸). در غلظت ۷/۵ میلی مولار بیکربنات مقداری از سبزینه گیاه کاسته شد. اما در غلظت ۱۰ میلی مولار کلروز شدید

که در این گیاهان غلظت آهن در ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی بیشتر بود، نتیجه‌گیری شد که سنتز کلروفیل به وسیله کاهش جابه‌جایی یا کاهش فعالیت آهن آسیب دیده بود. در آزمایشی، اثر سولفات‌سدیم و بی‌کربنات سدیم را در غلظت‌های صفر، ۵/۲ و ۷ میلی‌مولار بر رشد، تبادل گازها و ترکیبات معدنی در دو رقم کاهو مورد بررسی قرار دادند (۳۱). در این آزمایش در غلظت ۵ میلی‌مولار بی‌کربنات سدیم، کلروز بین رگبرگی مشاهده شد. افزایش غلظت بی‌کربنات سدیم باعث کاهش شدت فتوستز، تعرق و هدایت روزنه‌ای شد. نتایج مشابه در لوبيا (۲۷)، خیار (۶) و انجیر (۱۷) مشاهده شده است.

در آزمایشی که پاسخ مورفوفیزیولوژیک پنج واریته انگور به بی‌کربنات را مورد بررسی قرار داد، پارامترهای رشدی گیاه مثل وزن ساقه، مجموع سطح برگ، تعداد برگ، تولید زیست‌توده و مقدار کلروفیل در برگ‌های جوان بستگی به ژنوتیپ گیاه و غلظت بی‌کربنات داشت (۹). مقاومت انگور به کمبود آهن بستگی به توانایی گیاه در اسیدی کردن محیط و بهبود فعالیت Fe(III)-ریدوکتاز داشت. مقاومت بالای خمری به بی‌کربنات به فعالیت Fe(III)-ریدوکتاز و کاهش پ-هاش محیط کشت بستگی داشت. هم‌چنین در ریشه این رقم بیشترین مقدار فسفو انول پیرووات کربوکسیلاز مشاهده شد که این آنزیم ممکن است بیوسنتر و تجمع اسیدهای آلی را در شرایط کمبود آهن کنترل کند.

گزارش شده است که آمونیوم به عنوان منبع نیتروژن منجر به قطع واکنش فتوفسفريد می‌شود (۱۸). البته آنالیز فلورسانس کلروفیل نشان داد که اختلاف معنی‌داری در انتقال انرژی وجود ندارد. هم‌چنین برای بازدارندگی به وسیله نور شواهدی وجود ندارد و فرضیه فوق با این داده‌ها حمایت نشد.

ضرورت نیاز اسکلت کربنی برای اسیمیلاسیون آمونیوم در ریشه‌ها نه تنها باعث افزایش فعالیت PEPCase می‌شود (۲۳)، بلکه باعث افزایش تنفس و مصرف اکسیژن هم می‌شود (سرعت مصرف اکسیژن برای هر واحد وزن ریشه دو برابر می‌شود). در آزمایشی، کاربرد  $\alpha$ -کتوگلوتارات که یک منبع

تقریباً منطبق بر نتایج مربوط به پرولین بود که احتمالاً بین این دو پارامتر ارتباط وجود دارد. در گیاه جو، میزان پرولین تحت تنش قلیائیت به میزان قابل توجهی در مقایسه با گیاهان شاهد و گیاهانی که در معرض تنش شوری قرار گرفته بودند، افزایش یافت. در تیمار شوری، تجمع پرولین باشد و میزان بسیار کمتری در مقایسه با تنش قلیائیت صورت گرفت. تجمع پرولین در گیاه جو احتمالاً پاسخی در برابر نفوذ سدیم به گیاه باشد. پرولین می‌تواند به منظور برقراری تعادل فشار اسمزی با واکوئل‌ها و محافظت از ماکرومولکول‌ها در سیتوپلاسم توزیع یابد (۳۰). گیاهان شاهد توت هنگامی که در معرض تنش قلیائیت قرار گرفتند غلظت پرولین و قندهای محلول موجود در آنها با بالارفتن شدت تنش افزایش یافت، و میزان افزایش پرولین در رقم مقاوم بومی بیشتر از رقم حساس Sujanpuri بود (۲).

همبستگی مثبت بین میزان تجمع پرولین و مقاومت به نمک به عنوان یک شاخص جهت تعیین پتانسیل مقاومت به نمک بین ارقام پیشنهاد شده است (۱۹). بنابراین، با توجه به مزایای تجمع مواد محلول سازگار در گیاه به‌هنگام وقوع تنش و مشاهده غلظت‌های بیشتر پرولین در گیاهان تحت تنش بی‌کربنات، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تجمع پرولین یک مکانیسم اصلی در ایجاد مقاومت لوبيا سبز به تنش قلیائیت می‌باشد.

