

کارایی نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید در کنترل موریانة *Microcerotermes diversus* (Iso.: Termitidae) در شرایط آزمایشگاهی

رضا ابوالفارسی^{۱*}، بهزاد حبیب‌پور^۲ و علی اشرفی^۳

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد حشره‌شناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. استادیار گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۲۴)

چکیده

موریانة *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) به دلیل تغذیه از همه مواد سلولزی مهم‌ترین آفت اقتصادی ساختمان‌ها در خوزستان است. در دهه اخیر استفاده از نانو تکنولوژی به تولید نانو کپسول‌های تهیه شده از مواد مختلف و به ره‌ایش کنترل شده آفت‌کش‌ها درون آنها کمک کرده است. نئونیکوتینوئیدها، از جمله ایمیداکلوپراید، گروهی از ترکیبات شیمیایی حشره‌کش‌اند که در دو دهه اخیر در غالب برنامه‌های کنترل آفات معرفی شده‌اند. در این تحقیق، بررسی کارایی نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید و نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری روی *M. diversus* برای اولین بار انجام گرفت. اثرات نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید و نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری با حدود غلظت ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ قسمت در میلیون علیه *M. diversus* بررسی شد. نتایج نشان داد که اتیل سلولز برای موریانة مذکور نه تنها اثر کشندگی نداشت، بلکه اثر جلب‌کننده تغذیه‌ای این ماده، مشاهده شد. نتایج آزمون کاغذهای صافی تیمار شده با غلظت‌های مختلف این فرمولاسیون نشان داد که در مدت ۱۴ روز، مرگ‌ومیر با افزایش غلظت به صورت تدریجی افزایش یافت. یافته‌های این پژوهش، نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید را به عنوان یک فرمولاسیون موریانه‌کش مؤثر پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ایمیداکلوپراید، جلب‌کننده تغذیه‌ای، موریانه، نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز.

مقدمه

موریانها گروهی از حشرات اجتماعی واقعی (Eusocial) محسوب می‌شوند که در جوامع زیستی آنها تقسیم کار صورت گرفته است و افراد به سه طبقه اصلی (Caste) شامل افراد جنسی بال‌دار، کارگر و سرباز تقسیم می‌شوند و هر طبقه بر اساس توانایی‌هایش وظایف متعددی را به عهده دارد (Habibpour, 1994). در استان خوزستان از دیرباز به

دلیل رعایت نکردن اصول پیشگیری در هنگام ساختمان‌سازی و نیز به‌کار نگرفتن مواد محافظت‌کننده چوب و سم‌پاشی نکردن در زمان مناسب، هجوم موریانها به داخل ساختمان‌ها و بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر به لوازم چوبی مشاهده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین موریانه در استان خوزستان گونه *Microcerotermes diversus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) است و به عنوان

سموم درون این نانوکپسول‌ها کمک کرده است (Bhattacharyya *et al.*, 2010). به عنوان مثال در بررسی‌هایی که روی نانوکپسول‌های اتیل سلولز حاوی طلا و اکسید آهن انجام گرفت، مشخص شد که رهایش داروهای ضدسرطان درون نانوکپسول‌های ذکرشده، به صورت کنترل شده است (Sathish Kumar & Jaikumar, 2011). بررسی فرمولاسیون نانوکپسول اسانس زنیان، (*Carum copticum* (C. B. Clarke)، روی رفتار تغذیه‌ای شب‌پره پشته‌الماسی، *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) معناداری نرخ مصرف نسبی غذا، نرخ رشد نسبی، بازده تبدیل غذای خورده شده و بازده تبدیل غذای هضم شده کاهش می‌یابد (Jamal *et al.*, 2013). از سوی دیگر، امنیت زیستی تولیدات کشاورزی و مواد غذایی، سیستم‌های آزادکننده دارو علیه بیماری‌های شایع، حفظ سلامتی و حمایت از محیط زیست از جمله کاربردهای این علم است (Salari *et al.*, 2008). لذا از اهداف اصلی در پژوهش حاضر، بررسی اثرات نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید روی موریانه *M. diversus*، استفاده از مقادیر کمتر ترکیب ایمیداکلوپراید در فرمولاسیون نانو و به دست آوردن نتایج مشابه یا بهتر و تولید یک فرمولاسیون کاملاً اختصاصی برای مبارزه علیه موریانه *M. diversus* است.

مواد و روش‌ها

جمع آوری و نگهداری موریانه‌ها

موریانه‌ها در منطقه اهواز از طریق بلوک‌های چوبی تهیه شده از چوب‌های تجاری مورد علاقه موریانه (چوب راش و چوب ایرانی) در خاک، جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. بلوک‌های چوبی در ابعاد ۲۰×۶×۲ سانتی‌متر تهیه شدند و این چوب‌ها ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفتند تا میزان رطوبت همه آنها یکسان شود. برای رفع استرس، موریانه‌ها قبل از شروع آزمایش‌های زیست‌سنجی، به مدت ۲۴ ساعت در جعبه‌های پلاستیکی از کاغذ صافی مرطوب تغذیه کردند. جعبه‌های پلاستیکی در انکوباتور تاریک در شرایط

