

## اثر سرکه چوب و اسیدآمینه پارال آمینوفول بر ویژگی‌های کمی و کیفی خیار گلخانه‌ای رقم کیهان

مهین اخلاص‌پور، فرزین عبدالهی\*، علیرضا یآوری

گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

### چکیده

اسیدآمینه پارال آمینوفول و سرکه چوب به دلیل خواص تقویتی و تنظیمی خود می‌توانند رشد گیاه، جذب مواد مغذی و کیفیت محصول را بهبود بخشند. این پژوهش اثر ترکیبات را بر رشد و ویژگی‌های کمی و کیفی خیار رقم کیهان در گلخانه هیدروپونیک در شهرستان ارزوئیه استان کرمان بررسی کرد. تیمارهای سرکه چوب (صفر، ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) و اسیدآمینه پارال آمینوفول (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) به صورت محلول در آب آبیاری قطره‌ای و همزمان در سه مرحله چهار برگه، گلدهی و برداشت اعمال شدند. آبیاری هر چهار روز یک بار انجام و تیمارها با آب آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفتند. تیمار سرکه چوب ۲ میلی‌گرم بر لیتر، ارتفاع بوته و قطر ساقه را به ترتیب ۶۹/۵۶ و ۱۱۷/۸۵ درصد افزایش داد. بیشترین تعداد میوه با اسیدآمینه ۱/۵ و سرکه چوب ۲ میلی‌گرم بر لیتر (۴۱/۳۳ عدد) و بیشترین طول میوه با تیمار اسیدآمینه ۱/۵ و سرکه چوب ۶ میلی‌گرم بر لیتر (۱۴/۸ سانتی‌متر) مشاهده شد. سفتی میوه با تیمار اسیدآمینه ۱/۵ و سرکه چوب ۲ میلی‌گرم بر لیتر تا ۲۲/۹۲ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع افزایش یافت و وزن میوه با اسیدآمینه ۱/۵ و سرکه چوب ۶ میلی‌گرم بر لیتر به میزان ۵۱/۳۶ گرم افزایش یافت. نتایج نشان داد که همه تیمارها محتوای مواد جامد محلول را نسبت به شاهد کاهش دادند و بیشترین کاهش در اثر تیمارهای اسیدآمینه ۱/۵ و سرکه چوب ۲ میلی‌گرم بر لیتر بود. همچنین بیشترین افزایش کلروفیل a در تیمار سرکه چوب ۲ میلی‌گرم بر لیتر بدون اسیدآمینه و ترکیب اسیدآمینه ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر با سرکه چوب ۶ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده شد. تیمار اسیدآمینه ۱/۵ و سرکه چوب ۲ میلی‌گرم افزایش کلروفیل b، کاروتنوئید، فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به شاهد ایجاد شد. نتایج نشان داد که کاربرد همزمان این دو ماده در شرایط هیدروپونیک می‌تواند رشد گیاه و کیفیت محصول را به طور چشمگیری بهبود بخشد و به عنوان روشی مؤثر در تولید خیار با عملکرد بالا توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: آنتی‌اکسیدان، اسیدآمینه، سرکه چوب، کیفیت میوه، فعالیت‌های فیزیولوژیکی

### مقدمه

سبزیجات جز مهمی از تغذیه انسان هستند (Ebabhi and

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱، اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۲

\* نویسنده مسئول، رایانامه: [fabdollahi@hormozgan.ac.ir](mailto:fabdollahi@hormozgan.ac.ir)



حق انتشار این مستند، متعلق به انجمن فیزیولوژی گیاهی ایران است. © ۱۴۰۳

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

استفاده می‌شود (De Guzman and Cababaro, 2021; Abdel- Sattar et al., 2024). سرکه چوب به‌طور گسترده برای اهداف مختلفی مانند دارویی، عطر دودی، تجمع مواد غذایی و پلاکتی و فعالیت آنتی‌درماتوفیت در داروسازی استفاده شده است (Theapparath et al., 2018). به‌ویژه در کشاورزی ارگانیک، بسیاری از مواد شیمیایی سمی با سرکه چوب جایگزین شده‌اند؛ ماده‌ای طبیعی که در کنترل بیماری‌ها و آفات، تحریک رشد گیاه، بهبود کیفیت میوه، تسریع جوانه‌زنی بذر و همچنین به‌عنوان علف‌کش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Abdolahipour and Haghighi, 2019).

اسیدهای آمینه برای تولید محرک‌های زیستی از طریق سنتز شیمیایی، از پروتئین‌های گیاهی (به‌عنوان مثال، جلبک، ذرت و سویا)، و همچنین از پروتئین‌های حیوانی با هیدرولیز شیمیایی یا آنزیمی به‌دست می‌آیند (Sun et al., 2024). اسیدهای آمینه اجزای اصلی پروتئین‌ها هستند و عملکردهای متعددی در گیاه دارند (Hildebrandt et al., 2015). گیاهان می‌توانند اسیدهای آمینه تولید کنند، اما این سنتز، انرژی زیادی مصرف می‌کند. بنابراین، استفاده از اسیدهای آمینه آماده برای جذب به گیاهان اجازه می‌دهد تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند و سرعت توسعه یا بازسازی خود را به ویژه در زمان‌های بحرانی توسعه گیاه افزایش دهند (Galili et al., 2016). آمینواسیدها نیز در صنعت محصولات کشاورزی به‌عنوان کلات یون‌های فلزی شناخته می‌شوند. ریزعنصر کلات‌شده با اسیدهای آمینه، مولکول‌های بسیار کوچک و از نظر الکتریکی خنثی را تشکیل می‌دهند که جذب و انتقال آن‌ها را در گیاه تسریع می‌کند (Ashmead, 2012). اسیدهای آمینه محرک شناخته شده‌ای هستند که اثرات مثبتی بر رشد، عملکرد گیاه دارند و به‌طور قابل توجهی آسیب‌های ناشی از تنش‌های غیرزیستی را کاهش می‌دهند (Nephali et al., 2020). با توجه به اهمیت تولید محصول با کیفیت و کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدآمینه بر خصوصیات کمی و کیفی خیار رقم کیهان در شرایط گلخانه‌ای طراحی و اجرا شد.

(Adebayo, 2022). خیار (*Cucumis sativus* L.) یکی از محبوب‌ترین اعضای خانواده Cucurbitaceae است که به‌عنوان سبزی تازه مصرف می‌شود و منبع عالی ویتامین K، لیگنین، فلاونوئیدها، تری‌ترپن‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد معدنی است (Sharma et al., 2024). خیار کالری بسیار کمی دارد و فاقد کلسترول یا چربی اشباع شده است. این گیاه چهارمین سبزی بعد از گوجه‌فرنگی و پیاز و کلم بوده و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین سبزیجات، مطرح است (Babatunde, 2022). خیار از محصولات باغی مهم در جهان است که در کشور ایران با تولید ۶۸/۸۳۰۹۱ تن، رتبه پانزدهم جهانی تولید این محصول را به خود اختصاص داده است. در سال ۲۰۲۲، میزان کل سطح زیرکشت خیار در ایران ۱۸۳۱۷ هکتار با عملکرد متوسط ۲۶۳۷۴۳ کیلوگرم در هکتار گزارش گردیده است (FAO, 2022). خیار گیاهی گرمادوست و حساس به سرما است که در دمای بالای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بهتر رشد می‌کند (Sun et al., 2024). خیار در شرایط نوری مناسب، رطوبت کافی، دمای مطلوب، رطوبت خاک و تغذیه مناسب به‌خوبی رشد می‌کند. به‌کارگیری سیستم‌های کشت کنترل‌شده، به‌ویژه کشت گلخانه‌ای، یکی از بهترین روش‌ها برای افزایش تولید در واحد سطح محسوب می‌شود (Wang et al., 2024). افزایش بهره‌وری و تولید میوه‌های خیار با کیفیت مطلوب یکی از اهداف مهم در کشت این محصول است که می‌توان با به‌کارگیری برخی مواد محرک به آن دست یافت (Trejo Valencia et al., 2018).

سرکه چوب (که به‌عنوان اسید پیروگلگنیوس نیز شناخته می‌شود، مایع قهوه‌ای شفاف است که از تراکم دود حاصل از فرآیند تولید زغال چوب تشکیل می‌شود) (Gama et al., 2024). بیش از ۲۰۰ ماده شیمیایی از جمله اسیدهای آلی، فنل‌ها، اسید استیک، دی‌متیل فنل، تری‌متیل فنل، استرها و پیریمیدین‌های نیتروژن در سرکه چوب یافت می‌شود (Aguirre et al., 2020). سرکه چوب برای بهبود کیفیت خاک، کنترل آفات و به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاه برای افزایش رشد ریشه، اندام هوایی، غده، برگ، گل و میوه و رشد و عملکرد

## مواد و روش‌ها

مراحل آماده‌سازی واحدهای آزمایشی، کاشت و داشت: این تحقیق در سال ۱۴۰۲، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه هیدروپونیک در شهرستان ارزوئیه استان کرمان با مختصات عرض جغرافیایی  $28^{\circ} 26'$  شمالی و طول جغرافیایی  $56^{\circ} 38'$  شرقی با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۰-۶۵ درصد انجام شد. نشاهای خیار رقم کیهان در کیسه‌های کشت ۱۸ لیتری در سیستم باز کشت هیدروپونیک مجهز به سامانه تغذیه قطره‌ای با بستر کشت کوکوپیت: پرلیت (۵۰:۵۰) کشت شد. هر واحد آزمایشی شامل دو ردیف کاشت با فواصل یک متر و تعداد دو کیسه کشت در هر ردیف بود (در هر واحد آزمایشی چهار کیسه کشت استفاده شد). فاصله بوته‌ها روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. محلول غذایی (جدول ۱) براساس دستورالعمل اختصاصی خیار (Papadopoulos, 1994) از طریق نازل‌ها به مدت دو دقیقه هر دو الی چهار ساعت یکبار تا زمان اولین خروج محلول غذایی از زهکش هر کیسه انجام شد. هدایت الکتریکی و pH محلول غذایی به ترتیب در حدود اعداد یک و شش ثابت بودند. در طول آزمایش به دلیل عدم مشاهده آفات و بیماری‌ها، از سموم شیمیایی استفاده نشد.

**اعمال تیمارها:** از سرکه چوب با غلظت‌های (صفر، ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم در لیتر) و اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت‌های (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) در مراحل (چهار برگی، گلدهی و برداشت میوه) به صورت ترکیبی، همراه با آبیاری به‌صورت سیستم هیدروپونیک هر چهار روز یکبار استفاده شد (Abdolahipour and Haghghi, 2019). ترکیبات تشکیل دهنده سرکه چوب (شرکت فصل پنجم، ایران) و اسیدآمینه پارال آمینوفول (PARAL, China) به ترتیب در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

سه هفته قبل از پایان برداشت، صفات ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ و تعداد برگ اندازه‌گیری شد. میوه‌ها زمانی نمونه‌برداری شدند که به حد برداشت تجاری رسیدند

(میانگین اندازه و رنگ مناسب برای بازار)، سپس وزن و کیفیت میوه‌ها ارزیابی شد.

**ارتفاع بوته، طول میوه و قطر ساقه و میوه:** در زمان برداشت اولین میوه‌ها ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش (سانتی‌متر) و طول میوه توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. قطر ساقه و میوه توسط کولیس با سه تکرار اندازه‌گیری شد (نجفی و همکاران، ۱۴۰۰). تعداد میوه‌های تشکیل‌شده در هر خوشه به صورت هفتگی شمارش شد و این روند تا پایان اولین دوره برداشت که معادل چهار هفته یا تعداد چهار مرحله برداشت هفتگی بود، ادامه یافت. در این مدت تمام میوه‌های قابل برداشت از هر خوشه ثبت شدند.

