

تأثیر تیمارهای کیتوزان و نانو ذرات نقره بر بیان ژن بتا آمیرین سنتاز در گیاه زنیان

Effect of Chitosan and Silver nanoparticles on expression of *Beta-amyrin synthase* gene in Ajowan

حفصه واحدی^۱، لیلا فهمیده^{۲*}، براتعلی فاخری^۱، بهمن فاضلی نسب^۳

۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، گروه آموزشی اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- مربی، گروه پژوهشی زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

Vahedi H¹, Fahmideh L^{*2}, Fakheri BA¹, Fazeli-Nasab B³

1- MSc Student, Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Plant Production Faculty, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Assistant, Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: l.fahmideh@gau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰

چکیده

زنیان (*Carum copticum*) (آجغون) از خانواده‌ی چتریان (*Apiaceae*) به عنوان یک گیاه دارویی با ترکیباتی از جمله تیمول، سیمن، آلفا پینن، گاماترینین، بتاینین، میرسن و کارواکول در درمان بیماری‌های آنژین، دفع سنگ کلیه، آسم، رماتیسم، آنفولانزا و به عنوان ضد عفونی کننده‌ی قوی و تقویت جهاز هاضمه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه، بیان ژن بتا آمیرین سنتاز (*Amirin-Bsanthase*)، تحت تیمارهای مختلف نانو ذره نقره (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ ppm)، کیتوزان (۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ ppm)، جمعیت (سیستان و پاکستان) و زمان (۴۸ و ۷۲ ساعت پس از محلول پاشی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اعمال الیسیتورهای کیتوزان و نانوذرات نقره باعث تغییر در الگوی بیان ژن بتا آمیرین سنتاز شده است. بیشترین بیان ژن، ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار با ۱۵۰ ppm کیتوزان مشاهده شد و با افزایش غلظت کیتوزان در بازه زمانی ۷۲ ساعت کاهش قابل توجهی در بیان ژن رخ داد در حالی که تیمار با نانوذرات نقره با غلظت ۹۰ ppm و ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار، بیشترین بیان ژن را سبب شد. در تیمار اثرات متقابل کیتوزان (۱۵۰ ppm) و نانو ذرات نقره (۹۰ ppm) در زمان ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار برای هر دو جمعیت مورد مطالعه بیشترین بیان ژن مشاهده شد. در کل نتایج این تحقیق نشان داد که الیسیتور نانوذرات نقره همراه با کیتوزان در زمان ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار تأثیر مثبت بر بیان ژن بتا آمیرین سنتاز داشت و میزان افزایش بیان ژن در این حالت در جمعیت پاکستان نسبت به سیستان بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی

آجغون

الیسیتور زیستی

الیسیتور غیر زیستی

تیمول

زنیان (*Carum copticum*) (آجغون) از خانواده‌ی چتریان (*Apiaceae*) و گیاهی یکساله می‌باشد. براساس اطلاعات کروموزمی زنیان مشخص گردید که ۲n در این گیاه ۱۸ می‌باشد (Nomani et al. 2019; Chattopadhyay 1990). منشأ این گیاه به احتمال، مصر است و اکنون در سرتاسر خاورمیانه پرورش داده می‌شود. این گیاه بسیار قدیمی، همانند بسیاری از دیگر ادویه‌ها، مصرف دارویی داشته است. زنیان را در بلوچستان با نام هندی آن «اجوان» می‌شناسند (Fazeli-nasab and Fooladvand 2016). اثر ضد باکتریایی اسانس زنیان را بر باکتری‌های *Streptococcus* *Corynebacterium* *Staphylococcus aureus* *haemolyticus* *Coli* و *Klebsiella* *Proteus vulgaris* *diphtheria* *Escherichia* ثابت و گزارش شده که اسانس زنیان به ترتیب دارای هاله مهار رشد ۱۰mm و ۱۱ mm بر سطح باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس و اشریشیاکلی می‌باشد (Singh et al. 2002).

در میان روش‌های زیادی که به منظور افزایش تولید مواد مؤثره گیاهان استفاده می‌شود، موادی از جمله کیتوزان، جاسمونیک اسید، نانو ذرات نقره، تیتانیوم در قالب الیسیتورها که ترکیباتی با منشأ زیستی یا غیر زیستی هستند که با القای سامانه‌ی دفاعی باعث بیوستز و انباشت متابولیت‌های ثانویه می‌شود (Zhao et al. 2005). الیسیتورهای زیستی شامل پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها، گلیکوپروتئین‌ها و یا قطعات دیواره سلول قارچ‌ها، گیاهان (سلولز)، پکتین (میکروارگانیزم‌ها) کیتین و گلوکان می‌باشد (Vasconsuelo and Boland 2007).

کیتین خود یک پلی ساکارید متشکل از واحدهای N-استیل -D-گلوکز آمین است که طی داستیلاسیون در محلول غلیظ قلیایی به کیتوزان تبدیل می‌شود. کیتوزان (شکل د-استیل کیتین)، پلی ساکاریدی پلی کاتیونی است که از ترکیبات اصلی دیواره سلولی بسیاری از گونه‌های قارچی است و اثر آن به عنوان یک الیسیتور زیستی کارآمد برای بهبود بیوستز متابولیت‌های ثانویه در بسیاری از گیاهان دارویی تایید شده است (Jesionek et al. 2018; Chang et al. 1998). الیسیتورهای غیرزیستی یا عوامل تنشی مانند اشعه ماوراء بنفش، نمک فلزات سنگین و بعضی از ترکیبات شیمیایی با

مکانیسم‌های عمل متفاوت مانند جاسمونیک اسید، سالیسیلیک اسید، نیترات نیز به منظور افزایش تولید این ترکیبات در کشت بافت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال سالیسیلیک اسید و متیل جاسمونات بیوستز بسیاری از متابولیت‌های ثانویه از جمله اندول آلکالوئیدها، سزکوئی ترپن‌ها و فنل‌ها را تحریک می‌کند (Yu et al. 2006; Matkowski 2008).