حریص‌ترین و مخرب‌ترین موریانه دارای حوزه جستجوگری غذای وسیع بوده و توانایی ایجاد اجتماعات ثانویه در دیوارها و سقف اماکن و نیز روی درختان را دارد. لذا ریشه‌کنی و کنترل آن با مشکلاتی همراه است (Habibpour, 2006). نئونیکوتینوئیدها (Neonicotinoids) گروهی از ترکیبات شیمیایی حشره‌کش‌اند که به تازگی در غالب برنامه‌های کنترل آفات معرفی شده‌اند. نقطه اثر این ترکیبات در سیستم عصبی حشرات، مشابه نیکوتین است، اما بسیار قوی‌تر است و برای انسان خطر کمتری دارد (Rakhshani, 2002). ایمیداکلوپراید (Imidacloprid) که متعلق به گروه نئونیکوتینوئیدهاست، یک حشره‌کش با اثرات تماسی و سیستمیک بسیار شدید است (Cowles *et al.*, 2006). در دهه اخیر استفاده از فناوری نوین نانو، گامی بسیار مهم در جهت پیشرفت علوم مختلف بوده است و با توجه به چندوجهی بودن آن، حوزه‌های علمی مختلف را هم‌گرا کرده است و آنها را در خدمت توسعه بخش کشاورزی قرار می‌دهد. به طور کلی، نانوذرات به عنوان ذرات کلوئیدی جامد تعریف می‌شوند و شامل نانوسفرها و نانوکپسول‌ها می‌شوند. آنها می‌توانند به هر دو روش پلیمریزاسیون و سنتز با پلیمرهای شکل‌گرفته شده، تولید شوند. یکی از ویژگی‌های بنیادی آنها اندازه آنهاست که به طور کلی از ۱۰-۵ نانومتر تا حدود ۱۰۰۰ نانومتر است؛ هر چند محدوده اندازه آنها تقریباً بین ۱۰۰-۵۰۰ نانومتر است (Quintanar *et al.*, 1998). همان‌طور که محققان زیادی متذکر شده‌اند، سیستم نانوکپسول‌ها با توجه به ظرفیت خود در آزاد کردن داروها، به عنوان حاملان فعال نوید داده شده‌اند (Cruz *et al.*, 2006; Amaral *et al.*, 2007). اندازه زیرسلولی نانو ذرات به آنها این اجازه را می‌دهد که نسبت به دیگر ذرات درون سیستم‌ها، جذب درون سلولی نسبتاً بالاتری داشته باشند (Furtado *et al.*, 2001). همچنین آنها در پایداری مواد فعال و سازگار با بافت‌ها و سلول‌ها ایفای نقش می‌کنند (Ourique *et al.*, 2008). استفاده از نانوتکنولوژی در تهیه میکروکپسول‌ها و نانوکپسول‌های تهیه شده از مواد مختلف به رهایش تدریجی و کنترل شده و افزایش پایداری داروها و

نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید پوشانده شد. در آزمایشی کاملاً جداگانه به همین ترتیب، نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز که بدون بارگذاری تولید شده بودند، با همین غلظت‌ها در معرض موریانه قرار گرفت. در ظروف با کاغذ صافی مرطوب پوشانده شد تا از لحاظ تأمین رطوبت برای زنده‌مانی موریانه‌ها مشکلی ایجاد نشود. کاغذهای صافی موجود در پتری‌ها با ۲ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب گردید و سپس ۵۰ موریانه کارگر سالم، هم‌سن و فعال در هر ظرف رهاسازی و برای هر تیمار ۴ تکرار در نظر گرفته شد. همچنین یک تیمار شاهد در ۴ تکرار در نظر گرفته شد که در این تیمار از کاغذهای صافی، بدون نانوکپسول استفاده شد. هر ۲۴ ساعت یک‌بار موریانه‌های مرده از واحدهای آزمایشی خارج و تعداد آنها ثبت گردید. ۲ هفته برای انجام این آزمون‌های زیست‌سنجی برای نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید و نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری در نظر گرفته شد. واحدهای آزمایشی در انکوباتور تاریک با شرایط دمایی 28 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 90 ± 5 درصد نگهداری شدند.

آزمون انتخابی

در این آزمون موریانه‌ها قدرت انتخاب برای بستر تغذیه‌ای خود را داشتند. هدف از انجام این آزمون تعیین میزان جذابیت تغذیه‌ای و میزان دورکنندگی این نانوکپسول‌ها، در حالی که نیمی از محیط آنها آغشته به این نانوکپسول‌ها و نیمه دیگر غیرآغشته و محیط سالم بود، در نظر گرفته شد. بنابراین کاغذهای صافی به ۲ تکه مساوی تقسیم شدند، طوری که وقتی درون پتری قرار گرفتند، فاصله ۱/۵ سانتی‌متری بین آنها وجود داشت. هر دو تکه از کاغذ صافی با آب مقطر مرطوب شد، ولی سطح یک تکه با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام، از نانوکپسول‌های تولیدشده حاوی ترکیب ایمیداکلوپراید پوشانده شد و در آزمایشی کاملاً جداگانه به همین ترتیب، نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری تولیدشده، با همین غلظت‌ها در معرض موریانه‌ها قرار

دمای 28 ± 2 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 90 ± 5 درصد نگهداری شدند. تنها از موریانه‌های فعال و سالم در آزمایش استفاده گردید.

تولید نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید

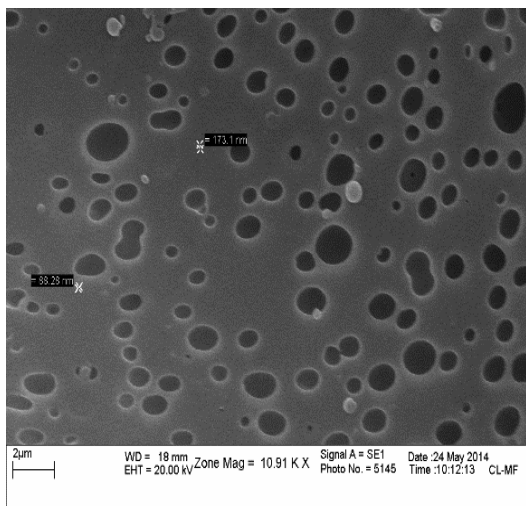
به‌طور خلاصه برای سنتز نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید (برای اولین بار در دنیا) از روش امولسیفیکیشن (Emulsification) استفاده شد. در این روش، دو محلول پلیمری و آبی تهیه و در نهایت به یکدیگر افزوده شدند. محلول آبی با استفاده از محلول یک هزارم نرمال اسید نیتریک ۶۵ درصد (Merck)، پلی اتیلن گلیکول (4000 SAMCHUM) ساخت کشور کره، سدیم دود سیل سولفات (SDS) ($MW: 288.38 \text{ g/mol}$) ساخت شرکت سیناژن ایران و محلول پلیمری با استفاده از اتیل سلولز (High Viscosity, model: N300 Merck - $MW: 78.11 \text{ g/mol}$)، اتانول ($MW: 46.07 \text{ g/mol}$) و ایمیداکلوپراید Technical Powder (98%) ساخت شرکت آریا شیمی ایران تهیه شدند. در نهایت با تیتراسیون محلول پلیمری به محلول آبی به‌صورت قطره‌قطره نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید تولید شد و فیلتراسیون این نانوکپسول‌ها با استفاده از سانتریفیوژ (Z36HK - Max. Revolutions per minute: 30000 1/min) انجام پذیرفت.