**سطح برگ:** سطح برگ با نرم‌افزار Digimizer، پس از اسکن تمام برگ‌های سبز و سالم و بر حسب سانتی‌متر مربع بدست آمد. برای این منظور بعد از جداسازی تمام برگ‌های هر بوته، توسط اسکنر (EPSON L3156) با نرم‌افزار Sigma Scanner Pro با وضوح ۳۰۰ نقطه در هر اینچ از برگ‌ها تصویربرداری شد و سپس سطح برگ با استفاده از تصاویر بدست آمده و توسط نرم‌افزار Digimizer نسخه ۵/۷/۲ محاسبه شد (Carvalho et al., 2017).

**سفتی، وزن و عملکرد میوه:** سفتی بافت میوه خیار با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج دستی دیجیتال (Turoni, 53205, Italy) و با قطر پیستون ۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. پس از جداسازی پوست، اندازه‌گیری در قسمت میانی میوه (ناحیه استوایی) انجام گرفت تا نتایج یکنواخت و قابل مقایسه باشد و مقادیر بر حسب نیوتن محاسبه گردید (Barriga-Tellez et al., 2011). میوه‌ها در طی دوره رسیدگی از بوته‌ها برداشت و با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن شدند. در پایان آزمایش، مجموع وزن میوه‌ها محاسبه و به‌عنوان عملکرد میوه در واحد سطح (کیلوگرم در متر مربع) بیان گردید.

**مواد جامد محلول کل (TSS) و اسید آسکوربیک:** ویژگی کیفی میوه شامل مواد جامد محلول کل (TSS) که با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی، مدل DBR95 برحسب عدد بریکس سنجیده شد. آسکوربیک اسید عصاره میوه بر

جدول ۱- میزان عناصر غذایی استفاده شده در محلول اختصاصی خیار

| نیتروژن          | فسفر | پتاسیم | کلسیم | منیزیم | آهن | منگنز | روی | بر  | مس  | مولیبدن |
|------------------|------|--------|-------|--------|-----|-------|-----|-----|-----|---------|
| میلی گرم در لیتر |      |        |       |        |     |       |     |     |     |         |
| ۱۹۰              | ۴۲   | ۲۶۰    | ۱۴۵   | ۳۵     | ۲   | ۰/۷۵  | ۰/۵ | ۰/۴ | ۰/۱ | ۰/۰۵    |

جدول ۲- میزان ترکیبات تشکیل دهنده سرکه چوب

| آهن  | روی  | بر  | کربن آلی | نیتروژن | گوگرد آلی | منگنز | کلسیم | فسفر | اسید هیومیک | اسید فولیک |
|------|------|-----|----------|---------|-----------|-------|-------|------|-------------|------------|
| درصد |      |     |          |         |           |       |       |      |             |            |
| ۱۴۰۴ | ۵۴/۸ | ۴۰۰ | ۱۰       | ۰/۹۵    | ۷/۵       | ۰/۰۲  | ۰/۰۳  | ۰/۰۴ | ۰/۵۵        | ۸/۱۴       |

جدول ۳. میزان اسیدهای آمینه موجود در اسید آمینه پارال آمینوفول (گرم در ۱۰۰ گرم محصول)

| پروлін | سرین | گلوتامیک اسید | گلايسين | لیوسین | والین | آسپارتیک اسید | آرژنین | ترئونین | آلانین |
|--------|------|---------------|---------|--------|-------|---------------|--------|---------|--------|
| ۹/۳۰   | ۹/۲۶ | ۹/۰۳          | ۶/۷۲    | ۶/۵۳   | ۶/۵۱  | ۶/۰۴          | ۵/۲۹   | ۴/۳۴    | ۴/۱۳   |

ادامه جدول ۳-

| فنیل آلانین | ایزولیوسین | سیستین | لایسین | تیروزین | هیستیدین | متیونین | هیدروکسی پرولین | هیدروکسی لایزین | جمع کل |
|-------------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|-----------------|-----------------|--------|
| ۴/۰۳        | ۳/۹۹       | ۱/۶۴   | ۱/۶۲   | ۰/۷۹    | ۰/۵۷     | ۰/۴۱    | ۰/۲۲            | ۰/۰۲            | ۸۰/۴۳  |

حسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم نمونه تازه، با روش تیتراسیون با ۲ و ۶ دی کلروفل ایندوفنل (Nielsen, 2017) اندازه گیری شد. **کلروفیل a, b و کاروتنوئید:** مطابق روش (Arnon, 1956)، نیم گرم میوه تازه در داخل هاون چینی با ۱۰ میلی لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد. عصاره حاصل برای ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد. از محلول رویی مقدار ۳ میلی لیتر به داخل کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و مقدار جذب برای کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید به ترتیب در طول موج های ۶۶۳، ۶۴۷ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{Chl.a} = (12.25 A_{663}) - (2.79 A_{647})$$

$$\text{Chl.b} = (21.50 A_{647}) - (5.10 A_{663})$$

$$\text{Car} = (1000 A_{470} - 1.82 \text{Chl a} - 85.02 \text{Chl b}) / 198$$

**تهیه عصاره میوه:** برای تهیه عصاره، ابتدا یک گرم میوه در ۴۰ میلی لیتر اتانول ۷۰٪ حجمی به مدت چهار و نیم ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد عصاره گیری شد. عصاره حاصل

توسط قیف بوختر صاف و سپس در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک گردید. کل ماده استخراجی (عصاره خشک) به صورت گرم در ۱۰۰ گرم ماده تر گیاهی بدست آمد. **فنل:** برای اندازه گیری میزان فنل برگ از روش فولین-سیوکالتو استفاده شد. برای این منظور نیم میلی لیتر محلول اتانولی عصاره میوه با غلظت ۰/۳۲ میلی گرم در میلی لیتر، ۴/۵ میلی لیتر آب مقطر و نیم میلی لیتر فولین-سیوکالتو با هم مخلوط شد. پس از پنج دقیقه، ۵ میلی لیتر کربنات سدیم هفت درصد به مخلوط اضافه می شود. پس از گذشت یک تا یک و نیم ساعت میزان جذب محلول در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر مدل Cecil CE2501 انگلستان خوانده شد. برای محاسبه غلظت ترکیبات فنلی، از منحنی استاندارد گالیگ اسید استفاده شد. جهت رسم منحنی استاندارد غلظت های ۰/۰۰۶۲۵ تا ۰/۲ میلی گرم بر لیتر گالیگ اسید، تهیه شد. مقدار یک میلی لیتر از محلول های استاندارد، در لوله آزمایش ریخته و میزان جذب نور خوانده شد. پس از رسم

منحنی استاندارد، از معادله به دست آمده برای تعیین غلظت ترکیبات فنلی استفاده شد (Ilic et al., 2017)

**ظرفیت آنتی اکسیدان:** ابتدا ۵۰۰ میکرولیتر عصاره با ۲۵۰۰ میکرولیتر DPPH مخلوط شد. جذب آنتی اکسیدان به صورت دو مرحله‌ای و به فاصله ۳۰ دقیقه (زمان اول بعد از مخلوط کردن دو محلول با هم، زمان دوم نیم ساعت در تاریکی قرار گرفت) در طول موج جذبی ۵۱۷ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Cecil CE2501) انجام گرفت (Zhu et al., 2009).

**فلاونوئید:** جهت تعیین میزان فلاونوئید کل، ۲ میلی لیتر محلول اتانولی عصاره میوه خیار با غلظت ۰/۱ میلی گرم در میلی لیتر با ۲/۸ میلی لیتر آب مقطر، ۰/۱ میلی لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۰/۱ میلی لیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد مخلوط شد و به مدت ۴۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفت. در نهایت جذب نور محلول در طول موج ۴۱۴ نانومتر با دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد. جهت رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف استاندارد کوئرستین (صفر، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر میلی لیتر) استفاده شد (Ilic et al., 2017).

این تحقیق بصورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. آنالیز آماری داده‌ها (تجزیه واریانس) توسط نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد ارزیابی شد. نمودارها با استفاده از برنامه Excel رسم شد.

## نتایج و بحث

**ارتفاع بوته:** براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر متقابل تیمارها بر ارتفاع بوته خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). در هر سطح کاربرد سرکه چوب، اسیدآمین پاران آمینوفول یک پاسخ منفی وابسته به غلظت نشان داد؛ به این معنی که با افزایش غلظت، ارتفاع بوته گیاه خیار کاهش یافت (شکل ۱a). بیشترین ارتفاع بوته با

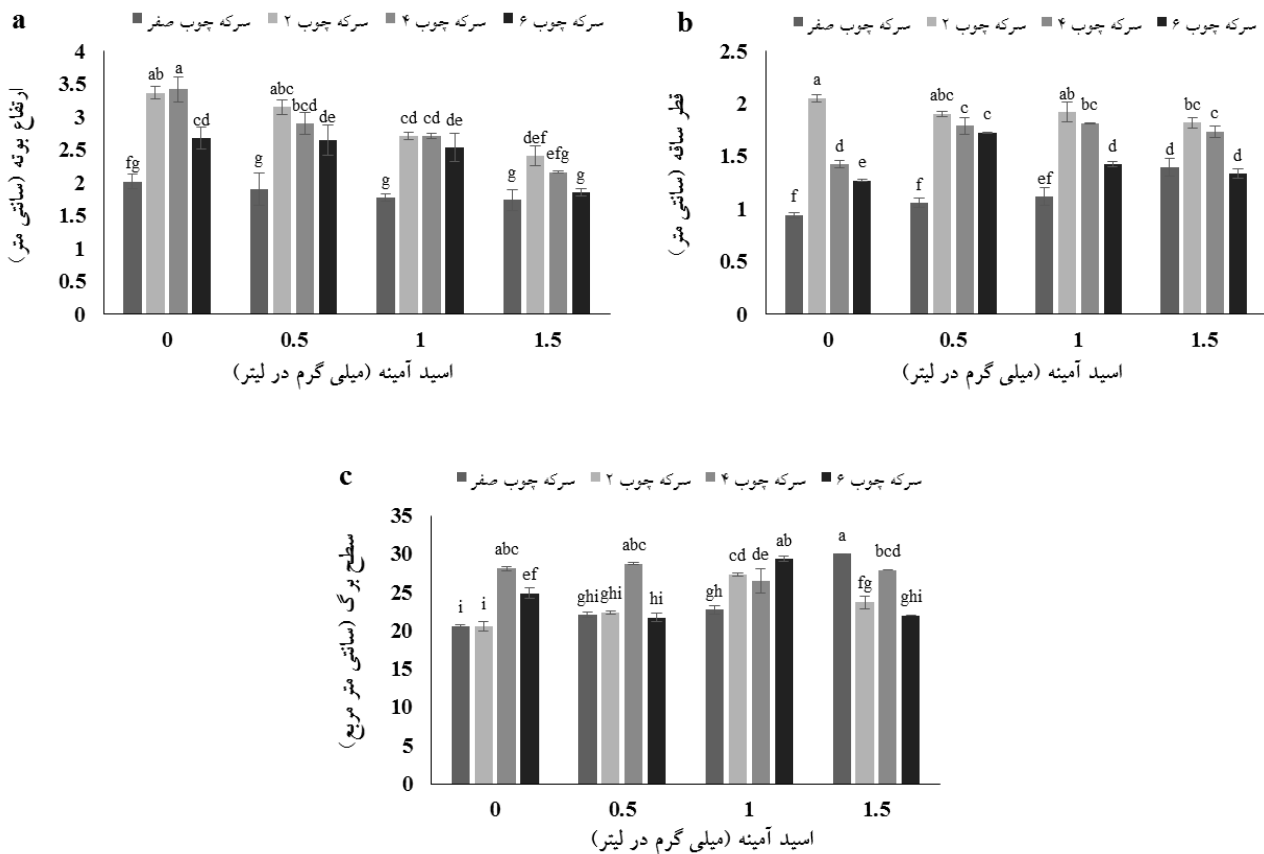
مقدار ۳/۴۱ سانتی متر در تیمار سرکه چوب به میزان ۴ میلی گرم در لیتر و بدون استفاده اسیدآمین مشاهده شد که نشان دهنده بهترین شرایط رشد است. به طوری که این تیمار باعث افزایش ۶۹/۵۶ درصد ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱a). افزایش معنی دار ارتفاع بوته خیار تحت تأثیر تیمار سرکه چوب می تواند به دلیل ویژگی های محرک رشد این مواد باشد. سرکه چوب نیز به دلیل دارا بودن ترکیبات فنلی و اسیدهای آلی می تواند ساختار خاک را بهبود بخشیده و جذب مواد مغذی را افزایش دهد (Abdel-Sattar et al., 2024). مطالعات روی ذرت نشان داد که به کارگیری سرکه چوب به عنوان محرک رشد، ارتفاع گیاه را افزایش می دهد. این اثر احتمالاً ناشی از بهبود ساختار خاک و افزایش جذب مواد مغذی توسط گیاه بوده است (Karimian et al., 2022). مطالعه ای نشان داد که کاربرد سرکه چوب در گیاه برنج منجر به افزایش قابل توجهی در ارتفاع بوته ها به دلیل حضور ترکیبات آلی موجود در سرکه چوب و افزایش فعالیت میکروبی در خاک شد (Jeong et al., 2015). نشان داده شده است که سطوح بالای نیتروژن، از جمله در فرم های آلی مانند اسیدهای آمینه، می تواند بیان ژن های درگیر در بیوسنتز جیبرلین را سرکوب کند. از آنجایی که جیبرلین ها هورمون های اولیه مسئول طول شدن سلول در ساقه هستند، کاهش بیوسنتز آن ها مستقیماً منجر به میان گره های کوتاه تر در گیاه می شود (Tudzynski, 2005).

