تأثیر نانوکیتوزان بر بازبرنامه‌ریزی متابولیت‌های فنلی و بهبود دفاع آنتی‌اکسیدانی *گیاه بالنگوی شهری* (*Dracocephalum ibericum*) تحت تنش شوری

صبا ندیمی[1]، سید حامد معظمی فرید[2]*

[1*] گروه زیست شناسی گیاهی و جانوری، دانشکده علوم و فناوریهای زیستی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

* نویسنده مسئول: h.moazzami@bio.ui.ac.ir

مسئله پژوهش و هدف مطالعه

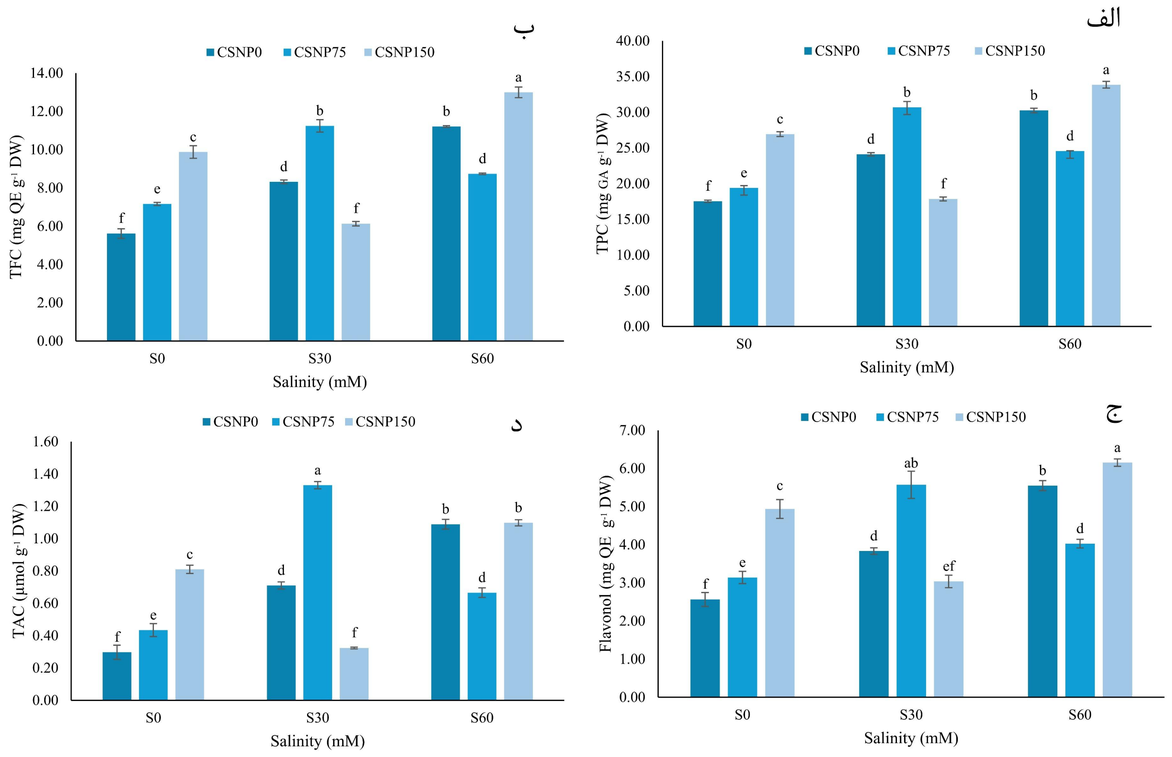
- شوری با القای استرس اکسیداتیو موجب اختلال در متابولیسم فنلی گیاهان دارویی می‌شود.
- نانوکیتوزان به‌عنوان یک بیواستیمولانت نوین می‌تواند پاسخ‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدانی گیاه را تقویت کند.
- هدف این مطالعه بررسی نقش نانوکیتوزان در بازتنظیم متابولیسم فنلی و افزایش تحمل شوری در *Dracocephalum ibericum* است.