آزمون‌های غیرانتخابی و انتخابی

آزمون غیرانتخابی

در این آزمون موریانه‌ها هیچ قدرت انتخابی برای بستر تغذیه‌ای خود نداشتند. هدف از انجام این آزمایش، اندازه‌گیری میزان مرگومیر و تغذیه موریانه‌ها در اثر مصرف نانو کپسول‌های تولیدشده در نظر گرفته شد؛ در حالی که همه سطح کاغذهای صافی به این نانوکپسول‌ها آغشته شده بودند. بنابراین کاغذهای صافی واتمن شماره ۱ در پتری پلاستیکی به قطر ۹ سانتی‌متر قرار داده شدند و سطح این کاغذهای صافی با غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام، از

نانوکپسول‌ها در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر تشکیل شده‌اند. بررسی تصویر (شکل ۱) نشان می‌دهد که توزیع یکنواختی از این نانوکپسول‌ها در این فرایند مشاهده می‌شود. برای تفکیک اثرات موربانه‌کش ایمیداکلوپراید و اتیل سلولز از یکدیگر، نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری ایمیداکلوپراید درون آنها نیز با همین روش تولید و بررسی شدند.



شکل ۱. تصویر میکروسکوپی نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

نتایج مقایسه میانگین مرگ‌ومیر و میزان تغذیه موربانه *M. diversus* بین غلظت‌های مختلف نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید در آزمون غیرانتخابی و انتخابی

آزمون غیرانتخابی مقایسه میانگین مرگ‌ومیر بین موربانه‌های کارگر با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) تفاوت معناداری را بین غلظت‌ها نشان داد. با افزایش غلظت، مرگ‌ومیر نیز افزایش یافت ($P < 0.001$, $F = 65.0/5.0$, $df = 4$) (جدول ۱). مقایسه میانگین تغذیه مشخص کرد که تفاوت بین غلظت‌ها معنادار است ($P < 0.001$, $F = 346/34$, $df = 4$). مقایسه میزان کاهش تغذیه نسبت به شاهد تفاوت معناداری را نشان داد ($P < 0.001$, $F = 305/41$, $df = 4$). در مقایسه میزان وزن خشک تغذیه، تفاوت معناداری مشاهده شد ($P < 0.001$, $F = 305/41$, $df = 4$) (جدول ۱). مقادیر LC_{50} ، LC_{90}

گرفت. درهای ظروف پتری با کاغذهای صافی مرطوب شدند، سپس ۵۰ موربانه کارگر هم‌سن و فعال در فاصله بین دو تکه کاغذ صافی در پتری‌ها رهاسازی شد و با در نظر گرفتن ۴ تکرار برای هر تیمار در مدت ۲ هفته هر ۲۴ ساعت یک‌بار موربانه‌های مرده از ظروف خارج و شمارش شدند. همچنین یک تیمار شاهد در ۴ تکرار در نظر گرفته شد که در این تیمار از کاغذهای صافی، بدون نانوکپسول استفاده شد. واحدهای آزمایشی در انکوباتور تاریک با شرایط دمایی 28 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 90 ± 5 درصد نگهداری شدند.

تجزیه داده‌ها

پس از انجام آنالیز واریانس (ANOVA)، مقایسه میانگین با استفاده از آزمون Tukey در سطح $\alpha = 0.05$ توسط نرم‌افزار SAS(9.1) انجام گرفت. نمودارهای مرتبط، با نرم‌افزار EXCEL 2013 رسم گردید. آنالیز پروبیت نیز با استفاده از نرم‌افزار SAS(9.1) انجام گرفت. در صورتی که درصد مرگ‌ومیرها توزیع نرمال نداشتند، به \sqrt{X} Arcsine تبدیل شدند که در آن X درصد تلفات را نشان می‌دهد. در صورت مشاهده تلفات در تیمار شاهد، از فرمول (Abbott, 1925) استفاده شد و چنانچه درصد مرگ‌ومیرها توزیع نرمال نداشتند، با استفاده از نرم‌افزار SPSS(16.5) نرمال شدند. اثر حشره‌کش در روزهای مختلف روی مرگ‌ومیر موربانه‌ها با استفاده از روش آنالیز پروبیت صورت گرفت و مقادیر LC_{50} و LC_{90} محاسبه شدند. مقادیر LT_{50} و LT_{90} نیز محاسبه شدند.

