



# اثر اگزالیک اسید و ملاتونین بر ماندگاری میوه توت‌فرنگی در دوره پس از برداشت

احمد جمشیدی<sup>۱</sup>، جواد عرفانی مقدم<sup>۲\*</sup>، فردین قنبری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی سابق کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

<sup>۲\*</sup>گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران- رایانامه (j.erfani@ilam.ac.ir)

<sup>۳</sup>گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در جدول ۱ آمده است و نشان داد اثرات زمان و تیمار در بیشتر صفات مورد مطالعه تاثیر معنادار داشتند اما اثرات زمان در تیمار معنادار نبود. بر اساس مقایسه میانگین‌ها، تیمار ترکیبی اگزالیک اسید + ملاتونین بیشترین اثر مثبت را بر حفظ کیفیت میوه نشان داد. کمترین کاهش وزن و بیشترین میزان ویتامین C در این تیمار مشاهده شد، در حالی که تیمار شاهد بیشترین کاهش کیفیت را داشت. میزان فنل کل و فلاونوئید کل نیز در تیمار ترکیبی به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود (جدول ۲) که نشان‌دهنده تحریک مسیر فنیل‌پروپانوئید و تجمع ترکیبات فنلی در پاسخ به ملاتونین است (Huang et al., 2021). همچنین میزان مالون‌دی‌آلدئید در میوه‌های تیمار شده با اگزالیک اسید و ملاتونین کمتر بود که نشان از کاهش پراکسیداسیون لیپیدها و حفظ یکپارچگی غشای سلولی دارد. در مطالعات مشابه روی توت‌فرنگی و سیب نیز مشخص شد که کاربرد ملاتونین و اگزالیک اسید باعث بهبود خواص آنتی‌اکسیدانی، تأخیر در پیری بافت و افزایش ماندگاری می‌شود (Liu et al., 2020). بنابراین، ترکیب این دو ماده به دلیل مکانیسم‌های مکمل آنتی‌اکسیدانی، اثر هم‌افزایی در بهبود کیفیت و تأخیر در تخریب بافت میوه دارد. نتایج نشان داد افزایش مدت نگهداری (از روز چهارم تا دوازدهم) موجب کاهش تدریجی صفاتی مانند ویتامین C، فنل کل و آنتوسیانین‌ها و افزایش مالون‌دی‌آلدئید و کاهش وزن شد. این روند با افزایش شدت فرآیندهای اکسیداتیو و تخریب غشای سلولی در طول نگهداری مرتبط است (Zhao et al., 2022). با این حال، شدت کاهش در تیمارهای حاوی ملاتونین و اگزالیک اسید کمتر بود که نشان‌دهنده توانایی آن‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد و حفظ فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند SOD و CAT است. مطالعات جدید نیز نشان داده‌اند که ملاتونین با حفظ ساختار غشایی و تعادل ROS در میوه‌ها، روند پیری و قهوه‌ای شدن را به تأخیر می‌اندازد (Liu et al., 2024).

## چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات میوه توت‌فرنگی، عمر کوتاه پس از برداشت و حساسیت بالا به فساد و کاهش کیفیت است که منجر به افزایش ضایعات و کاهش بازارپسندی می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر کاربرد پس از برداشت اگزالیک اسید و ملاتونین بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی میوه توت‌فرنگی در طی انبارمانی بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار (شاهد، اگزالیک اسید ۲ میلی‌مولار، ملاتونین ۱۰۰ میکرومولار، و ترکیب اگزالیک اسید + ملاتونین) و سه تکرار در آزمایشگاه علوم باغبانی دانشگاه ایلام اجرا شد. میوه‌ها پس از تیمار به مدت ۱۲ روز در دمای ۵ درجه سلسیوس نگهداری شدند و در فواصل زمانی ۴، ۸ و ۱۲ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که زمان نگهداری تأثیر معنی‌داری بر صفات کاهش وزن، مواد جامد محلول، اسیدیت قابل تیتراسیون و محتوای آنتوسیانین داشت. استفاده از اگزالیک اسید به تنهایی و در ترکیب با ملاتونین موجب کاهش محتوای مالون‌دی‌آلدئید و حفظ pH و ویتامین C نسبت به شاهد گردید. همچنین تیمارهای اگزالیک اسید و اگزالیک اسید + ملاتونین باعث افزایش محتوای فلاونوئید کل و ملاتونین موجب افزایش فنل کل شد.

**واژه‌های کلیدی:** اگزالیک اسید، پس‌از برداشت، توت‌فرنگی، ماندگاری، ملاتونین

## مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) یکی از مهم‌ترین میوه‌های نرم در جهان است که به‌دلیل طعم مطبوع، رنگ جذاب و ارزش تغذیه‌ای بالا اهمیت زیادی دارد. با وجود این ویژگی‌ها، توت‌فرنگی بسیار فسادپذیر است و به‌دلیل نرخ تنفس بالا و حساسیت به آسیب‌های مکانیکی و آلودگی میکروبی، پس از برداشت سریعاً کیفیت خود را از دست می‌دهد. برای کاهش این فرایند، استفاده از ترکیبات طبیعی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی مورد توجه قرار گرفته است (Zhao et al., 2022).