الیسیتورها ممکن است ژن‌های جدیدی را فعال کنند که آنزیم‌ها و در نهایت مسیرهای بیوستزی مختلفی را راه اندازی کنند و باعث تشکیل متابولیت‌های ثانوی شوند (Zhao et al. 2005; Howlett 2006). به طور کلی استفاده از الیسیتورها در مطالعات مربوط به زیست فناوری متابولیت‌های گیاهی دو هدف اصلی را دنبال می‌کند: ۱- به دست آوردن اطلاعاتی در زمینه مسیرهای بیوستزی که منجر به تشکیل و تنظیم متابولیت‌های ثانوی می‌شود. ۲- افزایش تولید متابولیت‌های ثانوی برای کاربرد تجاری (Sobhanizadeh et al. 2015; Fazeli-nasab and Fooladvand 2016). از موارد دیگری که به تازگی به عنوان الیسیتور استفاده می‌شود، نانو ذرات هستند و از آنجاکه نانو ذرات قادر به تحریک مکانیسم دفاعی در سلول و تولید متابولیت‌های ثانویه هستند نتایج قابل توجهی را می‌توان انتظار داشت (Bondarian et al. 2013). نانو ذرات نقره ذراتی آب‌دوست با خواص ویژه و قطری در حدود یک تا 100 نانومتر می‌باشند که هسته آن را فلز نقره و اطراف آن را اکسید نقره در بر گرفته است (Park et al. 2006).

تری‌ترین‌ها یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین گروه‌های تشکیل دهنده ترپن‌ها می‌باشند که این متابولیت‌ها در صنعت دارو سازی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. تجمع این ترکیبات اغلب به فرم گلیکوزید تحت عنوان ساپونین است. گروهی از آنزیم‌های مهم کاتالیز کننده در مسیر بیوستز ساپونین تری‌ترپنویدها، اکسید اسکوالن سیکلازها می‌باشند. اکسیدواسکوالن سیکلازها، گروهی از آنزیم‌های مهم کاتالیز کننده در مسیر بیوستز تری‌ترین ساپونین‌ها می‌باشند که آنزیم β -*amyrin synthase* (β) از جمله این آنزیم‌ها بوده و به عنوان نقطه هماهنگ‌کننده بین متابولیت اولیه (استرول) و متابولیت ثانویه (تری‌ترین ساپونین) در این مسیر بیوستزی عمل می‌کند (Meesapyodsuk et al. 2007; Cammareri et al. 2008).

بتا آمیرین با اسکلت اولثانی توسط آنزیم بتا آمیرین سنتاز با پیش ماده اکسید و اسکوالن ایجاد می‌شود. ژن کدکننده این آنزیم در گونه‌های مختلف گیاهی از جمله در خانواده *Asteraceae* در دو جنس *Astera* و *Artemisia* توالی‌یابی شده است (Hossein Panahi et al. 2016). در تحقیقی ناحیه پروموتوری ژن بتا آمیرین سنتاز به‌عنوان یک ژن کلیدی در مسیر بیوسنتز ساپونین‌ها در گیاهان مدل آرابیدوپسیس و برنج بررسی و به این نتیجه رسیدند که پروموتور این ژن در هر دو گیاه، جز پروموتورهای القاپذیر بوده و متاثر از استرس‌های زیستی و غیرزیستی می‌تواند باعث تغییر در بیان ژن مربوطه شود (Seidi et al. 2017).

در تحقیقی بیان ژن‌های PAL، CAD، CCR و PLR بررسی و نشان دادند که بیان آن‌ها تحت اثر کیتوزان، افزایش یافته و بیشینه‌ی بیان آن‌ها در ۷۲ ساعت بعد از اعمال تیمار بوده اما در ۱۲۰ ساعت بعد از اعمال تیمار بیان کاهش یافته است (Esmaeilzadeh Bahabadi and Sharifi 2013) و در پژوهشی دیگر (Ghassemi et al. 2015) کاهش بیان ژن‌های *DBR* و *SQS* با افزایش غلظت نانو کیتوزان در بازه زمانی ۴۸ ساعت، مشاهده و بیشترین افزایش بیان ژن *SQS* در تیمار با الیسیستور نانو کیتوزان در بازه زمانی ۸ ساعت مشاهده شد. (Khodayari et al. 2015a). افزایش ۴ برابری بیان ژن *DBOX* پس از القای الیسیستور نانو ذرات نقره اعلام کردند، اما در ۷۲ ساعت پس از گذشت اعمال تیمار الیسیستوری، کلیه ژن‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش بیان را نسبت به شاهد نشان دادند و پس از ۱۶۸ ساعت بیان کلیه ژن‌ها به صفر نزدیک شد.

در این مطالعه نیز سعی شد، تاثیر الیسیستورهای نانو ذره نقره و کیتوزان بر بیان ژن بتا آمیرین سنتاز (*β-Amirin synthase*) در جمعیت‌های پاکستان و سیستان گیاه زینان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

بذرهای زینان (*Carum copticum* L.) مورد استفاده در این پژوهش از توده‌های محلی سیستان (شهرستان زابل) و پاکستان تهیه و در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل مورد آزمایش قرار گرفتند. پرایمرهای ژن‌های بتا آمیرین سنتاز و ژن مرجع (*18s rRNA*) با استفاده از نرم‌افزار Primer Premier به شرح