**قطر ساقه:** نتایج جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر قطر ساقه گیاه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). در هر سطح سرکه چوب، افزایش غلظت اسیدآمین تا غلظت ۱ گرم در لیتر باعث افزایش قطر ساقه در مقایسه با شاهد شد ولی در غلظت بالاتر (۱/۵ میلی گرم در لیتر) این روند کاهشی شد. در مجموع تأثیر سرکه چوب بر افزایش قطر ساقه بیشتر از اسیدآمین بود به طوری که در تیمار سرکه چوب با غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر و عدم کاربرد اسیدآمین افزایش معنی داری در قطر ساقه به میزان ۱۱۷/۸۵ درصد نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۱b). سرکه

جدول ۴- تجزیه واریانس تیمارهای اسیدآمینه و سرکه چوب بر صفات مورفولوژیک میوه خیار رقم کیهان

| منابع تغییرات        | درجه آزادی | میانگین مربعات |          |          |            |          |
|----------------------|------------|----------------|----------|----------|------------|----------|
|                      |            | ارتفاع بوته    | قطر ساقه | سطح برگ  | تعداد میوه | طول میوه |
| اسیدآمینه            | ۳          | ۰/۱۲۸ ns       | ۰/۲۴۱**  | ۳/۸۶ ns  | ۱۰۰۰/۶۳**  | ۸/۶۴**   |
| سرکه چوب             | ۳          | ۰/۲۹۲*         | ۰/۴۶۶**  | ۰/۰۳۷۹** | ۷۸/۷۴**    | ۹/۳۶**   |
| اسیدآمینه × سرکه چوب | ۹          | ۱/۷۱۰**        | ۰/۳۵۱**  | ۵۱/۴۳**  | ۱۴۲/۲۶**   | ۱/۶۷**   |
| خطای آزمایش          | ۳۲         | ۰/۰۷۷۹         | ۰/۰۱۱۹   | ۱/۴۲     | ۳/۵۶       | ۰/۴۹۵    |
| ضریب تغییرات (%)     | -          | ۱۱/۷۸          | ۷/۰۷     | ۴/۷۸     | ۷/۰۱۷      | ۵/۶۴     |
| قطر میوه             | -          | -              | -        | -        | -          | ۰/۴۵۶**  |

ns، \*\*، \*\*\* به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی دار



شکل ۱- اثر متقابل سطوح سرکه چوب و اسیدآمینه پارال آمینوفول بر (a) ارتفاع بوته (b) قطر ساقه (c) سطح برگ گیاه خیار رقم کیهان. میانگین‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

اسیدآمینه‌ها به‌عنوان پیش‌سازهای هورمون‌های گیاهی مانند اکسین و سیتوکنین‌ها عمل می‌کنند که تأثیر زیادی بر رشد ساقه و دیگر بخش‌های گیاه دارند (Ghassemi-Golezani and Samea-Andabjadid, 2022). مطالعات نشان داده‌اند که اثر اسیدهای آمینه بر ویژگی‌های

چوب باعث تحریک تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین می‌شود که مسئول فرآیندهای رشد گیاه مانند افزایش طول و قطر ساقه است (Zhu et al., 2024). همچنین، سرکه چوب می‌تواند موجب بهبود جذب مواد مغذی از خاک شود که این امر نیز به تقویت رشد ساقه کمک می‌کند (He et al., 2025).

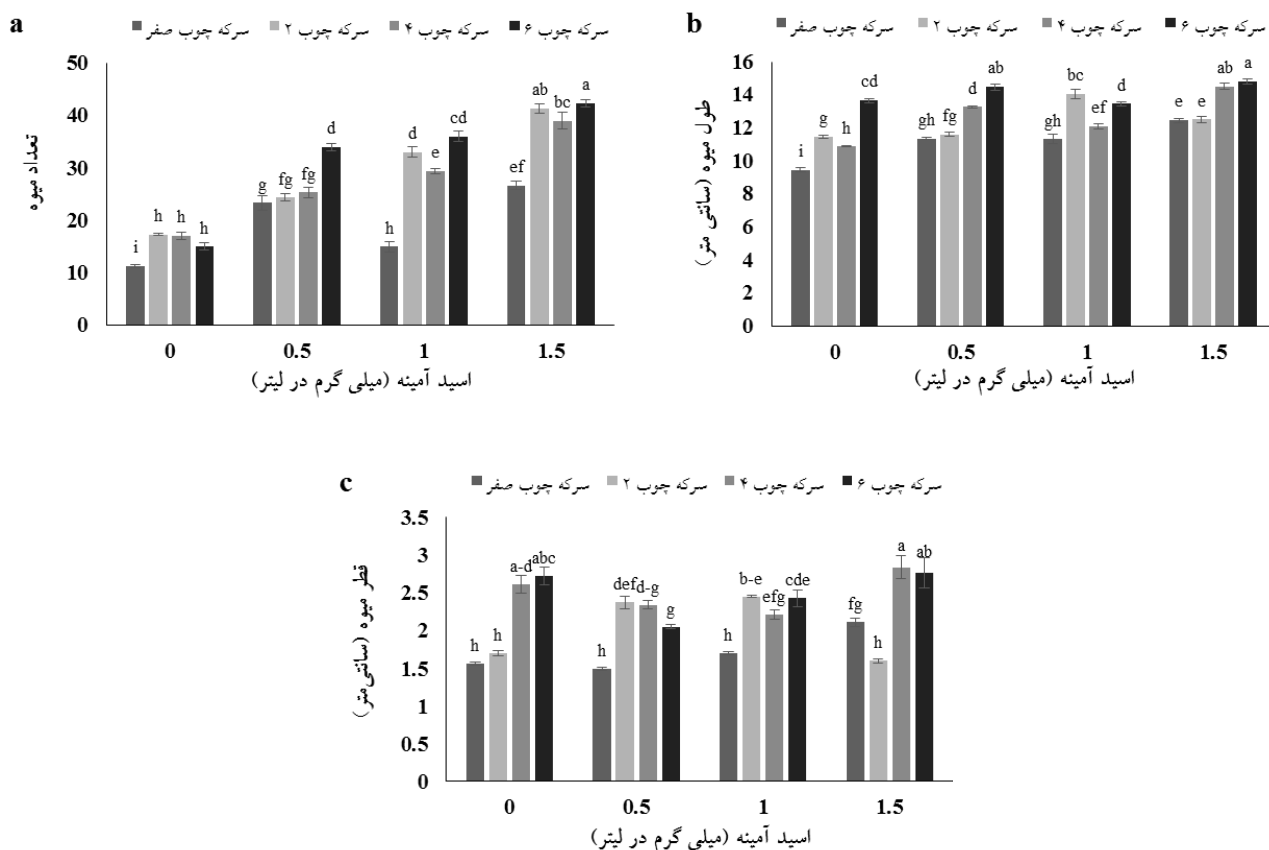
2024). افزایش غلظت اسیدآمینها و ترکیبات طبیعی مانند سرکه چوب، به دلیل افزایش دسترسی به ترکیبات فعال زیستی، منجر به بهبود سطح برگ گیاهان می شود ( Afsharipour et al., 2024).

**تعداد میوه:** بر طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر متقابل تیمارها بر تعداد میوه خیار رقم کیهان در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). تیمار اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر و سرکه چوب ۶ میلی گرم بر لیتر سبب افزایش معنی دار تعداد میوه به میزان ۵۸/۷۷ درصد در مقایسه با شاهد شد. پس از آن، اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر بیشترین تعداد میوه را با میانگین ۴۱/۳۳ عدد نشان داد (شکل ۲a). کاربرد اسیدآمینها می تواند انتقال مواد غذایی و سنتز هورمون‌هایی نظیر اکسین و سیتوکینین را افزایش دهد که در نهایت به تولید بیشتر میوه منجر می شود. همچنین، استفاده از سرکه چوب در غلظت‌های پایین موجب افزایش تعداد گل و میوه می گردد، اما در غلظت‌های بالاتر به دلیل تجمع ترکیبات فنلی مضر، اثر معکوس دارد ( Zaman et al., 2015; Elshahawy and Darwesh, 2023). پژوهشی نشان داد که استفاده از اسیدآمینها (مخصوصاً گلايسين و متيونين) باعث افزایش تعداد میوه در گیاه فلفل دلمه‌ای شد ( Ghoname et al., 2012).

**طول و قطر میوه:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تیمارها بر طول و قطر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). بیشترین طول میوه از تیمار اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر به میزان ۱۴/۸ سانتی متر مشاهده شد (شکل ۲b). پس از آن، تیمارهای اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر به همراه سرکه چوب با غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر و اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر همراه با سرکه چوب با غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر به ترتیب با مقادیر ۲۷/۴۸ و ۱۶/۴۶ درصد در مقایسه با شاهد سبب افزایش معنی دار طول میوه شد

رویش گیاهان بسیار پیچیده است. به طوری که افزایش غلظت برخی اسیدهای آمینه به ویژه آلانین، باعث ایجاد اثر آنتاگونیستی بر سایر اسیدهای آمینه و در نتیجه کاهش رشد در گیاه می شوند ( Trovato et al., 2021). از طرف دیگر به نظر می رسد که افزایش غلظت برخی اسیدهای آمینه به ویژه تریپتوفان (به عنوان پیش نیاز سنتز اکسین) باعث افزایش سنتز و تجمع بیش از حد اکسین در گیاه شده و این موضوع باعث کاهش رشد گیاه می شود ( Corpas et al., 2021).