## مواد و روش‌ها

میوه‌های توت‌فرنگی رقم کاماروسا در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از مزرعه‌ای در شهرستان ایلام برداشت شدند. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تیمارها شامل: ۱- شاهد (آب مقطر)، ۲- اگزالیک اسید (۲ میلی‌مولار)، ۳- ملاتونین (۱۰۰ میکرومولار)، ۴- ترکیب اگزالیک اسید + ملاتونین. میوه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در محلول‌ها غوطه‌ور و پس از خشک شدن در دمای  $5 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵٪ به مدت ۱۲ روز نگهداری شدند. در روزهای چهارم، هشتم و دوازدهم، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل کاهش وزن، مواد جامد محلول، اسیدیت، ویتامین C (به روش دی‌کلروفنول ایندوفنول)، فنل کل به روش فولین-سیوکالتیو اندازه‌گیری شدند. همچنین محتوای فنل کل، فلاونوئید کل، آنتوسیانین کل و مالون‌دی‌آلدئید (MDA) در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

## منابع

- Huang, Z., Xu, M., & Liu, L. (2021). Role of melatonin in improving fruit storability and reducing oxidative stress in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 12, 671–685.
- Liu, C., Wang, J., & Zhang, P. (2020). Effects of melatonin on quality maintenance and antioxidant enzyme activities in strawberry fruit. *Food Chemistry*, 321, 126695.
- Liu, D., Zhang, Z., & Zhao, X. (2024). Enhancement of anthocyanin biosynthesis by melatonin in strawberry fruit through regulation of gene expression. *Scientia Horticulturae*, 328, 112324.
- Zhang, L., Wang, Q., & Chen, Y. (2019). Role of melatonin in fruit ripening and postharvest quality maintenance. *LWT – Food Science and Technology*, 130, 109153.
- Zhao, M., Liu, Y., & Han, J. (2022). Melatonin regulates sugar-acid metabolism and delays postharvest senescence in fruits. *Frontiers in Plant Science*, 13, 883902.
- Zheng, X., Tian, S., & Meng, X. (2019). Oxalic acid treatment maintains postharvest quality and antioxidant activity in fruits by regulating oxidative metabolism. *Journal of Plant Physiology*, 240, 153–161.

جدول ۱- میانگین صفات کمی میوه توت‌فرنگی تحت تاثیر تیمار اگزالیک اسید و ملاتونین

تیمار	مالون‌دی‌آلدئید (mg/g FW)	pH	فلاونوئید کل (mg/g FW)	فنل کل (mg/g FW)	ویتامین C (mg/LC)
شاهد	0.83 <sup>a</sup>	4.86 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	1.36 <sup>a</sup>	23.1 <sup>a</sup>
اگزالیک اسید	0.49 <sup>b</sup>	3.8 <sup>b</sup>	0.69 <sup>b</sup>	1.55 <sup>b</sup>	47.7 <sup>b</sup>
ملاتونین	0.63 <sup>b</sup>	4.1 <sup>a</sup>	0.51 <sup>b</sup>	1.6 <sup>a</sup>	25.7 <sup>b</sup>
اگزالیک اسید و ملاتونین	0.59 <sup>b</sup>	3.2 <sup>b</sup>	0.65 <sup>b</sup>	1.5 <sup>b</sup>	25.2 <sup>b</sup>

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی میوه توت‌فرنگی تحت تاثیر تیمار اگزالیک اسید و ملاتونین در دوره پس از برداشت

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین	TSS	مالون‌دی‌آلدئید	pH	فلاونوئید	فنل کل	ویتامین C
زمان	2	13.88 <sup>**</sup>	12.69 <sup>**</sup>	7.38 <sup>**</sup>	0.13 <sup>**</sup>	528.69 <sup>**</sup>	2503.79 <sup>**</sup>	0.202 <sup>**</sup>
تیمار	3	1.85 <sup>**</sup>	1.36 <sup>**</sup>	27.33 <sup>**</sup>	0.05 <sup>**</sup>	410.68 <sup>**</sup>	901.67 <sup>**</sup>	0.014 <sup>**</sup>
زمان*تیمار	6	0.95 <sup>**</sup>	0.80 <sup>**</sup>	1.65 <sup>**</sup>	0.03 <sup>**</sup>	54.27 <sup>**</sup>	151.06 <sup>**</sup>	0.005 <sup>**</sup>
خطا	24	2.58	1.72	7.01	0.017	41.80	358.96	0.01
تکرار	-	15.19	17.05	23.03	3.61	22.41	18.62	10.19
تکرار*تیمار	-	18.58	25.26	18.62	3.61	22.41	18.62	10.19

ns و \* و \*\* معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد آزمون دانکن و SS عدم تفاوت معنی‌داری است.