Betamirin [رفت (5'ACGAGGTAAGTGGAT3')، برگشت (5'GGGAGAAATGAAGGGAGG3')] و *18s rRNA* [رفت (5'AAACGGCTACCACATAG3')، برگشت (5'CAACCCAAAGTCCAACACTACG3')] انجام شد. به‌منظور جوانه‌زنی بذرها و تولید گیاهچه، بذرها در گلدان‌های حاوی خاک تقریباً سبک متشکل از مخلوط پیت ماس، خاک جنگلی، گیاه‌خاک و کود به‌صورت فاکتوریل در قالب کامل تصادفی با ۲ ژنوتیپ زینان به‌همراه تیمار کیتوزان در ۴ سطح (صفر، ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ ppm)، نانو ذرات نقره در ۴ سطح (صفر، ۳۰، ۶۰، ۱۵۰ ppm)، بازه زمانی (۴۸ و ۷۲ ساعت) و با ۳ تکرار کشت شدند. اعمال تیمار در مرحله چهارم برگ‌گی گیاه انجام شد. بدین صورت که ابتدا با آب مقطر و به وسیله افشانه سطح برگ‌ها مورد شستشو قرار گرفت و پس از آن محلول‌پاشی نانو ذرات نقره و کیتوزان انجام شد. نمونه‌ها در دو دوره متوالی، ۴۸ و ۷۲ ساعته، برداشت و در داخل نیتروژن مایع به آزمایشگاه منتقل و تا زمان استخراج RNA، نمونه‌ها در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

استخراج RNA کل با استفاده از روش SDS (Deepa et al. 2014) انجام و سپس برای حذف DNA ژنومی از کیت DNase شرکت پیشگام استفاده شد. بدین صورت که ۷/۵ ماکرولیتر از RNA نمونه‌ی استخراج شده را در میکروتیوپ ۰/۲ ریخته، ۱ ماکرولیتر بافر ۱۰X و ۱ ماکرولیتر آنزیم DNase افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در هات پلیت با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده، سپس ۱ ماکرولیتر EDTA ۰/۰۵ مولار اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و نهایتاً RNA از آلودگی DNA خالص‌سازی شد. به‌منظور بررسی کمیت و کیفیت RNA استخراج‌شده، جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۲۶۰ و ۲۸۰ نانومتر با استفاده از دستگاه نانودراپ خوانده شد. RNAهای استخراجی در نسبت جذب ۲۸۰/۲۶۰ نانومتر عدد ۱/۹ تا ۲ را نشان داد. پس از آن به‌منظور کیفیت مطلوب RNA استخراج شده، RNA کل توسط ژل الکتروفورز بررسی شد. مشاهده‌ی باندهای RNA ریبوزومی ۱۸s و ۲۸s به‌طور مشخص نشان‌دهنده‌ی کیفیت مناسب RNA استخراج‌شده بود. درنهایت با توجه به غلظت‌های خوانده‌شده، RNAها با آب عاری از RNase رقیق‌شده و بعد با

ژن مرجع بهینه و به شرح زیر انجام شد. در این آزمایش مقدار پرایمر رفت و برگشت (هر کدام $0.5 \mu\text{l}$)، cDNA ($1 \mu\text{l}$)، Hot Tag qPCR master mix (ROX) EvaGreen ($4 \mu\text{l}$) و آب عاری از نوکلئاز ($14 \mu\text{l}$) به دست آمد.

بدین منظور یک سری رقت‌های سریالی ۱، ۰/۱، ۰/۰۱، ۰/۰۰۱ از یک نمونه برای هر پرایمر تهیه و واکنش توسط دستگاه (Research RG-300 Corbett) انجام گرفت و سپس منحنی استاندارد توسط نرم افزار دستگاه رسم و بازده واکنش محاسبه شد. در این روش از نمونه RNA با غلظت مشخص برای رسم منحنی استاندارد استفاده شد. غلظت RNA استاندارد با اسپکتروفوتومتر (260 nm) تعیین می‌شود و سپس از روی وزن مولکولی نمونه به تعداد نسخه‌های آن تبدیل می‌شود. استانداردهای غلظتی ژن‌های معروف به صورت تجاری قابل خریداری است هرچند که بسیار گران قیمتند. از نمونه‌های استاندارد سری رقت تعیین کرده و همراه با نمونه هدف در دستگاه Real-time PCR قرار داده شد. با استفاده از Ct که دستگاه برای هر رقت به ما می‌دهد یک منحنی رسم کرده که X آن رقت یا تعداد کپی از ژن و Y آن CT باشد، نمودار به دست آمده یک نمودار خطی است که با قرار دادن عدد نمونه هدف در نمودار غلظت یا تعداد کپی آن نیز بدست می‌آید. ترجیحاً طول قطعه استاندارد مساوی با طول قطعه هدف باشد.

به منظور محاسبات آماری از نرم‌افزار Statistix 10 استفاده شد. میزان بیان ژن مورد مطالعه با استفاده از روش مقایسه‌ای $2^{-\Delta\Delta CT}$ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش دانکن در سطح ۵ درصد انجام و همچنین برای رسم شکل‌ها و نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

نتایج استخراج RNA در شکل ۱ نشان داده شده است، هم‌چنان‌که مشاهده می‌شود دو باند RNA ریبوزومی 18s و 28s روی ژل کیفیت بالای RNA استخراج شده را تایید می‌کنند.

استفاده از غلظت‌های مورد استفاده در RealTime PCR، به عنوان الگو در واکنش زنجیره‌ای پلیمرز قرار گرفتند و هیچ تکثیر را که نشان‌دهنده آلوده بودن نمونه‌ها به DNA ژنومی باشد را نشان ندادند.