در این آزمایش اثر بی‌کربنات و اثر متقابل آن با نیتروژن بر شدت فتوستز معنی‌دار شد. بی‌کربنات باعث کاهش شدت فتوستز در هر دو گروه گیاهان رشد کرده در دو شکل نیتروژن شد که احتمالاً این اتفاق به خاطر تأثیر بی‌کربنات بر افزایش قلیائیت و کاهش مقدار آهن فعل در اندام هوایی باشد. با توجه به این که آهن نقش اساسی در سنتز کلروفیل دارد و میزان کلروفیل با شدت فتوستز نسبت مستقیم دارد، کمبود این عنصر در نتیجه افزایش غلظت بی‌کربنات باعث کاهش شدت فتوستز شده است (۲۴).

در پژوهشی، تیمار بی‌کربنات باعث کاهش مقدار آهن، شدت فتوستز و تعرق در لوبيا شد، که این کاهش هم در قلیائیت زیاد و هم در قلیائیت کم اتفاق افتاد (۱۲). از آنجایی

کاهش، کمتر بودن سرعت تعرق بود. هم‌چنان در طالبی و چوندرقدن نیز کاهش جذب آب به دنبال اضافه شدن بی‌کربنات مشاهده شده است (۳). در آزمایش حاضر، با توجه به تغییر جزئی تعرق و کاهش نسبتاً شدید نرخ فتوستز گیاهانی که غلظت‌های زیاد بی‌کربنات را دریافت کرده بودند، احتمالاً کارآیی مصرف آب نیز تحت تأثیر کاهش فتوستز قرار گرفته و کاهش یافته است.

### نتیجه‌گیری

از این آزمایش نتیجه‌گیری شد که در تیمار آمونیوم، بی‌کربنات در تمام غلظت‌ها باعث کاهش بازدهی فتوستزی و استفاده از آب توسط گیاه لوبیا سبز شد. در صورتی که در گیاهان تغذیه شده با نیترات، بی‌کربنات در غلظت کم (۱ میلی مولار) احتمالاً به دلیل تأمین مقداری دی‌اکسید کربن یا اسکلت کربنی برای گیاهان مفید نیز بود. با توجه به مزایای تجمع مواد محلول سازگار در گیاه به‌نگام وقوع تنش و مشاهده غلظت‌های بیشتر پرولین در گیاهان تحت تنش بی‌کربنات، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تجمع پرولین یک مکانیسم اصلی در ایجاد مقاومت لوبیا سبز به تنش قلیائیت می‌باشد. با توجه به تغییر جزئی تعرق و کاهش نسبتاً شدید نرخ فتوستز گیاهانی که غلظت‌های زیاد بی‌کربنات را دریافت کرده بودند، احتمالاً کارآیی مصرف آب نیز تحت تأثیر کاهش فتوستز قرار گرفته و کاهش یافته است.

اصلی کربن برای آسیمیلاسیون نیتروژن است، نشانه‌های سمیت آمونیوم را کم کرد. بنابراین، فقدان اسکلت کربنی در ریشه می‌تواند یکی از دلایل توقف رشد ریشه به وسیله آمونیوم باشد. این فقدان در ریشه تنها ناشی از سرعت بالای تنفس ریشه نیست، بلکه مربوط به آسیمیلاسیون آمونیوم در ریشه گیاهانی که با آمونیوم تغذیه می‌شوند نیز می‌شود، و این در حالیست که مواد تولید شده به شاخ و برگ منتقل می‌شوند و منجر به کاهش کربوهیدرات در ریشه و نسبت ریشه به شاخص ساره می‌شوند (۸). شکل نیتروژن تغییری در تعرق و کارآیی مصرف آب ایجاد نکرد؛ اما بی‌کربنات و اثر متقابل آن با نیتروژن، میزان تعرق و کارآیی مصرف آب را تغییر داد. میزان تعرق فقط در غلظت ۱۵ میلی مولار بی‌کربنات و در حضور نیترات کاهش معنی‌داری نسبت به غلظت صفر میلی مولار نشان داد. گزارش شده است که در گیاهانی که با بی‌کربنات تیمار شده‌اند، به ویژه در برگ‌های جدید، هدایت روزنیه‌ای کاهش می‌یابد (۱۱). نتایج محققین نشان می‌دهد که تعرق برگ کاهش یافته در تیمار بی‌کربنات روزنیه‌ای کاهش سطح برگ نیست، بلکه ناشی از کاهش هدایت روزنیه‌ای می‌باشد (۷). هم‌چنین مشاهده شده که هورمون ABA در گیاهانی که با بی‌کربنات تیمار شده‌اند افزایش یافته و جریان ABA از آوند آبکش به آوند چوب باعث کاهش هدایت روزنیه‌ای و متعاقب آن کاهش تعرق و بازده مزوپلی می‌شود (۱۱). در آزمایشی که روی گیاه لوبیا انجام شد، بی‌کربنات هدایت روزنیه‌ای و جذب آب از ریشه را کاهش داد (۷)، که عامل