**سطح برگ:** نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تیمارها بر سطح برگ گیاه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار اسیدآمینه ۱/۵ میلی گرم بر لیتر بدون سرکه چوب سطح برگ‌ها را ۴۵/۸۰ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۱c). افزایش سطح برگ تحت تیمارهای اسیدآمینه و سرکه چوب به علت تأثیر آن‌ها بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه است ( Srisompan and Theerakulpisut, 2019). اسیدآمینها به عنوان پیش ساز پروتئین‌ها آنزیم‌ها در ساختار سلولی و فرآیندهای حیاتی گیاه، نقش مهمی دارند و باعث افزایش سنتز پروتئین‌ها و آنزیم‌های مرتبط با فتوسنتز و تقسیم سلولی می شوند که این امر به تولید برگ‌های بزرگ‌تر و افزایش سطح برگ منجر می شود (Planchet and Limami, 2015). از سوی دیگر، سرکه چوب با ترکیبات آلی و اسیدهای مختلف، جذب مواد مغذی را تسهیل کرده و باعث تحریک تولید هورمون‌های رشد می شود که موجب بهبود فرآیندهای فتوسنتزی و در نتیجه افزایش سطح برگ می گردد (Abdel-Sattar et al., 2024). این اثرات به ویژه در غلظت‌های بالاتر اسیدآمینه و سرکه چوب مشاهده می شود، که به طور معنی داری موجب افزایش سطح برگ می شوند. در مطالعه‌ای بر روی ذرت، تیمار با اسیدآمینهای پرولین و آرژنین سطح برگ را در مقایسه با شاهد به طور قابل توجهی تا ۴۲ درصد افزایش داد (Al-Janabi et al., 2021). تیمار سرکه چوب با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر، سطح برگ را در سه رقم ذرت به میزان ۵۰٪ افزایش داد ( Iacomino et al.,



شکل ۲- اثر متقابل سطوح سرکه چوب و اسیدآمینه پارال آمینوفول بر (a) تعداد میوه (b) طول میوه (c) قطر میوه گیاه خیار کیهان. میانگین‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

همه این عوامل در رشد طولی میوه تأثیرگذار هستند (De Smet et al., 2015). نتایج مشابهی گزارش شده که نشان می‌دهد اسیدآمینها به دلیل تأثیر بر افزایش محتوای نیتروژن و سنتز پروتئین، موجب افزایش رشد میوه در انگور می‌شوند (Gutierrez-Gamboa et al., 2020). این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از اسیدآمینها نه تنها در بهبود رشد رویشی بلکه در افزایش رشد زایشی مؤثر است. در مطالعه حاضر نیز اثرات مثبت سرکه چوب به ترکیبات آلی فعال موجود در آن نسبت داده شد، که با بهبود جذب مواد مغذی و تقویت فرآیندهای متابولیکی گیاه، رشد و توسعه میوه را ارتقاء می‌دهد (Mungkunkamchao et al., 2013; Afsharipour et al., 2024). استفاده ترکیبی از اسیدآمینها و ترکیبات آلی مانند هیومیک اسید با عصاره‌های گیاهی می‌تواند باعث هم‌افزایی شده و به‌طور قابل توجهی رشد طولی میوه را افزایش دهد

(شکل 2b). ترکیب تیماری اسیدآمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۸۲/۰۵ درصدی قطر میوه نسبت به شاهد شد (شکل 2c). افزایش طول میوه در پاسخ به تیمارهای اسیدآمینه و سرکه چوب می‌تواند به علت اثرات مثبت این مواد بر متابولیسم گیاه و تحریک فرآیندهای رشد باشد (Abdel-Sattar et al., 2024). اسیدآمینها به‌عنوان پیش‌ساز مسیرهای بیوشیمیایی مختلف عمل کرده و در سنتز پروتئین‌ها، تنظیم هورمون‌ها، افزایش تقسیم سلولی و کشیدگی سلولی، و در نهایت افزایش طول میوه تأثیر دارند (Li et al., 2021). از سوی دیگر، سرکه چوب حاوی ترکیبات فنلی و مواد معدنی است که می‌تواند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی را تقویت کند، میزان هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین را افزایش دهد و مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی را بهبود بخشد، که

نرم شدن میوه در طول دوره نگهداری می شود ( Oms-Oliu *et al.*, 2011). سرکه چوب حاوی ترکیبات فنلی و آلی است که می تواند فعالیت آنزیم های تجزیه کننده دیواره سلولی را کاهش دهند و از نرم شدن میوه جلوگیری کنند ( Shiekh *et al.*, 2021). استفاده از سرکه چوب در میوه سیب موجب حفظ کیفیت بافتی و افزایش سفتی آن شد. همچنین، ترکیب تیمارهای آلی مانند اسیدآمینها و مواد فنلی باعث افزایش کیفیت بافتی میوه انگور گردید (Serra *et al.*, 2023).

**وزن و عملکرد میوه:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تیمارها بر وزن و عملکرد میوه در سطح احتمال یک درصد معنی دار است (جدول ۵). بیشترین افزایش معنی دار وزن میوه مربوط به تیمار اسیدآمین پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر با مقدار ۵۱/۳۶ گرم بود (شکل ۳b). این تیمار موجب افزایش ۱۰۸/۷۸ درصدی وزن میوه خیار در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳). این اثرات به دلیل نقش اسیدآمینها در بهبود فعالیت های دخیل در متابولیسم کربوهیدرات و تولید انرژی است (Haro *et al.*, 2019). کاربرد اسیدآمینها در خیار موجب افزایش وزن میوه به دلیل بهبود جذب عناصر و توسعه سلولی شد (Souri *et al.*, 2017). در مطالعه Mungkunkamchao و همکاران (۲۰۱۳) استفاده از سرکه چوب در گوجه فرنگی وزن میوه را به طور قابل توجهی افزایش داد. پژوهش Glew و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که استفاده از تیمارهای زیستی مانند اسیدآمینها و ترکیبات آلی باعث افزایش وزن میوه (*Mespilus germanica* L.) می شود. همچنین، Al-Suhaibani و همکاران (۲۰۲۰) به تأثیر ترکیبات آلی بر بهبود ویژگی های کیفی و کمی محصولات کشاورزی اشاره کردند. عملکرد میوه در تمامی تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۵). افزایش عملکرد میوه در تیمارها به دلیل بهبود متابولیسم گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، و تقویت فرآیندهای فتوسنتزی است. اسیدآمینها به عنوان تنظیم کننده های رشد، به بهبود تقسیم سلولی و توسعه میوه کمک می کند (Bisht *et al.*, 2018). تیمار اسیدآمین گلوتامین با غلظت ۱ میلی مولار موجب

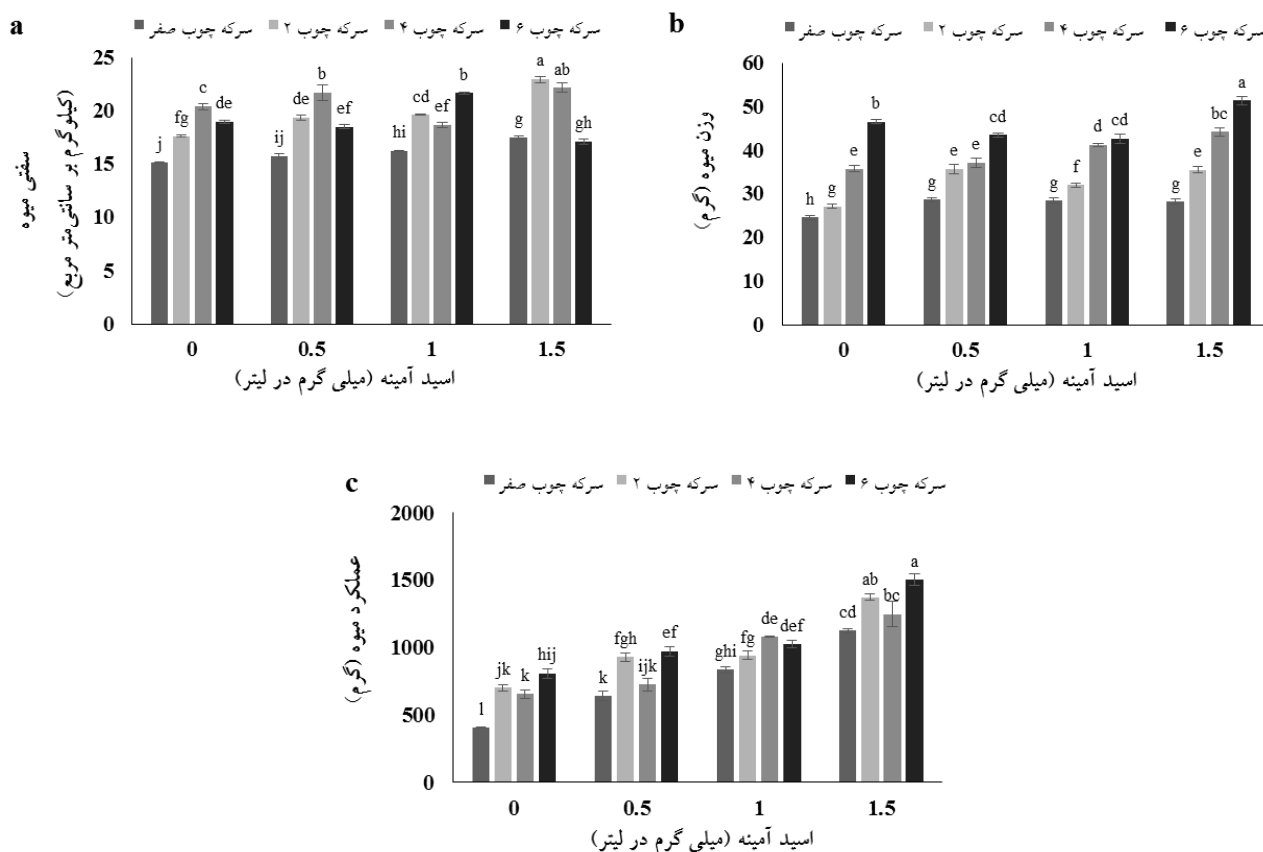
(Fernandes *et al.*, 2023). اسیدآمینها می توانند جذب عناصر غذایی (مانند نیتروژن و پتاسیم) را افزایش داده و به تقویت رشد سلولی و گسترش دیواره سلولی کمک کنند (Karthika *et al.*, 2018). افزایش قطر میوه احتمالاً به علت افزایش تقسیم سلولی ناشی از تنظیم هورمونی است که توسط اسیدآمینها تحریک می شود (Li and Grierson, 2021). استفاده از اسید آمینها در گیاهان باغی مانند انگور و خربزه موجب افزایش ابعاد میوه و بهبود کیفیت آن می شود (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2020; Lecholocho *et al.*, 2022). سرکه چوب حاوی ترکیبات آلی و معدنی است که به افزایش جذب مواد مغذی توسط ریشه ها و بهبود وضعیت آنتی اکسیدانی گیاه کمک می کند (Benzon and Lee, 2016). استفاده از سرکه چوب باعث افزایش اندازه میوه و بهبود عملکرد در گیاهان گوجه فرنگی می شود (Mungkunkamchao *et al.*, 2013). اثر مثبت سرکه چوب بر قطر میوه خیار در این مطالعه نیز می تواند به تنظیم تولید هورمون هایی مانند اکسین و سیتوکینین مرتبط باشد که نقش مهمی در گسترش میوه دارند (De Smet *et al.*, 2015).