نتایج و بحث

بررسی مرفولوژیک نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی

با توجه به توضیح شرایط تولید نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید در بخش مواد و روش‌ها، در این شرایط اندازه کپسول‌های تولیدشده در ابعاد نانو بوده و از ۹۰ نانومتر تا ۸۵۰ نانومتر متغیر است. لازم به ذکر است که نسبت بالایی از این

جدول‌های ۲ و ۳). با افزایش غلظت مقادیر LT_{50} و LT_{90} کاهش پیدا کرد، یعنی زمان کشندگی کم و میزان کشندگی افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۱. مقایسه میانگین مرگ‌ومیر و میزان تغذیه موربانه *M. diversus* بین غلظت‌های مختلف نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز

غلظت (ppm)	SE \pm مرگ‌ومیر (%)	SE \pm تغذیه (%)	SE \pm وزن خشک تغذیه (%)	SE \pm کاهش تغذیه نسبت به شاهد (%)
شاهد	0 ± 0^e	$1/12 \pm 0/016^a$	$0/79 \pm 0/001^a$	-----
۵۰	$56/01 \pm 0/011^d$	$0/70 \pm 0/015^b$	$0/55 \pm 0/001^b$	$29/00 \pm 1/5^c$
۱۰۰	$63/29 \pm 0/008^c$	$0/61 \pm 0/016^c$	$0/44 \pm 0/001^c$	$43/22 \pm 1/2^b$
۵۰۰	$69/99 \pm 0/006^b$	$0/56 \pm 0/011^c$	$0/40 \pm 0/001^c$	$48/27 \pm 0/8^b$
۱۰۰۰	$77/28 \pm 0/007^a$	$0/37 \pm 0/014^d$	$0/26 \pm 0/001^d$	$65/7 \pm 1/5^a$

میانگین‌های با حروف مشابه با استفاده از آزمون Tukey در سطح ۵٪ اختلاف معنادار ندارند.

جدول ۲. غلظت‌های کشنده نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز محتوی ایمیداکلوپراید علیه موربانه *M. diversus* به روش پروبیت در

X^2	خطای استاندارد \pm شیب خط	LC ₉₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (ppm)	LC ₅₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (ppm)
۹/۶۳	$1/05 \pm 0/10$	۵۷۷/۲۹ (۴۲۵/۳۹-۸۷۶/۹۴)	۳۵/۵۱ (۲۲/۹۷-۴۸/۶۸)

جدول ۳. زمان کشندگی در غلظت‌های مختلف با کاربرد نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز محتوی ایمیداکلوپراید علیه موربانه

X^2	خطای استاندارد \pm شیب خط	LT ₉₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (روز)	LT ₅₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (روز)	غلظت (ppm)
۳/۳۱	$2/38 \pm 0/135$	۴۵/۵۱ (۳۸/۲۴-۵۶/۴۱)	۱۳/۲۳ (۹/۶۷-۱۴/۳۳)	۵۰
۴/۱۷	$2/73 \pm 0/134$	۳۲/۲۹ (۲۸/۴۱-۳۷/۶۶)	۱۰/۹۸ (۱۰/۴۴-۱۱/۶۲)	۱۰۰
۵/۷۳	$3/15 \pm 0/131$	۲۱/۷۰ (۱۹/۹۲-۲۳/۹۷)	۸/۵۱ (۸/۱۸-۸/۸۶)	۵۰۰
۱/۸۸	$3/76 \pm 0/274$	۱۵/۶۶ (۱۳/۸۷-۱۸/۳۶)	۷/۱۵ (۶/۶۳-۷/۷۰)	۱۰۰۰

آزمون انتخابی

بود. به‌طور کلی، با افزایش غلظت، میزان تغذیه کل کاهش پیدا کرد ($P < 0/0001$, $F = 23/78$, $df = 4$) (جدول ۴). مقادیر LC_{50} ، LC_{90} و LT_{50} و LT_{90} با استفاده از آنالیز پروبیت به‌دست آمد (جدول‌های ۵ و ۶). با افزایش غلظت، مقادیر LT_{50} و LT_{90} کاهش پیدا کرد، یعنی زمان کشندگی کم و میزان کشندگی افزایش یافت (جدول ۶). مقادیر LC_{50} ، LC_{90} و LT_{50} در آزمون انتخابی فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید، بیشتر از این مقادیر در آزمون غیرانتخابی همین فرمولاسیون است. در آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی انجام‌شده، با افزایش غلظت، مرگ‌ومیر نیز افزایش یافت. نتایج

مقایسه میانگین مرگ‌ومیر بین موربانه‌های کارگر با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) تفاوت معناداری را بین غلظت‌ها نشان داد و با افزایش غلظت، مرگ‌ومیر نیز افزایش یافت ($P < 0/0001$, $F = 295/27$) (جدول ۴). مقایسه میانگین تغذیه در قسمت تیمار شده، تفاوت معناداری را بین غلظت‌ها نشان داد. با افزایش غلظت، تغذیه کاهش یافت ($P < 0/0001$). تیمار نشده نیز تفاوت معناداری را بین غلظت‌ها نشان داد ($P < 0/0001$, $F = 5/45$, $df = 4$). در مقایسه میزان تغذیه کل بین غلظت‌ها تفاوت مشاهده‌شده معنادار

معنای جذاب بودن این فرمولاسیون برای موربانه مذکور است. مقایسه مقادیر LC₅₀ و LC₉₀ بین آزمون‌های مختلف نشان داد که در آزمون غیرانتخابی با توجه به اینکه موربانه‌ها به اجبار در معرض سم قرار دارند، این مقادیر نسبت به آزمون‌های انتخابی کمتر است. این موضوع بیانگر کشندگی بیشتر در آزمون‌های غیرانتخابی است. با مقایسه مقادیر LT₅₀ و LT₉₀ بین غلظت‌ها در هر آزمون، مشخص شد که با افزایش غلظت، زمان کشندگی کاهش یافته است.