### منابع مورد استفاده

- روستا، ح. ر. و ا. سجادی‌نیا. ۱۳۸۸. اثرات محلول‌پاشی نوعی کود کلات آهن بر خصوصیات اکوفیزیولوژیکی چهار رقم پسته تجاری ایران. مجله علوم و فنون باطنی ایران ۱۰: ۲۳۶-۲۷۴.
- Ahmad, P. and S. Sharma. 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under  $\text{NaHCO}_3$  stress. *Intl. J. Plant Prod.* 4(2): 79-86.
- Alder, P. R., G. E. Wilcox and A.H. Markhart. 1996. Ammonium decreases muskmelon root system hydraulic conductivity. *J. Plant Nutr.* 19: 1395-1403.
- Britto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2002.  $\text{NH}_4^+$  toxicity in higher plants. *J. Plant Physiol.* 159: 567-584.
- Britto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2005. Bioengineering N acquisition in rice: Can novel initiatives in rice genomics and physiology contribute to global food security? *BioEssays* 26: 683-692.
- Chartzoulakis, K. S. 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. *Sci. Hortic.* 59: 27-35.

7. Guo, S., H. Brtick and B. Sattelmacher. 2002. Effects of supplied nitrogen form on growth and water uptake of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants. *Plant Soil* 239: 267-275.
8. Hampton, C. R., H. C. Bowen, M. R. Broadley, J. P. Hammond, A. Mead, K. A. Payne, J. Pritchard and P. J. White. 2004. Cesium toxicity in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 136: 3824-3837.
9. Ksouri, R., A. Debez, H. Mahmoudi, Z. Ouerghi, M. Gharsalli and M. Lachaal. 2007. Genotypic variability within Tunisian grapevine varieties (*Vitis vinifera* L.) facing bicarbonate-induced iron deficiency. *Plant Physiol. Biochem.* 45: 315-322.
10. Lichtenthaler, H. K. and A. R. Wellburn. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 603: 591-592.
11. Lu, Y. X., C. J. Li and F. S. Zhang. 2005. Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels. *Ann. Bot.* 95: 991-998.
12. Luis, A. and R. W. David. 2008. Influence of potassium substitution by rubidium and sodium on growth, ion accumulation, and ion partitioning in bean under high alkalinity. *J. Plant Nutr.* 31(5): 867-883.
13. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup> Ed., Academic Press, Cambridge, UK.
14. Mengel, K. 1995. Iron availability in plant tissues: Iron chlorosis on calcareous soils. PP. 389-396. In: Abadia, J. (Ed.), Iron Nutrition in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
15. Nagarathnamma, R. 2006. Evaluation of groundnut genotypes for lime induced chlorosis tolerance. *Plant Soil* 140: 175-190.
16. Heuer, B. 2003. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. *Plant Sci.* 165: 693-699.
17. Okubo, M. and N. Utsunomiya. 1996. Effects of sodium chloride on growth, gas exchange and ion concentration in latex of fig (*Ficus carica* L.). *Environ. Cont. Biol.* 34: 259-265.
18. Padgett, P. E. and R. T. Leonard. 1996. Free amino acid levels and the regulation of nitrate uptake in maize cell suspension cultures. *J. Exper. Bot.* 47: 871-883.
19. Ramanjula, S. and C. Sudhakar. 2001. Alleviation of NaCl salinity stress by calcium is partly related to the increased proline accumulation in mulberry (*Morus alba* L.) callus. *J. Plant Biol.* 28: 203-206.
20. Raven, J. A. and F. A. Smith. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intercellular pH regulation. *New Phytol.* 76: 415-431.
21. Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. *J. Plant Nutr.* 23: 1629-1643.
22. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 30: 1933-1951.
23. Roosta, H. R. and J. K. Schjoerring. 2008. Effects of nitrate and potassium on ammonium toxicity in cucumber plants. *J. Plant Nutr.* 31: 1270-1283.
24. Roosta, H. R. 2010. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. *J. Plant Nutr.* 34(5): 717-731.
25. Ruiz, J. M., N. Castilla and L. Romero. 2000. Nitrogen metabolism in pepper plants applied with different bioregulators. *J. Agr. Food Chem.* 48: 2925-2929.
26. Salazar-Garcia, S. 1999. Iron nutrition and deficiency: A review with emphasis in avocado (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultur* 23: 67-76.
27. Seemann, J. R. and C. Critchley. 1985. Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behavior and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* 164: 151-162.
28. Valdez-Aguilar, L. A. 2004. Effect of alkalinity in irrigation water on selected greenhouse crops. Ph.D. Thesis, Texas A&M University, US.
29. Wahome, P. K., H. H. Jesch and I. Grittner. 2001. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose root stocks : *Rosa Chinensis* major and *R. rubiginosa*. *Sci. Hortic.* 87: 207-216.
30. Yang, C. W., H. H. Xu, L. L. Wang, J. Liu, D. C. Shi and D. L. Wang. 2009. Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. *Photosynthetica* 47(1): 79-86.
31. Zhilong, B., I. Tadashi and S. Yutaka. 2003. Effects of sodium sulfate and sodium bicarbonate on the growth, gas exchange and mineral composition of lettuce. *Sci. Hort.* 99: 215-224.