**سفتی میوه:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل تیمارها بر سفتی میوه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). افزایش سفتی میوه با افزایش غلظت تیمارها مشاهده شد. در تیمار اسیدآمین پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر سبب افزایش معنی دار سفتی میوه به میزان ۲۲/۹۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع شد (شکل ۳a). این تیمار منجر به افزایش سفتی میوه به میزان ۳۱/۳۶ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۳). اسیدآمینها می توانند به واسطه نقش شان در سنتز پروتئین ها و تنظیم فعالیت آنزیم های مرتبط با دیواره سلولی (مانند سلولاز و پلی گالاکتوروناز) باعث افزایش سفتی میوه شوند (Hong *et al.*, 2024). افزایش سفتی در تیمار اسیدآمین به احتمال زیاد به تقویت ساختار دیواره سلولی و کاهش تخریب پکتین مربوط است. استفاده از اسیدآمینها در میوه گوجه فرنگی موجب حفظ سفتی و کاهش

جدول ۵- تجزیه واریانس تیمارهای اسید آمینه و سرکه چوب بر صفات مورفوفیزیولوژیک میوه خیار رقم کیهان

| منابع تغییرات         |  | درجه آزادی | سفتی میوه | وزن میوه | عملکرد       | مواد جامد محلول | آسکوربیک اسید |
|-----------------------|--|------------|-----------|----------|--------------|-----------------|---------------|
| اسید آمینه            |  | ۳          | ۱۰/۵۴**   | ۱۵۹/۲۹** | ۲۲۳۲۰/۱/۴۶** | ۱/۳۳**          | ۰/۳۳۳**       |
| سرکه چوب              |  | ۳          | ۴۶/۰۸**   | ۸۰۰/۷۰** | ۳۰۲۷۴۸/۹۲**  | ۰/۶۲۵**         | ۰/۷۰۷**       |
| اسید آمینه × سرکه چوب |  | ۹          | ۱۲/۰۷**   | ۱۹۷/۲۵** | ۲۴۱۲۶۸/۱۱**  | ۰/۵۲۲**         | ۰/۳۱۶**       |
| خطای آزمایش           |  | ۳۲         | ۱/۹۶      | ۹/۱۲     | ۶۲۳۷/۸       | ۰/۲۲۱           | ۰/۱۵۰         |
| ضریب تغییرات (%)      |  |            | ۷/۴۶      | ۸/۴۱     | ۸/۴۵         | ۱۰/۸۶           | ۱۸/۹۰         |

ns, \*\*, \*\*\* به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار

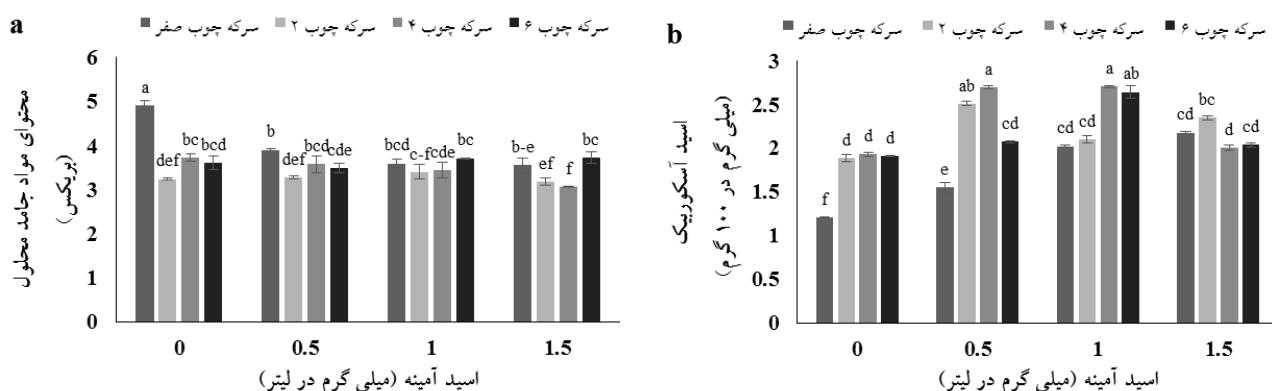


شکل ۳- اثر متقابل سطوح سرکه چوب و اسید آمینه پارال آمینوفول بر (a) سفتی (b) وزن (c) عملکرد میوه خیار رقم کیهان. میانگین‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

(et al., 2024).

**مواد جامد محلول کل:** نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر محتوای مواد جامد محلول میوه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). کاهش محتوای مواد جامد محلول در تمامی

افزایش ۲۵ درصدی عملکرد میوه سیب نسبت به شاهد شد. این افزایش به دلیل تقویت فرآیندهای متابولیکی و کاهش تنش‌های اکسیداتیو بود (Mosa et al., 2021). تیمار اسید آمینه در غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش ۲۰ درصدی عملکرد میوه فلفل دلمه‌ای در مقایسه با شاهد شد (Moosavi



شکل ۴- اثر متقابل سطوح سرکه چوب و اسیدآزمینه پارال آمینوفول بر (a) محتوای مواد جامد محلول کل (b) اسید آسکوربیک میوه خیار رقم کیهان. میانگین‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

تیمارها نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۴). بیشترین کاهش مواد جامد محلول با اسیدآزمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر با مقدار ۳/۰۶ به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۳۷/۶۷ درصد کاهش را نشان داد (شکل ۴a) و بیشترین در شاهد ۴/۹۱ درجه بریکس مشاهده شد (شکل ۴). کاهش محتوای مواد جامد محلول در نتیجه استفاده از ترکیبات خاص مانند سرکه چوب و اسیدآزمینه‌ها معمولاً به‌علت اثرات تنظیم‌کننده رشد و تأثیرات متابولیک این ترکیبات بر گیاه است (Alamgir, 2017). ترکیب سرکه چوب (۲ میلی‌لیتر بر لیتر) با اسیدآزمینه (۱ میلی‌گرم بر لیتر) موجب کاهش محتوای مواد جامد محلول کل میوه لیمو شد (Benny et al., 2023). تیمار اسیدآزمینه سیستین با غلظت ۲ میلی‌مولار باعث کاهش محتوای مواد جامد محلول کل میوه پرتقال شد (Matsumoto and Ikoma, 2012).

تیمارها نسبت به شاهد مشاهده شد (شکل ۴). بیشترین کاهش مواد جامد محلول با اسیدآزمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر با مقدار ۳/۰۶ به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۳۷/۶۷ درصد کاهش را نشان داد (شکل ۴a) و بیشترین در شاهد ۴/۹۱ درجه بریکس مشاهده شد (شکل ۴). کاهش محتوای مواد جامد محلول در نتیجه استفاده از ترکیبات خاص مانند سرکه چوب و اسیدآزمینه‌ها معمولاً به‌علت اثرات تنظیم‌کننده رشد و تأثیرات متابولیک این ترکیبات بر گیاه است (Alamgir, 2017). ترکیب سرکه چوب (۲ میلی‌لیتر بر لیتر) با اسیدآزمینه (۱ میلی‌گرم بر لیتر) موجب کاهش محتوای مواد جامد محلول کل میوه لیمو شد (Benny et al., 2023). تیمار اسیدآزمینه سیستین با غلظت ۲ میلی‌مولار باعث کاهش محتوای مواد جامد محلول کل میوه پرتقال شد (Matsumoto and Ikoma, 2012).

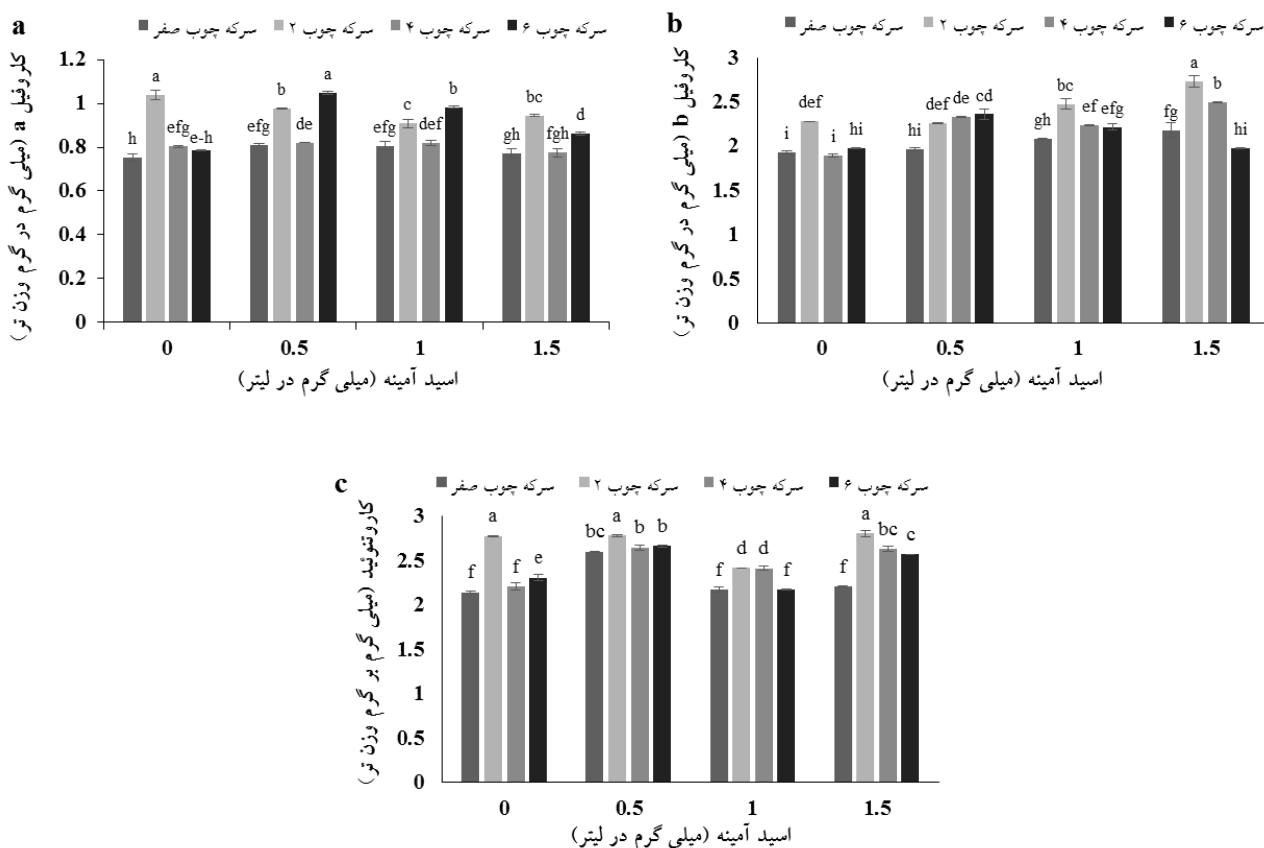
**رنگی‌های فتوسنتزی:** نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تیمارها بر کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید میوه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۶). بیشترین افزایش کلروفیل a در تیمارهای سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر و عدم کاربرد اسیدآزمینه و تیمار اسیدآزمینه پارال آمینوفول ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر به همراه سرکه چوب با غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب باعث افزایش ۳۷/۷۱ و ۲۹/۰۹ درصدی کلروفیل a نسبت به شاهد شد (شکل ۵a). تیمار اسیدآزمینه پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر (و سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش ۴۲/۱۸ درصدی

**اسید آسکوربیک:** اثر متقابل تیمارها بر اسید آسکوربیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بیشترین محتوای اسید آسکوربیک در تیمار اسیدآزمینه پارال آمینوفول ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر لیتر با سرکه چوب با غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب به میزان ۲/۶۹ و ۲/۷۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم مشاهده شد (شکل ۴). اسید آسکوربیک (ویتامین C) آنتی‌اکسیدان قوی است که نقش مهمی در کاهش تنش اکسیداتیو و بهبود کیفیت میوه‌ها دارد. این ماده همچنین در متابولیسم گیاهی و پاسخ به تنش‌های محیطی نقش دارد

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر ساده و متقابل تیمارهای اسیدآمینه و سرکه چوب بر صفات فیزیولوژیک میوه خیار رقم کیهان

| میانگین مربعات |              |        |            |           |           | درجه  | منابع تغییرات        |
|----------------|--------------|--------|------------|-----------|-----------|-------|----------------------|
| فلانوکسیدان    | آنتی اکسیدان | فنل    | کاروتنوئید | کلروفیل b | کلروفیل a | آزادی |                      |
| ۱۰/۲۴**        | ۱۱۷/۵۰**     | ۲/۳۸** | ۰/۴۲۷**    | ۰/۴۴۸**   | ۰/۰۵۴۵**  | ۳     | اسیدآمینه            |
| ۱۰/۰۴**        | ۸۹۳/۲۲**     | ۱/۹۳** | ۰/۱۳۸**    | ۰/۰۳۹۴**  | ۰/۰۲۲۶**  | ۳     | سرکه چوب             |
| ۴/۷۹**         | ۲۳۴/۶۳**     | ۱/۰۰** | ۰/۱۰۴**    | ۰/۱۱۵**   | ۰/۰۲۳۱**  | ۹     | اسیدآمینه × سرکه چوب |
| ۰/۶۲۲          | ۳۲/۵۸        | ۰/۳۵۷  | ۰/۰۰۲۲     | ۰/۰۰۵۹۱   | ۰/۰۰۰۷۴۴  | ۳۲    | خطای آزمایش          |
| ۷/۱۵           | ۱۱/۹۵        | ۱۱/۷۶  | ۱/۹۰       | ۳/۴۷      | ۳/۱۳      |       | ضرب تغییرات (/.)     |

ns، \*\*، \*\*\* به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی دار



شکل ۵- اثر متقابل سطوح سرکه چوب و اسیدآمینه پارال آمینوفول بر (a) کلروفیل a، (b) کلروفیل b، (c) کاروتنوئید گیاه خیار. میانگین‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