مواد و روش‌ها

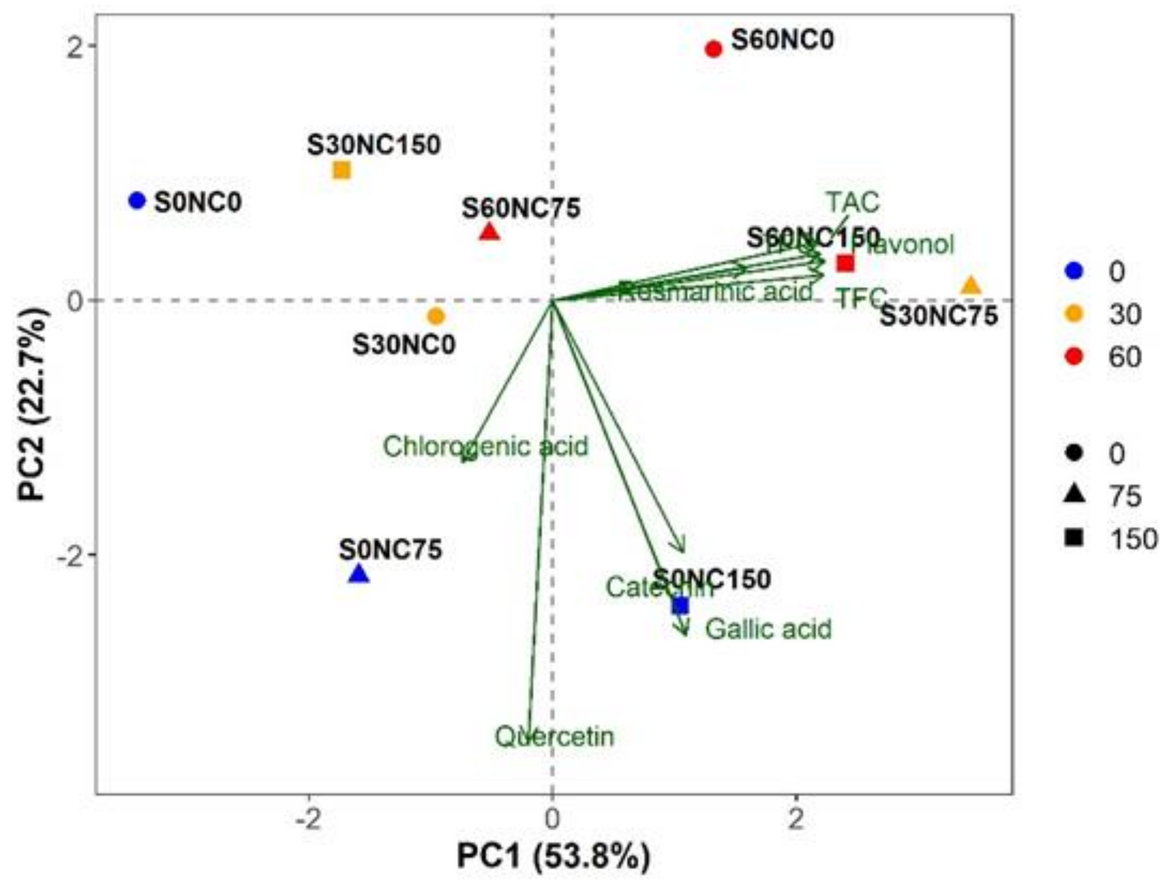
- کشت *D. ibericum* در شرایط کنترل‌شده گلخانه‌ای
- طرح فاکتوریل در قالب CRD با ۳ تکرار
- تیمار شوری: ۰ mM NaCl، ۳۰، ۶۰ و نانوکیتوزان: ۰ mg/L، ۷۵، ۱۵۰ (محلول‌پاشی برگی)
- اندازه‌گیری: فنل کل، فلاونوئید کل، فلاونول، آنتوسیانین و تعیین پروفایل ترکیبات فنلی با HPLC
- تحلیل چندمتغیره: PCA biplot و HCA

Samples		Gallic acid (mg g^{-1} DW)	Catechin (mg g^{-1} DW)	Chlorogenic acid (mg g^{-1} DW)	Rosmarinic acid (mg g^{-1} DW)	Quercetin (mg g^{-1} DW)
0 mM NaCl	0 mg/L NC	2.08 ± 0.15^{c}	1.18 ± 0.05^{d}	0.63 ± 0.09^{ab}	3.70 ± 0.36^{f}	0.96 ± 0.09^{ab}
	75 mg/L NC	3.23 ± 0.19^{ab}	1.95 ± 0.10^{ab}	0.64 ± 0.04^{ab}	4.78 ± 0.40^{de}	1.25 ± 0.17^{ab}
	150 mg/L NC	3.66 ± 0.27^{a}	2.15 ± 0.06^{ab}	0.66 ± 0.12^{a}	5.67 ± 0.42^{a-c}	1.25 ± 0.15^{a}
30 mM NaCl	0 mg/L NC	2.58 ± 0.16^{bc}	1.51 ± 0.14^{b-d}	0.64 ± 0.02^{ab}	4.47 ± 0.45^{e}	1.06 ± 0.12^{ab}
	75 mg/L NC	2.92 ± 0.32^{ab}	2.55 ± 0.19^{a}	0.54 ± 0.06^{ab}	5.42 ± 0.21^{bc}	0.99 ± 0.14^{ab}
	150 mg/L NC	2.14 ± 0.15^{c}	1.59 ± 0.20^{b-d}	0.53 ± 0.09^{b}	5.86 ± 0.36^{ab}	0.97 ± 0.02^{ab}
60 mM NaCl	0 mg/L NC	2.10 ± 0.21^{c}	1.22 ± 0.05^{cd}	0.64 ± 0.03^{ab}	5.70 ± 0.31^{a-c}	0.85 ± 0.12^{b}
	75 mg/L NC	1.89 ± 0.28^{c}	1.92 ± 0.09^{a-c}	0.63 ± 0.03^{ab}	5.18 ± 0.16^{cd}	0.99 ± 0.15^{ab}
	150 mg/L NC	3.54 ± 0.71^{a}	1.44 ± 0.06^{b-d}	0.56 ± 0.04^{ab}	6.20 ± 0.23^{a}	1.01 ± 0.12^{ab}

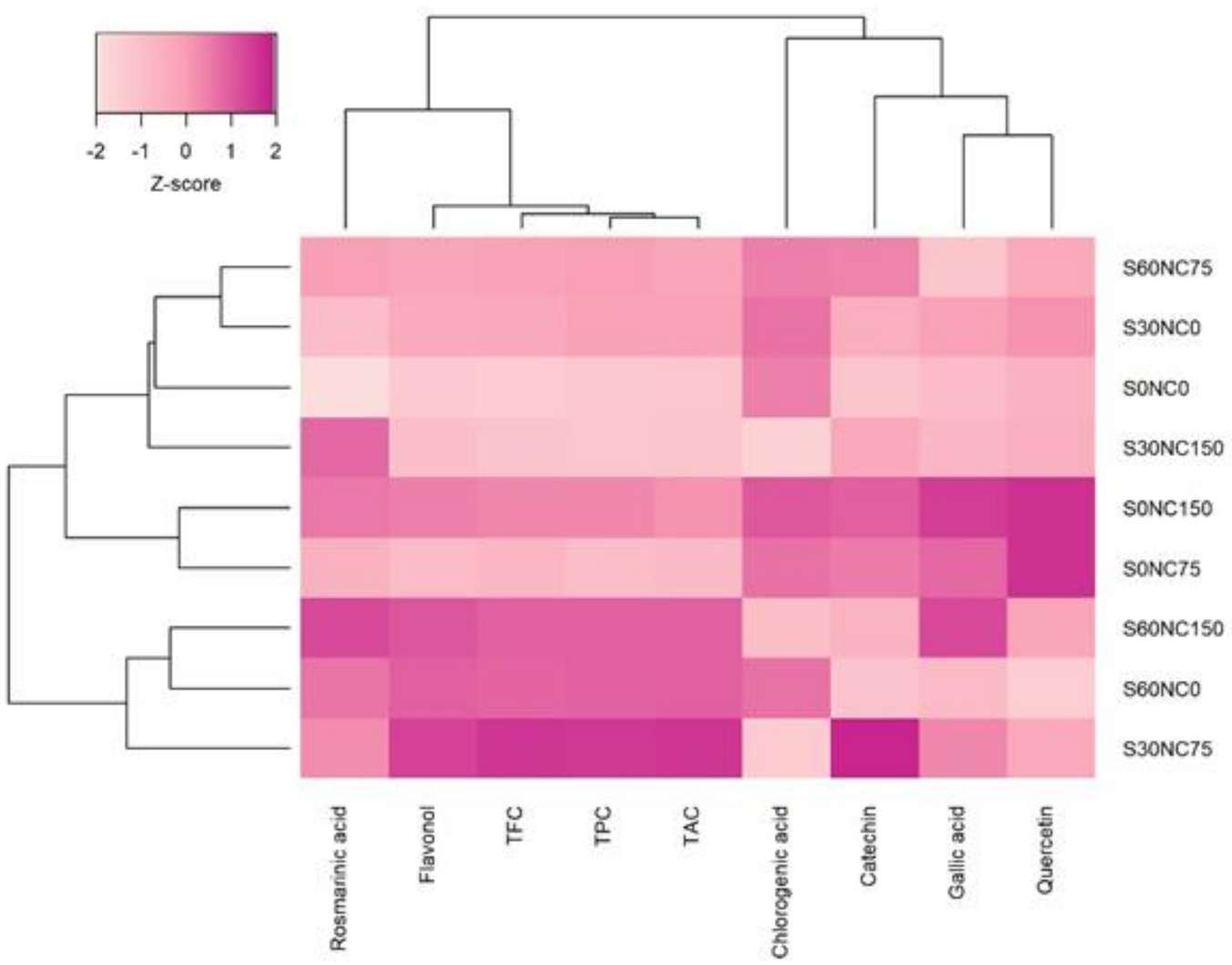
جدول ۱. تأثیر سطوح مختلف شوری و نانوکیتوزان بر غلظت ترکیبات فنلی در برگ‌های *D. ibericum*



شکل ۱. تغییرات فنل کل (الف)، فلاونوئید کل (ب)، فلاونول (ج) و آنتوسیانین کل (د) در برگ‌های *D. ibericum* تحت تیمار سطوح مختلف شوری و نانوکیتوزان.



شکل ۲. PCA biplot نشان‌دهنده توزیع تیمارهای شوری و نانوکیتوزان و همبستگی بین ترکیبات فنلی در *D. ibericum* است.



شکل ۳. HCA heatmap بیانگر خوشه‌بندی تیمارها و هم‌پاسخی متابولیت‌های فنلی در *D. ibericum* است.

نتایج و بحث

- تنش شوری موجب افزایش معنی‌دار ترکیبات فنلی و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی *D. ibericum* شد.
- نانوکیتوزان این پاسخ‌ها را به‌صورت وابسته به دوز و شدت تنش تعدیل کرد (CN75 در شوری متوسط و CN150 در شوری شدید مؤثرتر بود).
- آنالیز HPLC نشان داد رزمارینیک اسید ترکیب غالب فنلی است که در تیمار CN150 به بیشترین مقدار رسید.
- افزایش گالیک اسید و کاتچین نشان‌دهنده تقویت مسیر فنیل‌پروپانوئید توسط نانوکیتوزان است.
- تحلیل‌های PCA و HCA بازبرنامه‌ریزی متابولیسم فنلی و بهبود ظرفیت دفاعی گیاه را تأیید کردند.

نتیجه‌گیری

- نانوکیتوزان با تحریک مسیر فنیل‌پروپانوئید، تجمع ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی *D. ibericum* را تحت تنش شوری افزایش داد.
- این بیواستیمولانت می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود تحمل شوری و پایداری متابولیت‌های زیست‌فعال در گیاهان دارویی مورد استفاده قرار گیرد.