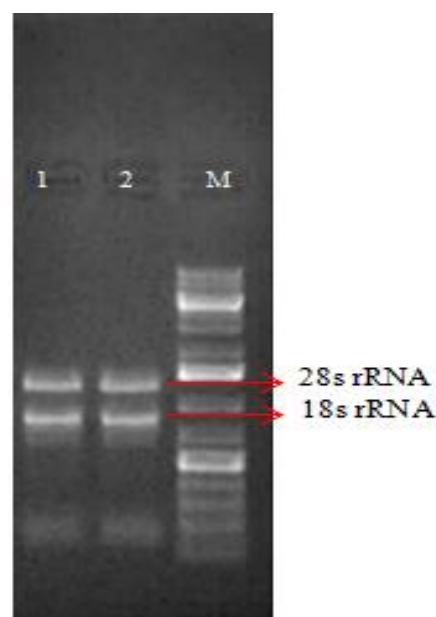
cDNA با استفاده از کیت Gene All سنتز شد. بدین صورت که ابتدا $3 \mu\text{l}$ نمونه RNA تیمار شده با Dnase، $0.5 \mu\text{l}$ پرایمر Revers، $0.5 \mu\text{l}$ از DNTP MIX و $3 \mu\text{l}$ از آب بدون نوکلئاز در زیر هود با شرایط کاملاً استریل مخلوط و روی هات پلیت با دمای 65°C درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه قرار داده شد سپس به مدت ۱ دقیقه روی یخ گذاشته شد. بعد آن $1 \mu\text{l}$ از RTase reaction buffer (10x)، $1 \mu\text{l}$ از DDT 0.1 M ، $0.5 \mu\text{l}$ از Hyper script و $0.5 \mu\text{l}$ از RNase Inhibitor را به تیوپ اضافه و خوب مخلوط کرده و به مدت ۱ ساعت در بن ماری با دمای 42°C درجه سانتی‌گراد گذاشته و در نهایت به مدت ۱ دقیقه در هات پلیت با دمای 85°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از آن دوباره تیوپ‌ها بلافاصله به فریزر -20°C منتقل شدند.

برای اطمینان از سنتز cDNA از الکتروفورز ژل آگارز استفاده شد که مشاهده باندهای اسمیر نشان‌دهنده سنتز cDNA بود. سپس در مرحله بعد با استفاده از پرایمرهای ژن رفرنس و استفاده از cDNA به عنوان الگو در واکنش PCR از سنتز cDNA اطمینان حاصل شد. علاوه بر این از کنترل منفی هم برای تشخیص آلودگی ژنومی استفاده شد که در واکنش PCR بجای استفاده از cDNA از RNA به عنوان الگو استفاده شد و عدم تکثیر باند در این حالت نشان‌دهنده عدم وجود آلودگی ژنومی بود و در نهایت cDNA ها برای آزمون پرایمرها و RealTimePCR مورد استفاده قرار گرفت.

جهت بهینه‌سازی شرایط PCR ابتدا واکنش در غلظت‌های مختلف cDNA انجام، سپس با استفاده از یک شیب غلظت از Master Mix میزان بهینه مصرف آن تعیین و همچنین با استفاده شیب دمایی، دمای اتصال آغازگرها به توالی مورد نظر تعیین و نهایت مواد واکنش PCR به شرح؛ میزان پرایمر رفت و برگشت (هر کدام $0.5 \mu\text{l}$)، مسترمیکس ($7.5 \mu\text{l}$)، cDNA ($1 \mu\text{l}$) و آب دیپس ($5/5$) به دست آمد. بعد از بهینه‌سازی شرایط PCR، واکنش Real Time PCR نیز برای آغازگرهای β -amylin synthase و

زمان) و سه گانه (کیتوزان با نانوذرات نقره و زمان) بر بیان ژن بتآمیرین سنتاز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شدند ($P < 0.05$) (جدول ۱).

در اثرات اصلی، بیشترین میزان بیان ژن در تیمار کیتوزان (غلظت ۲۰۰ ppm)، نانوذرات نقره (۹۰ ppm)، در بازه زمانی ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار و در ژنوتیپ پاکستان به دست آمد. با افزایش غلظت کیتوزان و نانوذرات نقره، بیان ژن بتآمیرین سنتاز افزایش یافته است اما این سیر صعودی فقط در بازه زمانی ۴۸ ساعته بوده و با گذشت زمان این سیر نزولی شده است به طوری که بیشترین میزان بیان ژن در غلظت ۱۵۰ ppm کیتوزان در بازه زمانی ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار (شکل ۲) و در غلظت ۹۰ ppm نانوذرات نقره در بازه زمانی ۴۸ ساعته بوده است (شکل ۳). در اثر متقابل سه گانه نیز همین امر صادق بوده و بیشترین میزان بیان ژن در غلظت ۹۰ ppm نانوذرات نقره، ۱۵۰ ppm کیتوزان و در بازه زمانی ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار بوده و با گذشت زمان میزان بیان ژن کمتر شده است (شکل ۴).



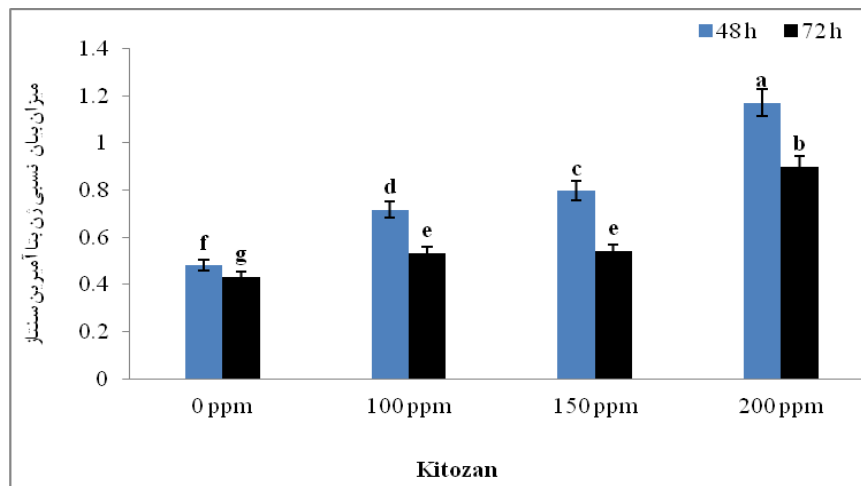
شکل ۱- RNA استخراج شده دارای دو باند ۱۸ S و ۲۸ S، چاهک شماره ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به جمعیت پاکستان و سیستان و چاهک M مربوط به مارکر.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی کیتوزان، نانو ذرات نقره، زمان، ژنوتیپ، اثرات متقابل دوگانه (کیتوزان با نانوذرات نقره، کیتوزان با زمان و نانوذرات نقره با

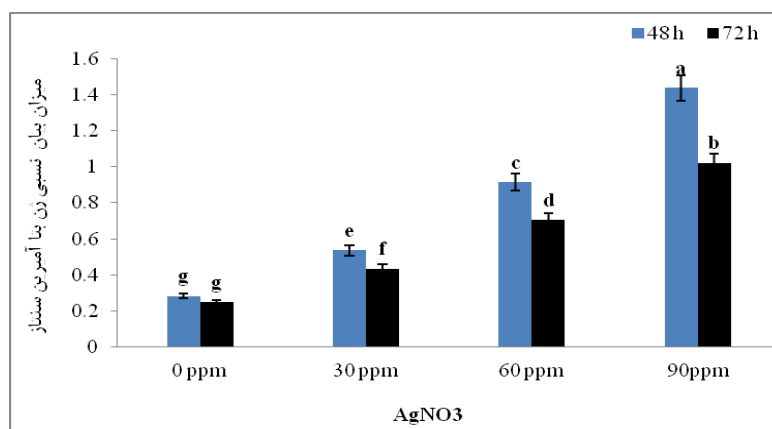
جدول ۱- تجزیه واریانس حاصل از تأثیر الیستورهای کیتوزان و نانوذره نقره در دو بازه‌ی زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت بر بیان ژن بتا امیرین سنتاز دو جمعیت سیستان و پاکستان گیاه زنیان

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
جمعیت (ج)	۱	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۷/۴۲**
کیتوزان (ک)	۳	۸/۵۴	۲/۸۵	۴۹۲/۲**
نانوذرات نقره (ن)	۳	۲۵/۲۸	۸/۴۳	۱۴۵۶/۲**
زمان (ز)	۱	۱/۷۲	۱/۷۲	۲۹۷/۸**
ج*ک	۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۲۲ ^{ns}
ج*ن	۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۱۱ ^{ns}
ج*ز	۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۰/۱ ^{ns}
ک*ن	۹	۹/۳۷	۱/۰۴۱	۱۷۹/۹**
ک*ز	۳	۰/۳۷	۰/۱۲۴	۲۱/۴**
ن*ز	۳	۱/۰۰۰۹	۰/۳۳۳	۵۷/۶**
ج*ک*ن	۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۱ ^{ns}
ج*ک*ز	۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۰/۱۱ ^{ns}
ج*ن*ز	۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۱۸ ^{ns}
ک*ن*ز	۹	۰/۸۷۶	۰/۰۹۷	۱۶/۸۳**
ج*ک*ن*ز	۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۸	۰/۱۵ ^{ns}
خطا	۱۲۸	۰/۷۴	۰/۰۰۶	-
کل	۱۹۱	۴۷/۹۷	-	-

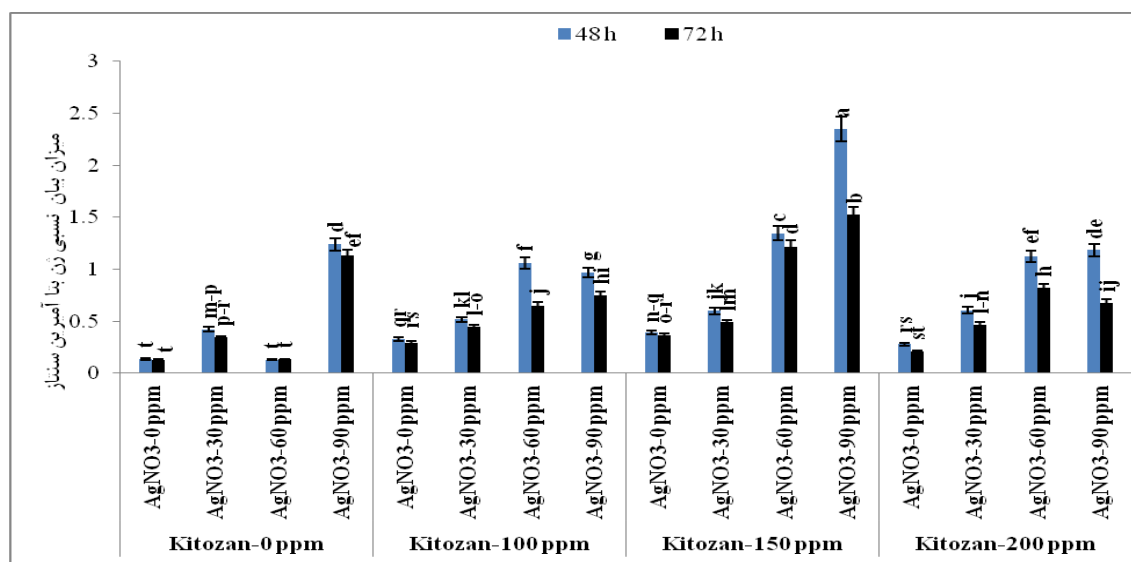
^{ns}, * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح ۱ و ۵ درصد



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه کیتوزان و بازه زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت بر بیان ژن بتآمیرین سنتاز گیاه زینان



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دو گانه نانو ذرات نقره و بازه زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعت بر بیان ژن بتآمیرین سنتاز گیاه زینان



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه کیتوزان و نانوذرات نقره در دو بازه زمانی ۴۸ و ۷۲ ساعته بر بیان ژن بتآمیرین سنتاز گیاه زینان

بحث

بررسی‌ها نشان داد است که نوع و غلظت الیستور نقش مهمی در فرآیند تحریک دارد و بر شدت پاسخ مؤثر است (Trontin et al. 2016)، همچنین Nair et al. (2010) معتقدند که در مطالعات بیان ژن، خصوصیات نانو ذره، غلظت آن و بافت مورد استفاده بسیار حائز اهمیت‌اند، به دلیل این‌که اطلاعات زیادی از موارد استفاده‌ی نانو ذرات و اثرات آن‌ها بر گیاهان در دسترس نیست، لذا تصمیم‌گیری در مورد عملکرد آن‌ها در سلول‌های گیاهی نیازمند مطالعات بیشتری در این زمینه است. در تحقیق حاضر مشخص شد که با افزایش نانو ذرات نقره میزان بیان ژن بت‌آمرین سنتاز بیشتر شده اما این سیر صعودی فقط تا بازه زمانی ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار بوده و با گذشت زمان این سیر نزولی شده است از طرفی در هر حالت کیتوزان نتوانسته است در غلظت بالای ۱۵۰ ppm باعث افزایش بیان شود بلکه بر میزان بیان ژن تأثیر منفی نیز داشته است. در پژوهش Babaei et al. (2018) بیشینه‌ی بیان ژن *Hyp-1* در غلظت ۵۰ ppm از کیتوزان دیده شده است. همچنین غلظت مؤثر الیستور بر حسب گونه‌ی گیاهی متفاوت بوده به طوری‌که غلظت بهینه الیستوری که در یک گیاه اثر تحریکی دارد، ممکن است بر گیاهی دیگر اثر نداشته باشد لذا در تحقیقی گزارش شده که غلظت ۲۰ میلی گرم بر لیتر کیتوزان باعث القای بیشترین میزان تولید آنتراکینون در *Rubia akane* شده است (Jin et al. 1999). در حالی‌که غلظت بهینه برای تولید متانول *Mentha piperita* غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر کیتوزان، بوده است (Chang et al. 1998). به نظر می‌رسد علاوه بر غلظت الیستور، مدت زمان قرارگیری در معرض الیستور نیز بر بیان ژن مؤثر است، به دلیل این‌که میزان بیان ژن *Hyp-1* در بازه‌ی ۴۸ ساعت بیش از بازه‌ی زمانی ۷۲ ساعت بود (Babaei et al. 2018).

Esmailzadeh Bahabadi and Sharifi (2013) طی بررسی بیان ژن آنزیم‌های PAL، CCR، PLR و CAD بیشترین میزان بیان را در روز سوم اعلام کردند و در روز پنجم پس از اعمال تیمار بیان ژن آنزیم‌های مذکور کاهش یافت که این نتایج با کاهش بیان بت‌آمرین سنتاز زنیان طی بازه‌ی زمانی ۷۲ ساعت در این تحقیق

مطابقت دارد. افزایش بیان ژن‌های مسیر فنیل پروپانوییدی و تولید پودوفیلوتوکسین با اثر کیتوزان در کشت سلول کتان سفید در بازه زمانی ۱، ۲، ۳ و ۵ روز بعد از اعمال تیمار بررسی و گزارش شده که کیتوزان با اثر بر بیان ژن آنزیم‌های مسیر بیوستزی پودوفیلوتوکسین، باعث افزایش میزان پودوفیلوتوکسین شده و اوج بیان آن‌ها پس از ۳ روز دیده شده است اما با گذشت زمان بیان آن کمتر شده است (Esmailzadeh Bahabadi et al. 2013). در تحقیق حاضر نیز کیتوزان باعث افزایش بیان ژن بت‌آمرین سنتاز شده و با افزایش غلظت کیتوزان بیان ژن نیز بیشتر شده اما در غلظت‌های بالا و همچنین با گذشت زمان این میزان بیان کمتر شده است، به طوری‌که بیشترین بیان ژن در غلظت ۱۵۰ ppm و بازه زمانی ۴۸ ساعت بعد از اعمال تیمار به دست آمده است. اثر کیتوزان (با غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ ppm) بر بیان ژن چاویکول - O- متیل ترانسفرز و ترکیبات فنیل پروپانوییدی ریحان بنفش *Ocimum basilicum* تحت تنش خشکی (نرمال، تنش ملایم و متوسط) بررسی و گزارش شده که میزان اسانس، میزان بیان ژن چاویکول - O- متیل ترانسفرز و ترکیب متیل چاویکول تحت تأثیر تنش خشکی و الیستور کیتوزان در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش معنی‌داری یافته؛ به طوری‌که بیشترین میزان آن با به کارگیری غلظت ۴۰۰ ppm از کیتوزان در تنش ملایم یعنی آبیاری در ۳۰ تخلیه رطوبتی از ظرفیت زراعی به دست آمده است (Malekpoor et al. 2017). تأثیر متفاوت کیتوزان در بیان ژن گزارش شده است به طوری‌که در برخی تحقیقات با افزایش غلظت کیتوزان بیان ژن نیز زیاد شده (Malekpoor et al. 2017) اما در برخی تحقیقات دیگر (Esmailzadeh Bahabadi et al. 2013) و همچنین تحقیق حاضر این میزان کاهش پیدا کرده است، که این امر می‌تواند به دلیل شرایط حاکم بر آزمایش و نوع گونه‌های گیاهی و مدت زمان اعمال تیمار مورد استفاده باشد که برخی شرایط و گونه‌ها متأثرتر از کیتوزان و برخی نیز کم‌اثرتر باشند.

در تحقیق حاضر نانو ذرات نقره باعث افزایش بیان ژن بت‌آمرین سنتاز شده ولی با افزایش زمان روند کاهشی بیان ژن به شکل شدیدتری هویدا شده است. (Khodayari et al. 2015b) در مورد تأثیر بازه‌ی زمانی و اعمال نانو ذرات نقره در بیان تعدادی از

میکروارگانسیم‌ها را از بین ببرد (Lubick 2008). محققان نشان دادند که Ag^+ از طریق تولید گونه‌های فعال اکسیژن بر فسفولیپیدها اثر گذاشته و باعث پر اکسیداسیون آن‌ها شده و غشا سلولی میکروارگانسیم‌ها را تخریب می‌کند. از این گذشته Ag^+ ممکن است با سولفورو در گروه‌های SH- غشا سلولی میکروارگانسیم‌ها جانشین گردد و آن‌ها را تخریب کند (Dibrov et al. 2002).

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق چنین استنباط می‌شود که هر چند اعمال الیستورهای کیتوزان و نانوذرات نقره سبب تغییر بیان ژن بتا‌آمرین سنتاز شده اما این تغییر در ۴۸ ساعت پس از اعمال تیمار کیتوزان در غلظت ۱۵۰ppm و نانوذرات نقره با غلظت ۹۰ppm پاسخ بهتری برای افزایش بیان ژن مورد مطالعه داشت. بیشترین کاهش بیان ژن مورد مطالعه با افزایش غلظت برای تیمار کیتوزان تا ۲۰۰ ppm و همچنین استفاده از بازه‌ی زمان بیشتر (بازه‌ی ۷۲ ساعت) با کاربرد هر دو الیستور، مشاهده شد. همچنین نوع جمعیت نیز نقش به‌سزایی در بیان ژن‌های موثر در مسیر بیوستیزی متابولیت‌های ثانویه داشته که مشخص شد جمعیت پاکستان سطح بیان ژن بیشتری در مقایسه با جمعیت سیستان داشته است.

ژن‌های گیاه پاپاور به نتایج مشابهی دست یافتند، چنان‌که اظهار دارند تمام ژن‌های مورد مطالعه بیشترین تغییرات بیانی را در ساعت‌های اولیه پس از تیمار با نانو الیستورها نشان دادند و پس از گذشت زمان، بیان آن‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد می‌توان از نانو الیستورها برای افزایش بیان ژن‌های مؤثر در مسیر بیوستیزی استفاده کرد اما باید به این نکته توجه داشت که از مدت زمان بهینه الیستور استفاده کرد، زیرا وجود مستمر الیستور خود باعث کاهش ژن‌های مطلوب مورد نظر شده (Khoshnodi et al. 2013; Khodayari et al. 2015) و از آنجایی که متابولیت‌های تولیدشده عمدتاً در واکنش‌های دفاعی سلول تولید می‌شوند، افزایش آن‌ها منجر به یک سری تغییرات سلولی، واکنش‌های فوق حساسیت و درنهایت مرگ سلولی می‌شود (Khodayari et al. 2015b). همچنین کاربرد نانو ذرات ممکن است ایجاد استرس‌های اکسیداتیو کرده و با آزادسازی رادیکال‌های اکسیژن خسارت‌هایی را به مولکول‌های زیستی وارد سازند و خود این ذرات نیز ممکن است یون‌هایی را به محیط وارد می‌کنند (Chomoucka et al. 2010). به‌نظر می‌رسد نانو ذرات نقره بسته به اندازه می‌توانند به دیواره سلولی، حتی غشای پلاسمایی نفوذ کنند (Manios et al. 2003) البته مکانیسم عمل ذرات نانو نقره در میکروارگانسیم‌ها هنوز به‌روشنی مشخص نشده ولی پیشنهاد شده است که ذرات نانو نقره می‌تواند به آهستگی یون‌های نقره (Ag^+) را رها کنند و Ag^+ می‌تواند ساختار سلولی

منابع

Babaei Z, Solouki M, Fazeli-Nasab B (2018) Investigating The Effect of Biological and non-Biological Elicitor on Expression of Hyp-1 Gene in *Hypericum perforatum*. *Modern Genetics* 13:543-549. (In Farsi).
Bondarian F, Torabi S, Omid M, Bahreini M (2013) Study of callus induction and regeneration of *Papaver somniferum* L. *Current opinion in biotechnology* S28-S41.
Cammalleri M, Consiglio MF, Pecchia P, Corea G, Lanzotti V, Ibeas JI, Tava A, Conicella C (2008) Molecular characterization of β -amyrin synthase from *Aster sedifolius* L. And triterpenoid saponin analysis. *Plant Science* 175:255-261.
Castiglione MR, Giorgetti L, Geri C, Cremonini R (2011) The effects of nano-tio2 on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. And

Zea mays L. *Journal of Nanoparticle Research* 13:2443-2449.
Chang JH, Shin JH, Chung IS, Lee HJ (1998) Improved menthol production from chitosan-elicited suspension culture of *Mentha piperita*. *Biotechnology letters* 20:1097-1099.
Chattopadhyay D (1990) Chromosome studies and estimation of nuclear DNA in different varieties of *Cuminum cyminum* L. And *Carum copticum* Benth. And Hook. *Cytologia* 55:631-637.
Chomoucka J, Drbohlavova J, Huska D, Adam V, Kizek R, Hubalek J (2010) Magnetic nanoparticles and targeted drug delivering. *Pharmacological Research* 62:144-149.
Deepa K, Sheeja T, Santhi R, Sasikumar B, Cyriac A, Deepesh P, Prasath D (2014) A simple and efficient protocol for isolation of high quality functional RNA from

- different tissues of turmeric (*Curcuma longa* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants* 20:263-271.
- Dibrov P, Dzioba J, Gosink KK, Häse CC (2002) Chemiosmotic mechanism of antimicrobial activity of Ag⁺ in *Vibrio cholerae*. *Antimicrobial agents and chemotherapy* 46:2668-2670.
- Esmailzadeh Bahabadi S, Sharifi M (2013) Increasing the Production of Plant Secondary Metabolites Using Biotic Elicitors. *Journal of Cell and Tissue* 4:119-128. (In Farsi).
- Esmailzadeh Bahabadi S, sharifi M, behmanesh M (2013) Increased the genes expression of phenylpropanoid biosynthesis pathway and production of podophyllotoxin by chitosan in cell cultures of *Linum album*. *Modares Journal of Biotechnology* 4:58-64. (In Farsi).
- Fazeli-nasab B, Fooladvand Z (2016) A Review on Iranian *Carum copticum* (L.): Composition and Biological Activities. *European Journal of Medicinal Plants* 12:1-8.
- Ghassemi B, Hosseini R, Dehghan nayeri F (2015) The Effect of Nano Cobalt and Nano Chitosan on Artemisinin production and expression of SQS and DBR2 genes in *Artemisia annua*. *Genetic Engineering and Biosafety Journal* 4:25-39. (In Farsi).
- Hossein Panahi Z, Maroufi A, Bahramnejad B (2016) Isolation and Expression Pattern of β -amyrin Synthase in Chicory (*Cichorium intybus* L.). *Modern Genetics* 11:399-409. (In Farsi).
- Howlett BJ (2006) Secondary metabolite toxins and nutrition of plant pathogenic fungi. *Current Opinion in Plant Biology* 9:371-375.
- Jesionek A, Kokotkiewicz A, Krolicka A, Zabiegala B, Luczkiewicz M (2018) Elicitation strategies for the improvement of essential oil content in *Rhododendron tomentosum* (*Ledum palustre*) bioreactor-grown microshoots. *Industrial Crops and Products* 123:461-469.
- Jin JH, Shin JH, Kim JH, Chung IS, Lee HJ (1999) Effect of chitosan elicitation and media components on the production of anthraquinone colorants in madder (*Rubia akane Nakai*) cell culture. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 4:300.
- Khodayari M, Omid M, Shah Nejat Bushehri A, Yazdani D, Naqvi MR, Kadkhoda Z (2015b) Effect biological elicitor and nano elicitor on increasing the production of alkaloids in opium poppy (*Papaver somniferum*). *Iranian Horticultural Science* 45:287-295. (In Farsi)
- Khodayari M, Omid M, Shah-Najat-Bushehri A, Shit M (2015a) Biological Elicitor and Nano-Elicitor Effect on Gene Expression of Some Populonic Alkaloids. *Iranian Horticultural Science* 45:287-295. (In Farsi).
- Khoshnodi S, Ghesemi hagh Z, Ghanbarpor P (2013) Investigating the stress of silver in two nano sizes on germination and growth of cauliflower seeds. In: *Proceedings of the 2nd National Conference on Sustainable Agriculture and Environment*. Conference Location. (In Farsi)
- Lubick N (2008) Nanosilver toxicity: ions, nanoparticles or both?(ed)^o(eds). ACS Publications.
- Malekpour F, Ghasemi Pirbalouti A, Salimi A, Momtaz H (2017) Effects of chitosan on gene expression of chavicol-O-methyl transferase and phenylpropanoid components of *Ocimum basilicum* (purple cultivar) under water deficit. *Journal of Cellular and Molecular Researches* 30:282-294.
- Manios T, Stentiford EI, Millner PA (2003) The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water. *Ecological Engineering* 20:65-74.
- Matkowski A (2008) Plant in vitro culture for the production of antioxidants-a review. *Biotechnology advances* 26:548-560.
- Meesapyodsuk D, Balsevich J, Reed DW, Covello PS (2007) Saponin biosynthesis in *Saponaria vaccaria*. Cdnas encoding β -amyrin synthase and a triterpene carboxylic acid glucosyltransferase. *Plant physiology* 143:959-969.
- Nair R, Varghese SH, Nair BG, Maekawa T, Yoshida Y, Kumar DS (2010) Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science* 179:154-163.
- Nomani M, Noori SAS, Tohidfar M, Ramshini H (2019) Overexpression of TPS2 gene to increase thymol content using *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation in *Trachyspermum ammi* (Qom ecotype). *Industrial Crops and Products* 130:63-70.
- Park H-J, Kim S-H, Kim H-J, Choi S-H (2006) A new composition of nanosized silica-silver for control of various plant diseases. *The Plant Pathology Journal* 22:295-302.
- Sargazi A, Fakheri B, Soloki M, Fazeli-Nasab B (2016) Genetic diversity of some population of medicinal Ajowan (*Carum copticum*) using RAPD marker. *Journal of Medicinal Plants Biotechnology* 2:22-36. (In Farsi).
- Seidi M, Kamaladini H, Haddadi F (2017) Bioinformatics Analysis of Chicory Beta Amyrin Synthase Promoter in *Arabidopsis* and Rice model plants. *The First International Conference on New Findings in Biotechnology*, Article COI: BIOTECH01-021. (In Farsi).
- Singh G, Kapoor I, Pandey S, Singh U, Singh R (2002) Studies on essential oils: part 10; antibacterial activity of volatile oils of some spices. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives* 16:680-682.
- Sobhanizadeh A, yadegari H, Fazeli-Nasab B, Fakheri B, Shahpesandi S (2015) Introduction on application of herbal medicine. In: *Proceedings of the The 1st Annual Iranian Agricultural Research Conference*. Conference Location. Pp. Pages. (In Farsi).
- Trontin J-F, Klimaszewska K, Morel A, Hargreaves C, Lelu-Walter M-A (2016) Molecular aspects of conifer zygotic and somatic embryo development: a review of genome-wide approaches and recent insights. *In Vitro Embryogenesis in Higher Plants* 167-207.
- Vasconsuelo A, Boland R (2007) Molecular aspects of the early stages of elicitation of secondary metabolites in plants. *Plant Science* 172:861-875.
- Yu Z-Z, Fu C-X, Han Y-S, Li Y-X, Zhao D-X (2006) Salicylic acid enhances jaceosidin and syringin production in cell cultures of *Saussurea medusa*. *Biotechnology letters* 28:1027-1031.

Zhao J, Davis LC, Verpoorte R (2005) Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites. *Biotechnology advances* 23:283-333.