اسیدآمینه سبب افزایش معنی دار کاروتنوئید به ترتیب به میزان ۲۹/۵۷، ۲۹/۷۹ و ۳۰/۹۲ درصد در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵c). سرکه چوب با دارا بودن ترکیبات فنولی و آلی می‌تواند رشد گیاه را تحریک کرده و سنتز متابولیت‌های ثانویه از جمله رنگیزه‌های فنوستنزی را افزایش می‌دهد (Gu et al.,

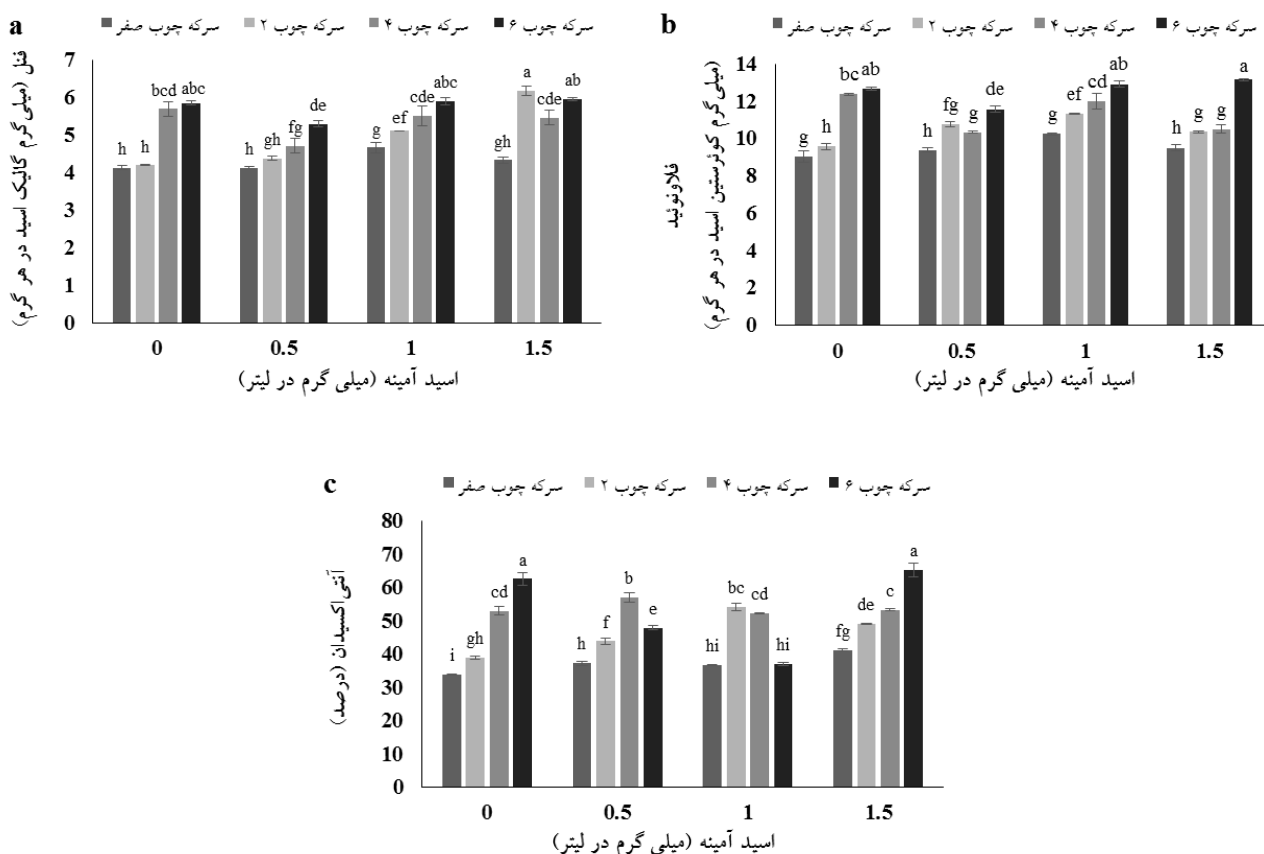
کلروفیل b در مقایسه با شاهد شد (شکل ۵b). تیمار سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر و اسیدآمینه با غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر و تیمار سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر و اسیدآمینه با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و همچنین تیمار سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر و عدم کاربرد

غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش ۳۸/۳۱ درصدی فلاونوئید نسبت به شاهد شد (شکل ۶b). تیمارهای سرکه چوب و اسیدآمین به‌طور معنی‌داری میزان فلاونوئید میوه خیار را در مطالعه حاضر افزایش دادند. این افزایش می‌تواند به دلیل تأثیر ترکیبی این تیمارها در تحریک مسیرهای بیوستیزی فلاونوئیدها باشد که به تولید این ترکیبات کمک می‌کند. سرکه چوب می‌تواند باعث افزایش فعالیت آنزیم‌هایی شود که در سنتز فلاونوئیدها نقش دارند. ترکیبات فنولی موجود در سرکه چوب می‌تواند به‌عنوان پیش‌ساز برای تولید فلاونوئیدها عمل کنند (Zhou et al., 2024). همچنین، سرکه چوب به‌طور غیرمستقیم باعث بهبود وضعیت فیزیولوژیک گیاه شود و به افزایش تولید فلاونوئیدها منجر گردد (Ousaid et al., 2024). پژوهش‌هایی بر روی گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی (Zhou et al., 2024) و سیب‌زمینی (El-Fawy et al., 2023) نشان داده است که تیمار سرکه چوب به‌طور چشمگیری میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فلاونوئید را در میوه‌ها افزایش می‌دهد. برخی مطالعات نشان داده‌اند که اسیدآمین‌ها می‌توانند با فعال کردن آنزیم‌های کلیدی در مسیر بیوستیزی فلاونوئیدها، میزان این ترکیبات را افزایش دهند (Nabavi et al., 2020). در پژوهشی ترکیب تیمارهای اسیدآمین و عصاره‌های گیاهی توانست میزان فلاونوئیدها را در گلابی به‌طور چشمگیری افزایش دهد (Abd El-Hamied and El-Amary, 2015).

**ظرفیت آنتی‌اکسیدان:** مقایسه نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر متقابل تیمارها بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). تیمار سرکه چوب با غلظت ۶ میلی‌گرم و عدم کاربرد اسیدآمین و تیمار اسیدآمین با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب باعث افزایش ۶۲/۵۶ و ۶۵/۲۰ درصدی ظرفیت آنتی‌اکسیدان شدند (شکل ۶c). سرکه چوب غنی از ترکیبات فنلی است که می‌تواند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی عمل کنند. این ترکیبات قادر به خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از آسیب‌های اکسیداتیو به لیپیدها، پروتئین‌ها و

اسیدهای آمینه با تأثیر بر سنتز پروتئین‌ها، بهبود فتوسنتز و افزایش کلروفیل، نقش مهمی در تقویت این فرآیندها ایفا می‌کنند (Khan et al., 2019). تیمار با اسیدآمین گلوتامین به غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر همراه با نانوذرات نقره در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش ۲۵ درصدی در محتوای کلروفیل a، به میزان ۴۱/۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ شد (Dai et al., 2022). در تحقیقی مشخص شد تیمار نخود (*Cicer arietinum*) با متیونین به غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش در محتوای کلروفیل a، به میزان ۱۲/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر شد (Gupta et al., 2006). تیمار با اسیدآمین تریپتوفان به غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر همراه با عصاره آلئوهورا در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر روی گیاه یونجه (*Medicago sativa*) موجب افزایش کلروفیل a به میزان ۵۷/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر شد (Makarov et al., 2014). در پژوهشی تیمار با اسیدآمین تریپتوفان به غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر همراه با نانوذرات روی به غلظت ۶۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب افزایش ۳۵ درصدی کلروفیل b در برگ‌های گوجه‌فرنگی به میزان ۱۳/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر شد (Liu et al., 2024). کاربرد اسیدآمین گلوتامین به غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر و محلول نانوذرات سیلیکات در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش کلروفیل b در برگ‌های گل داوودی (*Chrysanthemum morifolium*) شد (Ditta and Arshad, 2016). کاربرد اسیدهای آمینه پرولین و گلابین بتائین در گیاه ریحان، سبب افزایش غلظت ترکیبات فنولی، فلاونوئید و رنگدانه‌ها شد که مشابه تأثیرات مشاهده شده در تیمارهای سرکه چوب است (Safwat and Abdel Salam, 2022).

**فنل و فلاونوئید:** نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر متقابل تیمارها بر میزان فنل و فلاونوئید میوه خیار رقم کیهان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). تیمار اسیدآمین با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرکه چوب با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش فنل به‌میزان ۴۹/۶۳ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۶a). تیمار اسیدآمین پارال آمینوفول با غلظت ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و سرکه چوب با



شکل ۶- اثر متقابل سطوح سرکه چوب و اسیدآمینه پارال آمینوفول بر (a) فنل (b) فلاونوئید (c) ظرفیت آنتی‌اکسیدان میوه خیار رقم کیهان. میانگین‌ها با حروف مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. نوار خطا نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

مطالعه‌ای بر روی گیاه فلفل دلمه‌ای نشان داده شد، استفاده از سرکه چوب باعث افزایش معنی‌دار ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و کاهش پراکسیداسیون لیپیدها در این گیاه شد (Avasiloaiei et al., 2024). در پژوهشی بر روی گوجه‌فرنگی مشخص شد که سرکه چوب باعث بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های گوجه‌فرنگی شد (Benzon and Lee, 2016).

### نتیجه‌گیری

کاربرد همزمان اسیدآمینه پارال آمینوفول و سرکه چوب در کشت هیدروپونیک خیار رقم کیهان، باعث بهبود قابل توجهی در رشد گیاه، افزایش ویژگی‌های کمی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد و وزن میوه و همچنین ارتقاء کیفیت میوه از جمله افزایش سفتی و طول میوه شد. علاوه‌براین، این ترکیب موجب

DNA هستند (Theapparatt et al., 2018; Perumpuli and Dilrukshi, 2022). افزایش غلظت سرکه چوب می‌تواند به افزایش محتوای فنولی در میوه منجر شود که به‌طور مستقیم ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد (Coelho et al., 2017). اسیدآمینه پارال- آمینوفول به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در بیوسنتز ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها نقش داشته باشد. این ترکیبات به‌دلیل ساختار شیمیایی خود، قادر به خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن هستند و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل را افزایش می‌دهند (Pisoschi and Pop, 2015). ترکیبات آنتی‌اکسیدانی موجود در سرکه چوب و اثر تقویتی اسیدآمینه‌ها می‌تواند به کاهش پراکسیداسیون لیپیدها منجر شود. این کاهش در آسیب‌های اکسیداتیو غشاهای سلولی نقش مهمی دارد و به حفظ یکپارچگی سلول‌ها کمک می‌کند (Zhu et al., 2024). در

افزایش محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها، فنلها، فلاونوئیدها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه گردید که نشان‌دهنده بهبود سلامت و مقاومت گیاه است. با توجه به نتایج، استفاده از اسیدآمینه ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر همراه با سرکه چوب ۲ میلی‌گرم بر لیتر

به‌عنوان بهترین تیمار، روشی مؤثر برای افزایش عملکرد و کیفیت خیار در سیستم هیدروپونیک محسوب می‌شود.