مقایسه تغذیه در آزمون غیرانتخابی صورت گرفته، تفاوت معناداری بین غلظت‌ها نشان داد و با افزایش غلظت، میزان تغذیه کاهش یافت، چرا که با افزایش مرگومیر، جمعیت کارگرهای تغذیه‌کننده کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه تغذیه از قسمت تیمار شده و قسمت تیمار نشده در آزمون انتخابی صورت گرفته، تفاوت معناداری بین غلظت‌ها نشان نداد. این موضوع به معنای عدم دورکنندگی این سم است و از طرفی میزان تغذیه از قسمت تیمار شده بیشتر بود که به

جدول ۴. مقایسه میانگین مرگومیر و میزان تغذیه موربانه *M. diversus* بین غلظت‌های مختلف نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز محتوی ایمیداکلوپراید در آزمون انتخابی

غلظت (ppm)	SE ± مرگومیر (%)	SE ± تغذیه از قسمت تیمار (%)	SE ± تغذیه قسمت شاهد (%)	SE ± تغذیه کل (%)
شاهد	۰ ± ۰ ^c	۲/۲۰ ± ۰/۱ ^a	۱/۴۸ ± ۰/۲۳ ^a	۱/۸۴ ± ۰/۱۶ ^a
۵۰	۳۸/۲۹۹ ± ۰/۰۱۳ ^d	۱/۱۶ ± ۰/۰۵۱ ^b	۱/۱۴ ± ۰/۱۸ ^{ab}	۱/۱۵ ± ۰/۰۸ ^b
۱۰۰	۴۸/۷۷ ± ۰/۰۱۶ ^c	۰/۸۷ ± ۰/۰۵۰ ^c	۰/۸۰ ± ۰/۰۸ ^{ab}	۰/۸۳ ± ۰/۰۴ ^{bc}
۵۰۰	۵۷/۴۱ ± ۰/۰۰۷ ^b	۰/۸۲ ± ۰/۰۴۵ ^c	۰/۶۵ ± ۰/۰۴ ^b	۰/۷۴ ± ۰/۰۱ ^{bc}
۱۰۰۰	۶۷/۹۵ ± ۰/۰۰۸ ^a	۰/۷۳ ± ۰/۰۲۵ ^c	۰/۶۰ ± ۰/۱۷ ^b	۰/۶۷ ± ۰/۰۹ ^c

میانگین‌های با حروف مشابه با استفاده از آزمون Tukey در سطح ۵٪ اختلاف معنادار ندارند.

جدول ۵. غلظت‌های کشنده نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز محتوی ایمیداکلوپراید علیه موربانه *M. diversus* به روش پروبیت در آزمون انتخابی

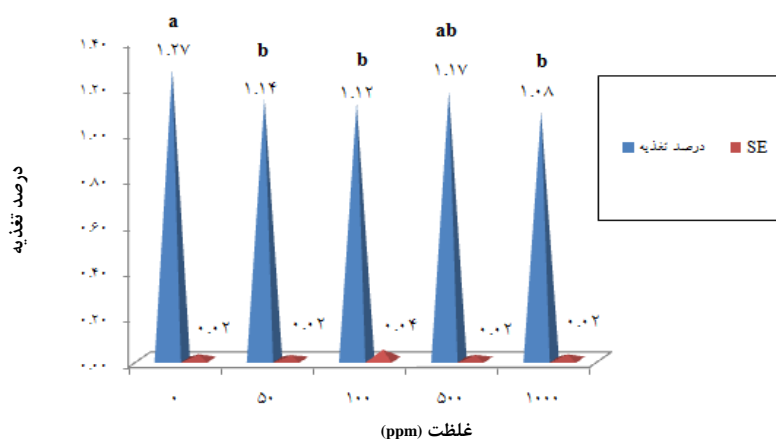
X ²	خطای استاندارد ± شیب خط	LC ₉₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (ppm)	LC ₅₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (ppm)
۱۰/۷۱	۰/۹۳ ± ۰/۰۹	۴۴۲۲(۲۶۲۲-۹۳۲۸)	۱۸۷/۶۹(۱۴۸/۴۱-۲۳۴/۸۵)

جدول ۶. زمان کشندگی در غلظت‌های مختلف با کاربرد نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز محتوی ایمیداکلوپراید علیه موربانه *M. Diversus* به روش پروبیت در آزمون انتخابی نتایج مقایسه میانگین مرگومیر و میزان تغذیه موربانه *M. diversus*

غلظت (ppm)	LT ₅₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (روز)	LT ₉₀ (حدود اطمینان ۹۵٪) (روز)	خطای استاندارد ± شیب خط	X ²
۵۰	۲۸/۰۹(۲۳/۵۰-۳۵/۷۳)	۱۳۵/۹۶(۹۲/۳۸-۲۳۰/۹۰)	۱/۸۷ ± ۰/۱۵	۱۵/۲۷
۱۰۰	۱۷/۵۷(۱۵/۷۸-۲۰/۰۶)	۷۹/۴۲(۶۰/۹۶-۱۱۱/۴۹)	۱/۹۵ ± ۰/۱۲۲	۲۳/۹۵
۵۰۰	۱۱/۵۳(۱۰/۸۶-۱۲/۳۵)	۳۹/۹۷(۳۴/۱۵-۴۸/۳۸)	۲/۳۷ ± ۰/۱۲۴	۴۶/۳۸
۱۰۰۰	۸/۵۰(۸/۱۶-۸/۸۶)	۲۲/۸۱(۲۰/۸۱-۲۵/۳۸)	۲/۹۹ ± ۰/۱۲۷	۵۹/۶۳

نیز افزایش یافت (df=۴، F=۰، P=۰). از طرفی در هیچ‌کدام از غلظت‌های ذکر شده تلفاتی رخ نداد. مقایسه میانگین تغذیه مشخص کرد که تفاوت بین غلظت‌ها معنادار است (df=۴، F= ۶/۷، P= ۰/۰۰۲۷) (نمودار ۱).

بین غلظت‌های مختلف نانوکپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری در آزمون غیرانتخابی مقایسه میانگین مرگومیر بین موربانه‌های کارگر با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) تفاوت معناداری را بین غلظت‌ها نشان داد. با افزایش غلظت، مرگومیر



نمودار ۱. مقایسه میانگین تغذیه موربانه *M. diversus* بین غلظت‌های مختلف نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون محتوی در آزمون غیرانتخابی میانگین‌های با حروف مشابه، با استفاده از آزمون Tukey در سطح ۵٪ اختلاف معنادار ندارند.

فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد:

۱. تنها عامل کشنده در فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید، ترکیب ایمیداکلوپراید است.

۲. ترکیب اتیل سلولز برای موربانه *M. diversus* نه‌تنها کشنده نیست، بلکه بسیار جذب‌کننده است. یا به عبارت دیگر، می‌توان گفت پوشش اتیل سلولزی دیواره نانو کپسول‌های محتوی ترکیب ایمیداکلوپراید باعث جذب موربانه‌ها و تغذیه آنها از این نانو کپسول‌ها می‌شود.

۳. از طرفی می‌توان این فرمولاسیون را به عنوان یک طعمه مسموم معرفی کرد، چرا که اتیل سلولز با جذب‌کنندگی و ایمیداکلوپراید با کشندگی و قرار گرفتن این دو ترکیب در کنار هم، موربانه‌های هدف را بر اساس مکانیزم فرمولاسیون طعمه مسموم از پا در می‌آورد.

۴. مقایسه زمان‌های کشندگی فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید در غلظت‌های مختلف مشخص می‌کند که زمان‌های کشندگی با افزایش غلظت به صورت تدریجی کاهش می‌یابد. با قرار دادن زمان‌های کشندگی فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز در کنار هم می‌توان به رهاپش تدریجی ترکیب ایمیداکلوپراید موجود در

فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری برای بررسی اثرات نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون اینکه محتوی حشره‌کش باشند، تولید شد. در آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی این فرمولاسیون، اثراتی همچون کشندگی، دورکنندگی و بازدارندگی تغذیه‌ای علیه موربانه *M. diversus* نیز بررسی شد که در نهایت نتایج آن، با نتایج آزمون‌های فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید مقایسه شد. در آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی انجام‌گرفته، با افزایش غلظت نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز بدون بارگذاری هیچ تغییری در روند مرگ‌ومیر مشاهده نشد و میزان مرگ‌ومیر در جمعیت شاهد و تیمار شده با غلظت‌های نام‌برده علیه موربانه مذکور، صفر بود. نتایج مقایسه تغذیه در آزمون غیرانتخابی انجام‌گرفته، تفاوت معناداری بین غلظت‌ها را نشان نداد. نتایج مقایسه تغذیه از قسمت تیمار شده و قسمت تیمار نشده در آزمون انتخابی صورت گرفته تفاوت معناداری بین غلظت‌ها نشان نداد. این موضوع به معنای عدم دورکنندگی این فرمولاسیون است. از طرفی، میزان تغذیه از قسمت تیمار شده بیشتر بود که به معنای جذاب بودن این فرمولاسیون برای موربانه مذکور است. به طور کلی، با مقایسه نتایج فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز حاوی ایمیداکلوپراید با

همین غلظت‌ها در فرمولاسیون پودر تکنیکال ترکیب ایمیداکلوپراید تا چندین برابر کمتر است لذا:

۲. نتایج آزمون‌های انتخابی و غیرانتخابی انجام‌گرفته فرمولاسیون پودر ترکیب ایمیداکلوپراید نشان‌دهنده میزان مرگ‌ومیر ۵۰ تا ۱۰۰ درصدی موربانه‌های *M. diversus* در حدود غلظتی ۵۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام است که با بررسی‌های انجام‌گرفته روی فرمولاسیون نانوکپسول‌های پایه اتیل سولز حاوی ایمیداکلوپراید همین میزان تلفات در موربانه‌های هدف مشاهده شد.

۳. با مقایسه موارد ذکرشده، این‌گونه استنباط می‌شود که با استفاده از فرمولاسیون نانوکپسول‌های پایه اتیل سولز حاوی ایمیداکلوپراید می‌توان گام‌های بسیار موثری در جهت کاهش مصرف ترکیب ایمیداکلوپراید برای مبارزه و کاهش خسارت موربانه‌های *M. diversus* که یکی از مهم‌ترین موربانه‌های مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشورمان است، برداشت و نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان‌دهنده این موضوع است که میزان کاهش در مصرف ترکیب ایمیداکلوپراید می‌تواند تا یک ششم میزان توصیه‌شده فرمولاسیون‌های رایج آن باشد.

۴. مقایسه زمان‌های کشندگی فرمولاسیون نانوکپسول‌های پایه اتیل سولز حاوی ایمیداکلوپراید با فرمولاسیون پودر تکنیکال ترکیب ایمیداکلوپراید در غلظت‌های مختلف مشخص می‌کند که زمان‌های کشندگی در فرمولاسیون نانوکپسول‌های پایه اتیل سولز حاوی ایمیداکلوپراید افزایش می‌یابد. بنابراین این موضوع می‌تواند در بحث تغذیه دهان به دهان بین موربانه‌های کارگر بسیار مؤثر باشد؛ چرا که به دلیل کشندگی بسیار سریع پودر ایمیداکلوپراید در غلظت‌های بالا و نداشتن زمان کافی برای انتقال این سم بین موربانه‌های هدف، مشکلاتی وجود داشت. لذا ممکن است مشکلات ذکرشده به‌وسیله این کارایی نانوکپسول‌های پایه اتیل سولز حاوی ایمیداکلوپراید تا حدودی برطرف شود. از طرفی زمان‌های کشندگی در غلظت‌های پایین تا حدودی زیادند که این امر به دلیل میزان بسیار کم ترکیب ایمیداکلوپراید بارگذاری‌شده در نانوکپسول‌های تولیدشده است و با بهینه‌سازی در

نانوکپسول‌های از جنس اتیل سولز تولیدشده پی برد که منجر به مرگ تدریجی موربانه‌های هدف می‌شود. رهایش تدریجی از طرفی این امکان را فراهم می‌آورد که با آزاد شدن تدریجی ترکیب ایمیداکلوپراید در بدن موربانه‌ها، به کشندگی بهتر و بیشتر این ترکیب کمک شود و هم از طرفی فرصت تغذیه دهان به دهان و احتمال انتقال این ترکیب، بین موربانه‌های یک کلنی افزایش یابد. از طرفی، زمان‌های کشندگی در غلظت‌های پایین تا حدودی بالا است که این امر به دلیل میزان بسیار کم ترکیب ایمیداکلوپراید موجود در نانوکپسول‌های تولیدشده است و با بهینه‌سازی در انتخاب غلظت‌های مناسب، می‌توان به یک زمان کشندگی متعارف رسید.

طی یک پژوهش، با بررسی روش‌های مختلف کاربرد ایمیداکلوپراید در برابر فعالیت‌های تغذیه‌ای و مرگ‌ومیر موربانه‌های *M. diversus* نتایج حاصل از مرگ‌ومیر و زمان کشندگی (LT_{50}) برای موربانه‌های مذکور را در آزمون‌های غیرانتخابی و انتخابی فرمولاسیون پودر تکنیکال ایمیداکلوپراید به شرح زیر منتشر کردند (Salehibabarsad, 2011):

در آزمون غیرانتخابی میزان مرگ‌ومیر در طول ۱۴ روز در غلظت‌های ۰، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱ گرم به ترتیب ۴ درصد، ۷۸/۲۶ درصد، ۸۵/۰۸ درصد، ۹۲/۱۵ درصد و ۹۴/۵۴ درصد بود. همچنین زمان کشندگی (LT_{50}) در این آزمون (غیرانتخابی) در غلظت‌های یادشده به ترتیب ۵۷ روز، ۴ روز، ۱ روز، ۱۲ ساعت و ۴ ساعت ذکر شد. در آزمون انتخابی میزان مرگ‌ومیر در طول ۱۴ روز در غلظت‌های ذکرشده به ترتیب برابر با ۱ درصد، ۳۷/۸۵ درصد، ۳۹/۳۴ درصد، ۴۵/۴۱ درصد و ۵۸/۴۷ درصد بود. همچنین زمان کشندگی (LT_{50}) در این آزمون (انتخابی) در غلظت‌های یادشده به ترتیب ۶۱ روز، ۴ روز، ۳ روز، ۲ روز و ۱ روز ذکر شده است.

بنابراین با توجه به مواد و روش‌ها و نتایج بررسی‌شده، مشخص می‌شود که:

۱. میزان ترکیب ایمیداکلوپراید بارگذاری‌شده در نانوکپسول‌های پایه اتیل سولز حاوی ایمیداکلوپراید در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پی پی ام نسبت به

دارد (Sudhamani *et al.*, 2010). برخی از ویژگی‌های میکروکپسول‌های جنس اتیل سلولز نیز توسط محققان دیگر بررسی شدند. در این تحقیق بیان شد که رهایش تدریجی داروهای درون این میکروکپسول‌ها و حفاظت مناسب از مواد هسته‌ای، از ویژگی‌های میکروکپسول‌های از جنس اتیل سلولز است. بنابراین نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیق ذکر شده مطابقت دارد (Murtaza, 2012).

نتیجه‌گیری کلی

با در نظر گرفتن خسارات بسیار شدید ناشی از موریانه *M. diversus* و خطرات جبران‌ناپذیر و روزافزون ناشی از مصرف سموم در جهت کنترل آفات اقتصادی، با توجه به نتایج این تحقیق مبنی بر کنترل مؤثر و پایدار این موریانه خسارت‌زا در قالب فرمولاسیون‌های کم‌خطر و سازگار با محیط زیست می‌توان گام‌های بسیار مؤثری در جهت کاهش مصرف سموم پرخطر و غیراختصاصی برداشت. ضمن اینکه با جایگزین کردن مواد زیست سازگار و فرمولاسیون‌های اختصاصی با کمک فناوری نانو می‌توان به دستاوردهای بسیار هدفمندتری دست یافت.

انتخاب غلظت‌های مناسب، می‌توان به یک زمان کشندگی متعارف رسید.

۵. با قرار دادن زمان‌های کشندگی فرمولاسیون نانو کپسول‌های پایه اتیل سلولز در کنار هم و مقایسه آنها با فرمولاسیون پودر ایمیداکلوپراید می‌توان به رهایش تدریجی ترکیب ایمیداکلوپراید موجود در نانو کپسول‌های از جنس اتیل سلولز تولیدشده پی برد که منجر به مرگ تدریجی موریانه‌های هدف می‌شود.

۶. رهایش تدریجی از طرفی این امکان را فراهم می‌آورد که با آزاد شدن تدریجی ترکیب ایمیداکلوپراید در بدن موریانه‌ها، به کشندگی بهتر و بیشتر این ترکیب کمک شود و هم از طرفی فرصت تغذیه دهان به دهان و احتمال انتقال این ترکیب بین موریانه‌های یک کلنی افزایش یابد که در نهایت منجر به از بین رفتن تمام کلنی موریانه‌ها می‌شود.

یک گروه تحقیقاتی با بررسی میکروکپسول‌های اتیل سلولز حاوی ایوپروفن نشان دادند که این میکروکپسول‌ها روی پایداری و رهایش تدریجی این دارو به طور معناداری تأثیرگذار بودند. بنابراین نتایج این تحقیق با نتایج بررسی‌های این محققان مطابقت

REFERENCES

1. Amaral, E., Grabe-Guimaraes, A., Nogueira, H., Machado, G.L., Barratt, G. & Mosqueira, V. (2007). Cardiotoxicity reduction induced by halofantrine entrapped in nanocapsule devices. *Life Science*, 80, 1327-1334.
2. Bhattacharyya, A., Bhaumik, A., Usha Rani, P., Mandal, S. & Epiidi, T.T. (2010). Nano-particles - A recent approach to insect pest control. *African Journal of Biotechnology*, 9(24), 3489-3493.
3. Cowles, R. S., Montgomery, M. E. & Cheen, G. A. S. J. (2006). Activity and residues of imidacloprid applied to soil and tree trunks to control Hemlockwoolly adelgid (Hemiptera: Adelgidae) in forests. *Journal of Economic Entomology*, 99(4), 1258-1267.
4. Cruz, L., Soares, L.U., Costa, T.D., Mezzalira, G., da Silveira, N.P., Guterres, S.S. & Pohlmann, A.R. (2006). Diffusion and mathematical modeling of release profiles from nanocarriers. *International Journal Pharmacology*, 313, 198-205.
5. Delgarde, S. & Lefevre, R. (2002). Evaluation of the effects of thiamethoxam on three species of african termites (Iso.:Termitidae). *Journal of Economic Entomology*, 95(3), 531-536.
6. Furtado, V.C., Legrand, P., Gulik, A., Bourdon, O., Gref, R., Labarre, D. & Barratt, G. (2001). Relationship between complement activation, cellular uptake and surface physicochemical aspects of novel PEG-modified nanocapsules. *Biomaterials*, 22, 2967-2979.
7. Habibpour, B. (1994). *Termites (Isoptera) fauna, economic importance and their biology in Khuzestan province, Iran*. M. Sc. Dissertation, College of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, 143pp. (in Farsi)
8. Habibpour, B. (2006). *Laboratory and field evaluation of bait- toxicants for suppression of subterranean termite populations in Ahwaz (Iran)*. Ph. D. dissertation, College of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, 150pp. (in Farsi)
9. Jamal, M., Moharramipour, S., Zandi, M. & Negahban, M. (2013). Efficacy of nanoencapsulated formulation of essential oil from *Carum copticum* seeds on feeding behavior of *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae). *Journal of Entomological Society of Iran*, 33(1), 23-31. (in Farsi)

10. Murtaza, GH. (2012). Ethylcellulose Microparticle: A Review. *Acta Poloniae Pharmaceutica - Drug Research*, 69(1), 11-22.
11. Ourique, A.F., Pohlmann, A.R., Guterres, S.S. & Beck, R.C.R. (2008). Tretionoin-loadednanocapsules: preparation, physicochemical characterization, and photostability study. *International Journal Pharmacology*, 352, 1-4.
12. Quintanar, D., Allémann, E., Doelker, E. & Fessi, H. (1998). Preparation and characterization of nanocapsules from preformed polymers by a new process based on emulsification–diffusion technique. *Pharmacological Research*, 15, 1056-1062.
13. Quarcoo, E.Y., Appel, A.G. & Hu, X.P. (2010). Descriptive study of non-repellent insecticide- induced behavior in *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 55(1B), 217-227.
14. Rakhshani A. (2002). *Agricultural Toxicology rinciples (Pesticides)*. Comprehensive culture publishing of Tehran, 374 Pp. (in Farsi)
15. Rust, M. K. & Smith, J. L. (1993). Toxicity and repellency of components in formulated termiticides against western subterranean termites (Iso.: Rhinotermitidae) . *Journal of Economic Entomology*, 86(4), 1131-1135.
16. Salari, M., Panjekeh, N. & Kasraie, S. (2008). Nanotechnology and application of the plant protection. *Journal of Plant Protector and Food*, 3(1), 36-45. (in Farsi)
17. Salehibabarsad, R. (2011). Investigation on different techniques for imidacloprid application against feeding activity and mortality of *Microcerotermes diversus* (Silvestri) (Isoptera: Termitidae) in laboratory conditions, *M. Sc. Dissertation*, College of Agriculture, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, 136 pp (in Farsi)
18. Sathish Kumar, K. & Jaikumar, V. (2011). Gold and Iron Oxide Nanoparticle-Based Ethylcellulose Nanocapsules for Cisplatin Drug Delivery. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 10(3), 415-424.
19. Sudhamani, T., Noveenkumar Reddy, K., Ravikumar, V.R., Revathi, R. & Ganesan, V. (2010). Preparation and evaluation of ethylcellulose microspheres of ibuprofen for sustained drug delivery. *International Journal of Pharma. Research & Development-online (IJPRD)*, 2(8), 119-125.
20. Thorne, B. L. & Breisch, N. L. (2001). Effects of sublethal exposure to Imidacloprid on subsequent behavior of subterranean termite *Reticulitermes virginicus* (Iso.:Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 94(2), 492-498.

Efficacy of ethyl cellulose-based nanocapsules containing imidacloprid for the control of *Microcerotermes diversus* (Isoptera: Termitidae) under laboratory conditions

Reza Abolfarsi^{1*}, Behzad Habibpour² and Ali Ashrafi³

1. Former M.Sc. Student of Agricultural Entomology, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2. Associate Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3. Assistant Professor, Department of Materials Engineering, college of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Iran

(Received: Jan. 21, 2015 - Accepted: Sep. 15, 2015)

ABSTRACT

Microcerotermes diversus (Silvestri) (Isoptera: Termitidae) is a major species of termites that attacks cellulosic materials and is an economically important pest, damaging buildings in Khuzestan Province (Iran). In the last decade, use of nanotechnology for the production nanocapsules made from various materials, resulting in reduction of the contained chemicals. Neonicotinoids, such as imidacloprid, are a group of chemical compounds that have recently been introduced for use in pest control programs. In the present study the evaluating effectiveness of ethyl cellulose-based nanocapsules containing imidacloprid and ethyl cellulose-based nanocapsules without imidacloprid has been performed for the first time. The effects of ethyl cellulose-based nanocapsules without imidacloprid and those containing 50, 100, 500 or 1000 ppm imidacloprid were evaluated against *M. diversus*. The ethyl cellulose in this formulation did not induce lethal effects against the termite and showed feeding attractancy. Treated filter papers with this formulation caused a gradual increase in mortality during the 14-day trial. Our results suggest that ethyl cellulose-based nanocapsules containing imidacloprid could be an effective termiticide formulation.

Keywords: termite, imidacloprid, ethyl cellulose-based nanocapsules, feeding attractancy.