## منابع

- نجفی، میثم، آرویی، حسین، و امینی‌فرد، محمدحسین (۱۴۰۰). بررسی اثر اسید هیومیک و اسیدآمینه به صورت کود آبیاری بر صفات رشدی خیار سوپر دامینوس (*Cucumis sativus* L.) تحت تنش خشکی. *نشریه علوم باغبانی*، ۳۵(۴)، ۵۲۱-۵۳۳.
- Abd El-Hamied, S. A., & El-Amary, E. I. (2015). Improving growth and productivity of "pear" trees using some natural plants extracts under north sinai conditions. *Journal of Agriculture and veterinary Science*, 8(1), 1-9. [http //doi.org/10.9790/2380-08110109](http://doi.org/10.9790/2380-08110109)
- Abdel-Sattar, M., Mostafa, L. Y., & Rihan, H. Z. (2024). Enhancing mango productivity with wood vinegar, humic acid, and seaweed extract applications as an environmentally friendly strategy. *Sustainability*, 16(20), 8986. <https://doi.org/10.3390/su16208986>
- Abdolahipour, B., & Haghghi, M. (2019). The effects of pine wood vinegar on the germination, growth and photosynthetic characteristics of cucumber. *Iran Agricultural Research*, 38(2), 83-90. <https://doi.org/10.22099/iar.2020.31134.1305>
- Afsharipour, S., Mirzaalian Dastjerdi, A., & Seyedi, A. (2024). Optimizing *Cucumis sativus* seedling vigor: The role of pistachio wood vinegar and date palm compost in nutrient mobilization. *BMC Plant Biology*, 24(1), 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05128-y>
- Aguirre, J. L., Baena, J., Martin, M. T., Nozal, L., Gonzalez, S., Manjon, J. L., & Peinado, M. (2020). Composition, ageing and herbicidal properties of wood vinegar obtained through fast biomass pyrolysis. *Energies*, 13(10), 2418. <https://doi.org/10.3390/en13102418>
- Alamgir, A. N. M. (2017). *Therapeutic Use of Medicinal Plants and their Extracts*. Cham: Springer.
- Al-Janabi, Y. A., Abood, N. M., & Hamdan, M. I. (2021). The effect of amino acids and the date of planting on some growth characteristics of the three varieties of maize. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/904/1/012064>
- Al-Suhaibani, N., Selim, M., Alderfasi, A., & El-Hendawy, S. (2020). Comparative performance of integrated nutrient management between composted agricultural wastes, chemical fertilizers, and biofertilizers in improving soil quantitative and qualitative properties and crop yields under arid conditions. *Agronomy*, 10(10), 1503. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101503>
- Arnon, D. J. (1956). Chlorophyll absorption spectrum and quantitative determination. *Biochemical and Biophysical Acta*, 20, 449-461.
- Ashmead, H. D. (2012). *Amino Acid Chelation in Human and Animal Nutrition*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11533>
- Avasiloaiei, D. I., Calara, M., Balaita, C., & Antal-Tremurici, A. (2024). Improving ecological resilience and sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) crop yield via biochar and wood vinegar application. *Scientific Studies and Research. Series Biology/Studii si Cercetari Stiintifice. Seria Biologie*, 33(2).
- Babatunde, R. M. (2022). Growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars as influenced by organic fertilizers in southern *Guinea savanna*, Nigeria. Master's thesis, Kwara State University (Nigeria).
- Barriga-Tellez, L. M., Garnica-Romo, M. G., Aranda-Sanchez, J. I., Correa, G. A., Bartolome-Camacho, M. C., & Martinez-Flores, H. E. (2011). Nondestructive tests for measuring the firmness of guava fruit stored and treated with methyl jasmonate and calcium chloride. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(6), 1310-1315. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02633.x>
- Benny, N., Shams, R., Dash, K. K., Pandey, V. K., & Bashir, O. (2023). Recent trends in utilization of citrus fruits in production of eco-enzyme. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13, 100657. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100657>
- Benzon, H. R. L., & Lee, S. C. (2016). Potential of wood vinegar in enhancing fruit yield and antioxidant capacity in tomato. *Korean Journal of Plant Resources*, 29(6), 704-711. <http://dx.doi.org/10.7732/kjpr.2016.29.6.704>
- Bisht, T. S., Rawat, L., Chakraborty, B., & Yadav, V. (2018). A recent advances in use of plant growth regulators (PGRs) in fruit crops-A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), 1307-1336. <http://dx.doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.159>

- Carvalho, J. O., Toebe, M., Tartaglia, F. L., Bandeira, C. T., & Tambara, A. L. (2017). Leaf area estimation from linear measurements in different ages of *Crotalaria juncea* plants. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 89, 1851-1868. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170077>
- Coelho, E., Genisheva, Z., Oliveira, J. M., Teixeira, J. A., & Domingues, L. (2017). Vinegar production from fruit concentrates: Effect on volatile composition and antioxidant activity. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 4112-4122. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2783-5>
- Corpas, F. J., Gupta, D. K., & Palma, J. M. (2021). Hormones and Plant Response. Plant in Challenging Environments. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77477-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77477-6_11)
- Dai, Y., Li, T., Wang, Z., & Xing, B. (2022). Physiological and proteomic analyses reveal the effect of CeO<sub>2</sub> nanoparticles on strawberry reproductive system and fruit quality. *Science of The Total Environment*, 814, 152494. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152494>
- Darwesh, O. M., & Elshahawy, I. E. (2023). Management of sunflower charcoal-rot and maize late-wilt diseases using the aqueous extract of vermicompost (vermitea) and environmental-safe biochar derivative (wood vinegar). *Scientific Reports*, 13(1), 17387. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43974-2>
- De Guzman, R. S., & Cababaro, A. C. (2021). Utilization of wood vinegar as nutrient availability enhancer in eggplant (*Solanum melongena* L.). *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, 2(6), 485-492. <https://doi.org/10.11594/ijmaber.02.06.04>
- De Smet, S., Cuypers, A., Vangronsveld, J., & Remans, T. (2015). Gene networks involved in hormonal control of root development in *Arabidopsis thaliana*: A framework for studying its disturbance by metal stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 19195-19224. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms160819195>
- Ditta, A., & Arshad, M. (2016). Applications and perspectives of using nanomaterials for sustainable plant nutrition. *Nanotechnology Reviews*, 5(2), 209-229. <http://dx.doi.org/10.1515/ntrev-2015-0060>
- Ebabi, A., & Adebayo, R. (2022). Nutritional values of vegetables. *Vegetable Crops-Health Benefits and Cultivation*. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.101090>
- El-Fawy, M. M., Abo-Elyousr, K. A., Sallam, N. M., El-Sharkawy, R. M., & Ibrahim, Y. E. (2023). Fungicidal effect of guava wood vinegar against *Colletotrichum coccodes* causing black dot disease of potatoes. *Horticulturae*, 9(6), 710. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9060710>
- FAO. (2022). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2211en>
- Fernandes, A., Polyzos, N., Mandim, F., Pereira, C., Petrovic, J., Sokovic, M., & Petropoulos, S. A. (2023). Combined effect of biostimulants and mineral fertilizers on crop performance and fruit quality of watermelon plants. *Horticulturae*, 9(7), 838. <http://dx.doi.org/10.3390/horticulturae9070838>
- Galili, G., Amir, R., & Fernie, A. R. (2016). The regulation of essential amino acid synthesis and accumulation in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 67(1), 153-178. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112213>
- Gama, G. S. P., Pimenta, A. S., Feijo, F. M. C., Azevedo, T. K. B. D., Melo, R. R. D., & Andrade, G. S. D. (2024). The potential of wood vinegar to replace antimicrobials used in animal husbandry—A review. *Animals*, 14(3), 381. <https://doi.org/10.3390/ani14030381>
- Ghassemi-Golezani, K., & Samea-Andabjadid, S. (2022). Exogenous cytokinin and salicylic acid improve amino acid content and composition of faba bean seeds under salt stress. *Gesunde Pflanzen*, 74(4), 935-945.
- Ghoname, A. A., El-Bassiouny, A. M., Abdel-Mawgoud, A. M. R., El-Tohamy, W. A., & Gruda, N. (2012). Growth, yield and blossom-end rot incidence in bell pepper as affected by phosphorus level and amino acid applications. *Gesunde Pflanzen*, 64(1), 29-37. <https://doi.org/10.1007/s10343-012-0272-3>
- Glew, R. H., Ayaz, F. A., Sanz, C., Vander Jagt, D. J., Huang, H. S., Chuang, L. T., & Strnad, M. (2003). Changes in sugars, organic acids and amino acids in medlar (*Mespilus germanica* L.) during fruit development and maturation. *Food Chemistry*, 83(3), 363-369. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00097-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00097-9)
- Gu, S., Zhu, W., Ren, L., Sun, B., Ren, Y., Niu, Y., & He, Q. (2024). New insights into the impact of wood vinegar on the growth and rhizosphere microorganisms of cherry radish (*Raphanus sativus* L.). *PeerJ*, 12, e18505. <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.18505>
- Gupta, D. K., Tripathi, R. D., Rai, U. N., Dwivedi, S., Mishra, S., Srivastava, S., & Inouhe, M. (2006). Changes in amino acid profile and metal content in seeds of *Cicer arietinum* L. (chickpea) grown under various fly-ash amendments. *Chemosphere*, 65(6), 939-945. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.047>
- Gutierrez-Gamboa, G., Alanon-Sanchez, N., Mateluna-Cuadra, R., & Verdugo-Vasquez, N. (2020). An overview about the impacts of agricultural practices on grape nitrogen composition: Current research approaches. *Food Research International*, 136, 109477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109477>
- Haro, D., Marrero, P. F., & Relat, J. (2019). Nutritional regulation of gene expression: Carbohydrate-, fat-and amino acid-dependent modulation of transcriptional activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(6), 1386. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms20061386>
- He, L., Geng, K., Li, B., Li, S., Gustave, W., Wang, J., & Wang, H. (2025). Enhancement of nutrient use efficiency with biochar and wood vinegar: A promising strategy for improving soil productivity. *Journal of the Science of*

- Food and Agriculture*, 105(1), 465-472. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13844>
- Hildebrandt, T. M., Nesi, A. N., Araujo, W. L., & Braun, H. P. (2015). Amino acid catabolism in plants. *Molecular Plant*, 8(11), 1563-1579. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.09.005>
- Hong, P., Zhang, Z., Zhou, Y., Lu, X., Sadeghnezhad, E., Pang, Q., & Jia, H. (2024). Polygalacturonase inhibiting protein enhances cell wall strength of strawberry fruit for resistance to *Botrytis cinerea* infection. *Scientia Horticulturae*, 327, 112850. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112850>
- Iacomino, G., Idbella, M., Staropoli, A., Nanni, B., Bertoli, T., Vinale, F., & Bonanomi, G. (2024). Exploring the potential of wood vinegar: Chemical composition and biological effects on crops and pests. *Agronomy*, 14(1), 114. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423824000116>
- Ilic, S. Z., Milenkovic, L., Dimitrijevic, A., Stanojevic, L., Cvetkovic, D., Kevresan, Z., & Mastilovic, J. (2017). Light modification by color nets improve quality of lettuce from summer production. *Scientia Horticulturae*, 226, 389-397. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.009>
- Jeong, K. W., Kim, B. S., Ultra Jr, V. U., & Chul, S. (2015). Effects of rhizosphere microorganisms and wood vinegar mixtures on rice growth and soil properties. *Korean Journal of Crop Science*, 60(3), 355-365. <http://dx.doi.org/10.7740/kjcs.2015.60.3.355>
- Karimian, N., Ghorbani Dashtaki, S., Motaghian, H., Iranipour, R., & Khalili Moghadam, B. (2022). Effect of application of biochar and wood vinegar on some chemical and microbiological properties of soil under forage corn cultivation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29(3), 23-44. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2023.20460.3575> (In Persian)
- Karthika, K. S., Rashmi, I., & Parvathi, M. S. (2018). Biological functions, uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, 1-49. <http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8-1>
- Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., & Jiang, W. (2019). Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*, 9(5), 266. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>
- Lecholocholo, N., Shoko, T., Manhivi, V. E., Akinola, S. A., Maboko, M. M., & Sivakumar, D. (2022). Impact of different rootstocks on antioxidant properties and volatile profile of honeydew melons (*Cucumis melo* L.) during postharvest storage. *Agronomy*, 12(10), 2498. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12102498>
- Levaj, B., Pelaic, Z., Galic, K., Kurek, M., Sctetar, M., Poljak, M., & Repajic, M. (2023). Maintaining the quality and safety of fresh-cut potatoes (*Solanum tuberosum*): Overview of recent findings and approaches. *Agronomy*, 13(8), 2002. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy13082002>
- Li, S., Chen, K., & Grierson, D. (2021). Molecular and hormonal mechanisms regulating fleshy fruit ripening. *Cells*, 10(5), 1136. <http://dx.doi.org/10.3390/cells10051136>
- Liu, J., Huang, S., Haider, S. T. A., Ehsan, A., Danish, S., Hussain, N., & Datta, R. (2024). Influence of indole acetic acid and trehalose, with and without zinc oxide nanoparticles coated urea on tomato growth in nitrogen deficient soils. *Scientific Reports*, 14(1), 22824. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73558-7>
- Makarov, V. V., Love, A. J., Sinitsyna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. E., & Kalinina, N. O. (2014). "Green" nanotechnologies: Synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae*, 6(20), 35-44. <http://dx.doi.org/10.32607/20758251-2014-6-1-35-44>
- Matsumoto, H., & Ikoma, Y. (2012). Effect of different postharvest temperatures on the accumulation of sugars, organic acids, and amino acids in the juice sacs of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(39), 9900-9909. <https://doi.org/10.1021/jf303532s>
- Mellidou, I., Koukounaras, A., Kostas, S., Patelou, E., & Kanellis, A. K. (2021). Regulation of vitamin C accumulation for improved tomato fruit quality and alleviation of abiotic stress. *Genes*, 12(5), 694. <http://dx.doi.org/10.3390/genes12050694>
- Moosavi, S. F., Haghghi, M., & Mirmazloum, I. (2024). Interacting effects of phytohormones and fruit pruning on the morpho-physiological and biochemical attributes of bell pepper. *Scientific Reports*, 14(1), 14801. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65855-y>
- Mosa, W. F., Ali, H. M., & Abdelsalam, N. R. (2021). The utilization of tryptophan and glycine amino acids as safe alternatives to chemical fertilizers in apple orchards. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1983-1991. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10658-7>
- Mungkunkamchao, T., Kesmla, T., Pimratch, S., Toomsan, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 154, 66-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.02.020>
- Nabavi, S. M., Samec, D., Tomczyk, M., Milella, L., Russo, D., Habtemariam, S., & Shirooie, S. (2020). Flavonoid biosynthetic pathways in plants: Versatile targets for metabolic engineering. *Biotechnology Advances*, 38, 107316. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.005>

- Nephali, L., Piater, L. A., Dubery, I. A., Patterson, V., Huysen, J., Burgess, K., & Tugizimana, F. (2020). Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites*, 10(12), 505. <https://doi.org/10.3390/metabo10120505>
- Nielsen, S. S. (2017). *Food Analysis Laboratory Manual*. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_32)
- Oms-Oliu, G., Hertog, M. L. A. T. M., Van de Poel, B., Ampofo-Asiama, J., Geeraerd, A. H., & Nicolai, B. M. (2011). Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development, ripening, and postharvest shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 62(1), 7-16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.04.010>
- Ousaaïd, D., Bakour, M., Laaroussi, H., El Ghouizi, A., Lyoussi, B., & El Arabi, I. (2024). Fruit vinegar as a promising source of natural anti-inflammatory agents: An up-to-date review. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 32(1), 307-317. <https://doi.org/10.1007/s40199-023-00493-9>
- Papadopoulos, A. P. (1994). *Growing Greenhouse Seedless Cucumbers in Soil and in Soilless Media*. Agriculture and Agriculture and Agri-Food Canada Publication 1902/E. Ottawa, Ontario, Canada.
- Perumpuli, P. A. B. N., & Dilrukshi, D. M. N. (2022). Vinegar: A functional ingredient for human health. *International Food Research Journal*, 29(5), 959-974. <http://dx.doi.org/10.47836/ifrj.29.5.01>
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55-74. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.04.040>
- Planchet, E., & Limami, A. M. (2015). *Amino Acids in Higher Plants*. Wallingford UK: CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781780642635.0262>
- Plioni, I., Bekatorou, A., Terpou, A., Mallouchos, A., Plessas, S., Koutinas, A. A., & Katechaki, E. (2021). Vinegar production from corinthian currants finishing side-stream: Development and comparison of methods based on immobilized acetic acid Bacteria. *Foods*, 10(12), 3133. <https://doi.org/10.3390/foods10123133>
- Safwat, G., & Abdel Salam, H. S. (2022). The effect of exogenous proline and glycine betaine on phyto-biochemical responses of salt-stressed basil plants. *Egyptian Journal of Botany*, 62(2), 537-547. <https://dx.doi.org/10.21608/ejbo.2022.75826.1689>
- Serra, M., Casas, A., Teixeira, J. A., & Barros, A. N. (2023). Revealing the beauty potential of grape stems: Harnessing phenolic compounds for cosmetics. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(14), 11751. <https://doi.org/10.3390/ijms241411751>
- Sharma, M., Bithel, N., Sharma, K. K., & Sharma, M. (2024). *Plant Metabolites and Vegetables as Nutraceuticals*. Apple Academic Press.
- Shiekh, K. A., Ngiwngam, K., & Tongdeesontorn, W. (2021). Polysaccharide-based active coatings incorporated with bioactive compounds for reducing postharvest losses of fresh fruits. *Coatings*, 12(1), 8. <http://dx.doi.org/10.3390/coatings12010008>
- Souri, M. K., Sooraki, F. Y., & Moghadamyar, M. (2017). Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 58, 530-536. <http://dx.doi.org/10.1007/s13580-017-0349-0>
- Srisompan, A., & Theerakulpisut, P. (2019). The effect of exogenous spermidine and wood vinegar on growth and physiology of rice (*Oryza sativa* L.) cv. RD6 under salt stress. *Current Applied Science and Technology*, 19(3), 289-296.
- Sun, S., Yang, Y., Hao, S., Liu, Y., Zhang, X., Yang, P., & Luo, Y. (2024). Comparison of transcriptome and metabolome analysis revealed cold-resistant metabolic pathways in cucumber roots under low-temperature stress in root zone. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1413716. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1413716>
- Theapparath, Y., Chandumpai, A., & Faroongsarng, D. (2018). Physicochemistry and utilization of wood vinegar from carbonization of tropical biomass waste. *Tropical Forests*, 163-183. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77380>
- Trejo Valencia, R., Sanchez Acosta, L., Fortis Hernandez, M., Preciado Rangel, P., Gallegos Robles, M. A., Antonio Cruz, R. D. C., & Vazquez Vazquez, C. (2018). Effect of seaweed aqueous extracts and compost on vegetative growth, yield, and nutraceutical quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit. *Agronomy*, 8(11), 264. <https://doi.org/10.3390/agronomy8110264>
- Trovato, M., Funck, D., Forlani, G., Okumoto, S., & Amir, R. (2021). Editorial: Amino acids in plants: Regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in Plant Science*, 12, 772810. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772810>
- Tudzynski, B. (2005). Gibberellin biosynthesis in fungi: Genes, enzymes, evolution, and impact on biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66, 597-611. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1805-1>
- Wang, X. A., Pan, Y., Liu, H., Meng, H., & Cheng, Z. (2024). Physiological responses of cucumber seedlings to combined high-temperature and high-humidity stress at different leaf stages. *Horticulturae*, 10(12),
- Zaman, M., Kurepin, L. V., Catto, W., & Pharis, R. P. (2015). Enhancing crop yield with the use of N-based fertilizers co-applied with plant hormones or growth regulators. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(9), 1777-1785. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6938>

- Zhou, H., Fu, K., Shen, Y., Li, R., Su, Y., Deng, Y., & Zhang, N. (2024). Physiological and biochemical mechanisms of wood vinegar-induced stress response against tomato Fusarium wilt disease. *Plants*, 13(2), 157. <http://dx.doi.org/10.3390/plants13020157>
- Zhu, G., Tang, Y., Ding, Y., Zhao, W., Wang, Q., Li, Y., & Rui, Y. (2024). Synergistic effect of nano-iron phosphide and wood vinegar on soybean production and grain quality. *Environmental Science: Nano*, 11(11), 4634-4643. <http://dx.doi.org/10.1039/D4EN00383G>
- Zhu, Z., Liang, Z., & Han, R. (2009). Saikosaponin accumulation and antioxidative protection in drought-stressed *Bupleurum chinense* DC. plants. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 326-333. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.017>

## The effect of wood vinegar and paral aminofol amino acid on the quantitative and qualitative characteristics of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* cv. Keyhan)

Mahin Ekhlaspour, Farzin Abdollahi\* and Alireza Yavari

Department of Horticulture Science, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

### Abstract

Paral aminofol amino acid and wood vinegar, due to their strengthening and regulatory properties, can improve plant growth, nutrient uptake, and product quality. This research investigated the effects of these compounds on the growth and quantitative and qualitative characteristics of the 'Keyhan' cucumber cultivar in a hydroponic greenhouse in Orzueyeh County, Kerman Province. Treatments of wood vinegar (0, 2, 4, and 6 mg/L) and Paral aminofol amino acid (0, 0.5, 1, and 1.5 mg/L) were applied as solutions in drip irrigation water simultaneously at three stages: the four-leaf stage, flowering, and harvest. Irrigation was performed every four days, and the treatments were supplied to the plants with the irrigation water. The treatment with 2 mg/L wood vinegar increased plant height and stem diameter by 69.56% and 117.85%, respectively. The highest number of fruits was observed with the treatment of 1.5 mg/L amino acid and 2 mg/L wood vinegar (41.33 fruits), and the greatest fruit length was observed with the treatment of 1.5 mg/L amino acid and 6 mg/L wood vinegar (14.8 cm). Fruit firmness increased to 22.92 kg/cm<sup>2</sup> with the treatment of 1.5 mg/L amino acid and 2 mg/L wood vinegar, and fruit weight increased by 51.36 grams with the treatment of 1.5 mg/L amino acid and 6 mg/L wood vinegar. The results showed that all treatments decreased soluble solids content compared to the control, with the greatest reduction observed with the 1.5 mg/L amino acid and 2 mg/L wood vinegar treatments. Furthermore, the highest increase in chlorophyll a was observed in the treatment of 2 mg/L wood vinegar without amino acid and in the combination of 0.5 mg/L amino acid with 6 mg/L wood vinegar. The treatment of 1.5 mg/L amino acid and 2 mg/L wood vinegar resulted in increased levels of chlorophyll b, carotenoids, phenols, flavonoids, and antioxidant capacity compared to the control. The results indicated that the simultaneous application of these two substances in hydroponic conditions can significantly improve plant growth and product quality and is recommended as an effective method for high-yield cucumber production.

**Keywords:** Antioxidant activity, Amino acid, Wood vinegar, Fruit quality, Physiological activities

Received: Apr. 22, 2025; Revised: Nov. 05, 2025; Accepted: Nov. 12, 2025; Published Online: June. 02, 2026

\*Corresponding Author: fabdollahi@hormozgan.ac.ir



Copyright © 2025 Iranian Society of Plant Physiology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited