



شبیه‌سازی تلفات نیتروژن از مزارع چغندر قند در سیستم‌های مختلف تولیدی در خراسان

افشین سلطانی^۱، امیربهاد بذرگر^۲، علیرضا کوچکی^۳، ابراهیم زینلی^۴،
علیرضا قائمی^۵ و *امیر حجارپور^۶

^۱استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ^۲استادیار گروه زراعت، واحد نیشابور،
دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران، ^۳استاد گروه زراعت، دانشگاه مشهد، ^۴دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و
منابع طبیعی گرگان، ^۵استادیار بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی،
^۶دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۵

چکیده

نیتروژن یکی از نهاده‌های کلیدی در کشاورزی است که بخش قابل‌توجهی از آن تلف شده و باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شود. در این پژوهش با کمک مدل SUNDIAL (مدل شبیه‌سازی پویایی نیتروژن در خاک) به کمی‌سازی چرخه نیتروژن و تلفات آن در سیستم‌های مختلف تولید چغندر قند در شرق ایران پرداخته شد. به این منظور داده‌های مربوط به تولید چغندر قند در سه سیستم تولید سنتی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه در ۲۶ منطقه از ۱۰ ناحیه جغرافیایی در خراسان (استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی) جمع‌آوری و اطلاعات مورد نیاز در مدل وارد شدند. نتایج نشان داد که کل تلفات نیتروژن از پروفیل خاک در سیستم‌های سنتی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه تفاوت معنی‌داری با هم نداشته و به ترتیب برابر ۵۰، ۴۱ و ۴۵ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. از کل تلفات در هر سه سیستم تولیدی به‌طور میانگین ۵۹ درصد به‌صورت گازی و ۴۱ درصد به‌صورت آبشویی بود. بیش‌ترین بخش تلفات گازی در سیستم تولید سنتی را دنیتریفیکاسیون با ۶۳ درصد و در دو سیستم مکانیزه و نیمه‌مکانیزه، فرار گاز آمونیاک به ترتیب با ۷۵ و ۸۲ درصد از کل تلفات گازی تشکیل دادند. یافته کلیدی این است که اگرچه سیستم‌های مختلف تولید چغندر قند از نظر میزان تلفات نیتروژن در واحد سطح مزرعه دارای تفاوت معنی‌داری نبودند اما میزان تلفات به‌ازای تولید یک تن محصول،

* مسئول مکاتبه: ahajarpoor@gau.ac.ir

دارای تفاوتی معنی‌دار بوده و میانگین تلفات در سیستم‌های سنتی به‌طور معنی‌داری بیش از دو سیستم دیگر بود. بنابراین، بر خلاف تصورات، اثرات نامطلوب زیست‌محیطی ناشی از نیتروژن در سیستم‌های فشرده مکانیزه و نیمه‌مکانیزه از سیستم تولید سنتی کم‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آبشویی نیتروژن، اثرات زیست‌محیطی، دنیتریفیکاسیون، فرار آمونیاک، مدل SUNDIAL

مقدمه

نیتروژن یکی از نهاده‌های کلیدی در کشاورزی و مهم‌ترین عنصر تغذیه‌ای مورد نیاز چغندر قند است. چغندر قند نسبت به کمبود نیتروژن حساس است و کمبود این عنصر باعث کاهش شدید عملکرد می‌گردد (جاهدی و همکاران، ۲۰۱۲). تنها کم‌تر از نیمی از کل نیتروژن به‌کار رفته به‌صورت کودهای شیمیایی و آلی به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گرفته و باقی آن به‌صورت‌های مختلف در محیط پراکنده می‌شود (گالووی و همکاران، ۲۰۰۸). از آن‌جا که نیتروژن عنصر متحرک و حساس به آبشویی است، مصرف بی‌رویه و غیراصولی این عنصر علاوه بر کاهش راندمان تولید، می‌تواند باعث آلودگی آب‌های جاری و زیرزمینی شود. آبشویی نیترات از مزارع توسط پژوهشگران مختلفی گزارش شده است (هو و همکاران، ۲۰۰۸؛ زینلی، ۲۰۱۰). همچنین گازهای متصاعد شده در طی چرخه نیتروژن در مزرعه، افزایش گازهای گلخانه‌ای را در پی دارد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۰). مدیریت بهتر آب و نیتروژن، نیازمند درک بهتر چرخه آب و موازنه نیتروژن در خاک می‌باشد (فنگ و همکاران، ۲۰۱۳). پیچیدگی‌های موجود در چرخه نیتروژن باعث سخت‌تر شدن تخمین تلفات این عنصر در طبیعت شده است (دلگادو، ۲۰۰۲). مسیره‌های خروج نیتروژن از سیستم خاک- گیاه عبارتند از ۱- آبشویی^۱، به‌طور عمده به شکل نیترات، ۲- دنیتریفیکاسیون^۲ و ۳- فرار آمونیاک^۳ (پاتااک و همکاران، ۲۰۰۶). اگر چه غیرمتحرک شدن^۴ باعث غیرقابل دسترس شدن نیتروژن می‌شود اما این موضوع موقتی است و طی فرآیند معدنی شدن^۵ دوباره به فرم قابل دسترس برمی‌گردد.

- 1- Leaching
- 2- Denitrification
- 3- Volatilization
- 4- Immobilization
- 5- Mineralization

برخی از پژوهشگران به‌طور مستقیم در مزرعه میزان تلفات نیتروژن را در پروفیل خاک و در گیاه اندازه‌گیری کرده‌اند (استوارد و همکاران، ۲۰۰۶). برای این کار نیاز است که از عمق‌های مختلف پروفیل خاک در مزارع مختلف و در طول فصل نمونه‌گیری شود، اما هزینه و زمان‌بر بودن، نیاز به ادوات پیشرفته و همچنین پیچیدگی‌های چرخه نیتروژن، تخمین مستقیم تلفات نیتروژن را بسیار دشوار کرده است (دلگادو، ۲۰۰۲). امروزه بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران که علاقه‌مند به ارزیابی اثرات مدیریت نیتروژن بر پیامدهای زیست‌محیطی سیستم‌های تولیدی کشاورزی هستند، نیازمند روش‌های سریع و مؤثر برای ارزیابی و تحلیل مسیرهای مختلف تلفات نیتروژن در مزرعه هستند (دلگادو و همکاران، ۲۰۰۸).

روش دیگری که می‌توان به‌وسیله آن چرخه نیتروژن و تلفات آن را در یک مزرعه بررسی کرد استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است که به‌طور گسترده و روزافزون توسط پژوهشگران مختلف برای بهینه‌سازی مدیریت‌های زراعی در مزرعه به‌کار رفته است. فنگ و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل RZWQM2 و داده‌های بلندمدت هواشناسی، به شبیه‌سازی عملکرد و میزان آبشویی نیتروژن از مزارع در تناوب ذرت-گندم در شمال چین پرداختند. ایشان با شبیه‌سازی راهکارهای مدیریتی جایگزین به این نتیجه رسیدند که می‌توان بدون کاهش چشمگیر عملکرد، آبشویی نیتروژن را در مزارع تحت آبیاری به حداقل رساند. دلگادو و همکاران (۲۰۰۸) از روش شاخص نیتروژن^۱ (NIT-1) برای تخمین میزان تلفات نیتروژن در مزرعه استفاده کردند. هاپه و همکاران (۲۰۱۱) برای ارزیابی برهم‌کنش ساختارهای منطقه‌ای مزارع در آلمان (مانند اندازه مزرعه با تلفات نیتروژن) با اثرات زیست‌محیطی به‌دست آمده از آن، تلفات نیتروژن را با استفاده از مدل N-Farm تخمین و سپس نتایج به‌دست آمده را با مدل AgriPoliS تحلیل کردند. زینلی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل CERES-wheat میزان آبشویی نیترات و سلطانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از مدل Cropsyst میزان تلفات نیتروژن به شکل‌های مختلف از مزارع گندم در گرگان، ایران را مورد بررسی قرار دادند.

مدل SUNDIAL (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۶) به‌عنوان یک ابزار پژوهشی برای شبیه‌سازی پویایی نیتروژن در زمین‌های زیر کشت محصولات زراعی در مطالعات فراوانی ارزیابی شده و دقت پیش‌بینی آن مورد تأیید قرار گرفته است (برادبری و همکاران، ۱۹۹۳؛ گابریل و همکاران، ۲۰۰۲؛

1- N Index

اسمیت و همکاران، ۲۰۰۳؛ گیونز و همکاران، ۲۰۰۵). تزلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵) مدل SUNDIAL را برای شبیه‌سازی تلفات نیتروژن در ارزیابی زیست‌محیطی تولید چغندر قند در انگلستان مورد استفاده قرار دادند. گیونز و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل SUNDIAL استراتژی‌هایی برای بهینه‌سازی مدیریت کود و کاهش تلفات نیترات از مزارع ارایه دادند. دپلی و همکاران (۲۰۰۶) نیز از مدل SUNDIAL برای ارزیابی اثر پیش‌بینی داده‌های هواشناسی بر بهبود مصرف کودهای نیتروژن استفاده کردند. گابریل و همکاران (۲۰۰۲) مدل SUNDIAL را به‌عنوان یکی از ۴ مدل مورد استفاده برای مقایسه روش‌های مختلف شبیه‌سازی پویایی کربن و نیتروژن در خاک‌های زراعی به‌کار بردند. گیونز و همکاران (۲۰۰۶) از مدل SUNDIAL برای تعیین عدم قطعیت در انتشارات گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی انگلستان در سطح مزرعه استفاده کردند. مانزونی و پورپوراتو (۲۰۰۹) این مدل را با سایر مدل‌ها از نظر روش‌های شبیه‌سازی معدنی شدن کربن و نیتروژن مورد مقایسه قرار دادند. فالون و همکاران (۱۹۹۹) از مدل SUNDIAL برای شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در سیستم‌های سنتی کشاورزی نپال استفاده کردند. این پژوهش نشان داد که نتایج شبیه‌سازی با مدل SUNDIAL در مقایسه با نتایج ارزیابی مستقیم از کارکرد قابل‌قبولی برخوردار است.

منطقه خراسان با وسعت ۲۴۲۶۷۳ کیلومترمربع، شامل سه استان خراسان‌شمالی، رضوی و جنوبی در شرق ایران واقع می‌باشد. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال ۲۰۱۰، این سه استان در مجموع با سطح زیر کشتی بالغ بر ۲۲۴۶۸ هکتار، ۴۰ درصد از کل سطح زیر کشت چغندر قند در ایران را به خود اختصاص داده‌اند (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۱۰).

با توجه به این‌که مدل SUNDIAL در مناطق مختلف و در پژوهش‌های متعدد از جمله پژوهش‌های صورت گرفته بر روی چغندر قند مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج پیش‌بینی موفقیت‌آمیزی داشته است، بنابراین، در این مطالعه چنین فرض شد که مدل نام‌برده دقت قابل‌قبولی در پیش‌بینی تلفات نیتروژن دارد. بنابراین از این مدل برای ارزیابی میزان تلفات نیتروژن در سیستم‌های تولید سنتی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه چغندر قند در منطقه خراسان به‌عنوان بزرگ‌ترین منطقه تولید این محصول استراتژیک در کشور استفاده شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش مناطق کشت چغندر قند در ۳ استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی براساس حوزه فعالیت کارخانجات قند به ۱۰ منطقه جغرافیایی تقسیم و براساس سه سیستم تولید شامل سیستم‌های مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی (در صورت وجود) در هر منطقه، ۲۶ مکان تعیین گردید. سیستم‌های سه‌گانه تولیدی در منطقه توسط متخصصین کشت چغندر قند منطقه (شامل کارشناسان بخش کشاورزی کارخانه قند مربوطه در منطقه و کارشناسان مدیریت جهاد کشاورزی هر منطقه) مشخص گردیدند و براساس آن مزارع زیر کشت در هر سیستم تعیین شدند. بیش‌ترین نواحی مورد مطالعه در منطقه مرکزی خراسان و واقع در استان خراسان رضوی است که این امر به علت سطح زیر کشت بالای چغندر قند و وجود کارخانجات قند بیش‌تر در این استان است. اطلاعات تفصیلی و ویژگی‌های هر مکان در جدول ۱ آمده است.

شبیه‌سازی‌ها به وسیله مدل SUNDIAL (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۶) با کمک داده‌های هواشناسی درازمدت هر یک از مناطق انجام شد. به این ترتیب و با توجه به اطلاعات نهاده‌ها، ستاده‌ها و مدیریت‌های زراعی در هر یک از سه سیستم تولید چغندر قند، پایگاه داده‌های ورودی مربوط به موازنه نیتروژن در هر یک از مکان‌های ۲۶ گانه ایجاد شد. مدیریت‌های زراعی اعمال شده در سه سیستم تولید چغندر قند در خراسان در جدول ۲ نشان داده شده است.

تجزیه داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل انجام شد و در آن هر سیستم تولیدی (مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی) به عنوان یک تیمار و هر منطقه به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. مقایسات میانگین در صورت معنی‌داری آزمون F با استفاده از روش LSD انجام شد.

شبیه‌سازی‌ها به وسیله مدل SUNDIAL (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۶) با کمک داده‌های هواشناسی درازمدت هر یک از مناطق انجام شد. به این ترتیب و با توجه به اطلاعات نهاده‌ها، ستاده‌ها و مدیریت‌های زراعی در هر یک از سه سیستم تولید چغندر قند، پایگاه داده‌های ورودی مربوط به موازنه نیتروژن در هر یک از مکان‌های ۲۶ گانه ایجاد شد. مدیریت‌های زراعی اعمال شده در سه سیستم تولید چغندر قند در خراسان در جدول ۲ نشان داده شده است.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۱- مشخصات مکان‌های تولید چغندر قند ارزیابی شده در خراسان.

نوع رقم کشت شده	مساحت مزرعه (هکتار)	میلکین دما (درجه سانتی گراد)	شاخص بارندگی (میلی‌متر در سال)	نوع خاک	ارتفاع (متر از سطح دریا)	عرض طول جغرافیایی	منطقه نماینده	نوع نظام تولید	منطقه	مکان
دوروتا	۱۴	۱۵/۳	۲۴۸/۶	لوم	۱۰۲۰	۳۶°۲۶'N / ۵۹°۳۳'E	توس	مکانیزه	مشهد	۱
اریس	۳	۱۵/۳	۲۴۸/۶	لومی شنی	۱۰۲۹	۳۶°۲۵'N / ۵۹°۲۹'E	ناظر آباد	نیپه‌مکانیزه	مشهد	۲
آی. سی	۲	۱۵/۳	۲۴۸/۶	لومی رسی	۹۰۶	۳۶°۱۴'N / ۵۹°۵۲'E	غازقان	سنی	مشهد	۳
لاتینیا	۵۰	۱۳/۴	۲۱۰/۵	رسی لومی	۱۱۸۰	۳۶°۴۶'N / ۵۹°۵۳'E	حکیم‌آباد	مکانیزه	چناران	۴
لاتینیا	۳	۱۳/۴	۲۱۰/۵	لوم	۱۱۵۷	۳۶°۲۵'N / ۵۹°۱۳'E	نوبهار	نیپه‌مکانیزه	چناران	۵
پرسیا	۹۰	۱۲/۹	۳۱۱/۱	لومی شنی	۱۲۵۶	۳۶°۵۳'N / ۵۸°۴۳'E	آلساجی	مکانیزه	چناران	۶
کاستیل	۱۳	۱۲/۹	۳۱۱/۱	لوم	۱۱۴۱	۳۷°۲۰'N / ۵۸°۰۷'E	خرم‌آباد	مکانیزه	شیروان	۷
بریتینیا	۵	۱۲/۹	۳۱۱/۱	لومی رسی	۱۱۳۷	۳۷°۱۸'N / ۵۸°۰۲'E	دوین	نیپه‌مکانیزه	شیروان	۸
آی. سی	۷	۱۳/۱	۲۷۲/۴	لومی رسی	۱۲۲۲	۳۷°۱۸'N / ۵۶°۴۸'E	شورقان	سنی	شیروان	۹
دوروتا	۳۰	۱۴/۳	۲۳۵	لومی شنی	۱۳۰۵	۳۶°۱۱'N / ۵۸°۵۵'E	حمیدآباد	مکانیزه	نیشابور	۱۰
پی بی ۲۲	۱۵	۱۴/۳	۲۳۵	سبیلی لومی	۱۱۰۸	۳۶°۰۸'N / ۵۸°۳۹'E	همت‌آباد	نیپه‌مکانیزه	نیشابور	۱۱
آی. سی	۱/۲	۱۴/۳	۲۳۵	لومی رسی	۱۱۶۸	۳۶°۱۷'N / ۵۸°۳۹'E	شوری	سنی	نیشابور	۱۲
پانولینا	۱۵	۱۲/۴	۲۴۴/۵	لومی شنی	۱۴۵۵	۳۵°۳۹'N / ۵۹°۵۰'E	فریمان	مکانیزه	فریمان	۱۳
پرسیا	۱/۷۵	۱۲/۴	۲۴۴/۵	لوم	۱۱۸۷	۳۵°۳۰'N / ۶۰°۱۲'E	کاریزان	نیپه‌مکانیزه	فریمان	۱۴

جدول ۱ -

نوع رقم کشت شده	نوع رقم	مساحت مزرعه (هکتار)	میانگین دما (دوره ساتی گراد)	میانگین بارندگی (میلی متر در سال)	نوع خاک	ارتفاع (متر از سطح دریا)	عرض طول جغرافیایی	منطقه نماینده	نوع نظام تولید	منطقه جغرافیایی	کد مکان
آی. سی	۲	۱۲/۴	۲۴۴/۵	۱۴۹۵	لومی شن	۳۵ ۳۸N / ۵۹ ۴۸E	لوشاب	سنی	فریمان	۱۵	
برنجینا	۹	۱۴	۲۵۸/۵	۱۲۲۹	لومی شن	۳۵ ۳۹N / ۵۸ ۵۱E	کدکن	مکانیزه	ت. حیدریه	۱۶	
پاپولینا	۲	۱۱/۱۶	۲۳۷/۹	۱۲۲۳	لوم	۳۵ ۳۷N / ۵۹ ۱۶E	سینلورخ	نیمه مکانیزه	ت. حیدریه	۱۷	
آی. سی	۰/۴	۱۴	۲۵۸/۵	۱۳۴۴	لوم	۳۵ ۱۶N / ۵۹ ۲۵E	زاوه	سنی	ت. حیدریه	۱۸	
برنجینا	۲۰۰	۱۵/۷	۱۷۶/۴	۸۰۹	لوم	۳۵ ۰۹N / ۶۰ ۴۹E	پوزگان	مکانیزه	ت. جام	۱۹	
دوروتا	۷	۱۵/۷	۱۷۶/۴	۹۷۱	لوم	۳۵ ۴۹N / ۶۰ ۴۸E	صالح آباد	نیمه مکانیزه	ت. جام	۲۰	
پاپولینا	۲۵	۱۴/۳۳	۲۰۴/۹	۱۱۱۳	شنی لومی	۳۵ ۴۱N / ۵۷ ۱۵E	جون	مکانیزه	سبزوار	۲۱	
فلورس	۱۸/۵	۱۴/۳۳	۲۰۴/۹	۱۰۹۸	سیلتی لومی	۳۶ ۳۷N / ۵۷ ۳۳E	حکم آباد	نیمه مکانیزه	سبزوار	۲۲	
آی. سی	۳	۱۴/۳۳	۲۰۴/۹	۱۱۲۹	لومی سیلتی	۳۶ ۳۸N / ۵۸ ۰۲E	سلطان آباد	سنی	سبزوار	۲۳	
آی. سی	۱	۱۸	۱۹۰/۶	۲۷۶	لومی رسی	۳۶ ۳۵N / ۶۱ ۰۳E	کدکلی	نیمه مکانیزه	سرخس	۲۴	
فینما	۲	۱۶/۴	۱۳۷/۲	۱۴۸۰	لوم	۳۲ ۳۹N / ۵۹ ۴۶E	سربیشه	نیمه مکانیزه	بیرجند	۲۵	
آی. سی	۱	۱۶/۴	۱۳۷/۲	۱۴۸۰	لومی رسی	۳۲ ۵۷N / ۵۹ ۵۸E	طیس مسینا	سنی	بیرجند	۲۶	

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۲- مدیریت‌های زراعی در سه سیستم تولید چغندر قند در خراسان (داده‌ها میانگین مکان‌های مورد مطالعه در هر سیستم هستند).

مدیریت	سیستم تولیدی		
	مکانیزه	نیمه‌مکانیزه	سستی
تاریخ کاشت	۲۹ اسفند	۱۳ فروردین	۲۵ فروردین
تاریخ برداشت	۵ آبان	۱ آبان	۱۵ آبان
کود دامی* (تن در هکتار)	۴/۴	۲/۹	۴/۷
کود فسفات آمونیوم پایه (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۶۱	۵/۱	۰/۸
کود اوره پایه (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۲۷/۱	۳۵/۰	۳۶/۱
کود اوره سرک ۱ (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۵۷/۴	۶۷/۹	۴۶/۰
کود اوره سرک ۲ (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۵۸/۶	۵۱/۸	۳۶/۱
کود اوره سرک ۳ (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۳۰/۵	۰	۶/۶
کود اوره سرک ۴ (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۱۰/۲	۰	۶/۶
کل نیتروژن ورودی (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)	۲۷۸/۰	۲۹۰/۶	۲۲۶/۲
مقدار آب در آبیاری اول (میلی‌متر در هکتار)	۹۹/۱	۱۲۷/۳	۱۳۹/۳
مقدار آب در هر آبیاری پس از آبیاری اول (میلی‌متر در هکتار)	۶۱/۷	۸۴/۸	۹۴/۵
تعداد آبیاری در طول فصل رشد	۲۵/۸	۱۳/۳	۱۰/۹
مقدار کل آب مصرفی در طول فصل رشد (میلی‌متر در هکتار)	۱۲۳۸/۲	۱۱۷۸/۷	۱۱۴۷/۶

* نیتروژن موجود در کود دامی معادل ۲ درصد در نظر گرفته شد.

تجزیه داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی نا متعادل انجام شد و در آن هر سیستم تولیدی (مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سستی) به‌عنوان یک تیمار و هر منطقه به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. مقایسات میانگین در صورت معنی‌داری آزمون F با استفاده از روش LSD انجام شد.

مدل مورد استفاده: در این پژوهش از مدل SUNDIAL-FRS استفاده شد. مدل SUNDIAL پویایی نیتروژن (برادبری و همکاران، ۱۹۹۳) مقدار و تلفات نیتروژن را در برخی گیاهان زراعی پیش‌بینی می‌کند (دیلی و همکاران، ۲۰۰۶). این مدل خود مبتنی بر مدل RothC (کولمان و جنکینسون، ۱۹۹۶) است. شیبو و همکاران (۲۰۰۶) در مقایسه روش‌های کمی‌سازی پویایی ماده آلی خاک در مدل‌های مختلف ویژگی‌های مدل SUNDIAL را به تفکیک ذخایر مختلف ماده آلی در

خاک بیان کرده‌اند. فرآیند تجزیه در این مدل براساس جریان مواد بین ۳ ذخیره ماده آلی (ماده آلی به‌دست آمده از بقایا، بیوماس میکروبی و هوموس) بیان می‌شود که به‌وسیله متغیرهایی با مقادیر ثابت اولیه برای هر ذخیره ماده آلی محاسبه می‌گردد. از هر جریان بخشی به بیوماس میکروبی (α) تبدیل و بخش دیگری به هوموس (β) و باقی‌مانده به‌صورت تلفات CO_2 در نظر گرفته می‌شود. نرخ هر یک از این تبدیلات ثابت و به‌عنوان تابعی از دمای خاک و مقدار آب فرض می‌شود. اثر بافت خاک بر روند تجزیه به‌وسیله تنظیم سهم هر یک از ضرایب α و β و به‌عنوان تابعی از مقدار رس خاک در نظر گرفته می‌شود (شیبو و همکاران، ۲۰۰۶).

SUNDIAL از زیر مدل‌هایی برای شبیه‌سازی فرآیندهای اصلی کنترل‌کننده چرخه نیتروژن در خاک‌های زراعی کمک می‌گیرد (گیبونز و همکاران، ۲۰۰۵). این مدل از ۱۵ بخش تشکیل شده است که مقدار نیتروژن در هر جزء براساس جریان نیتروژن به داخل یا خارج از هر بخش در هر هفته محاسبه می‌شوند. ۴ بخش ورودی امکان اضافه شدن نیتروژن به سیستم خاک/ گیاه را می‌دهند که شامل نیتروژن اتمسفری، کودهای شیمیایی و دامی و نیتروژن ورودی از طریق بذر (براساس درصد نیتروژن بذر و میزان بذر مصرفی) هستند. ۷ بخش هم تبادلات در فرم‌های مختلف نیتروژن در درون سیستم را نشان می‌دهند و ۴ بخش خروجی شامل نیتروژن ذخیره شده در گیاه، دنیتریفیکاسیون، آبشویی و فرار آمونیاک می‌باشند.

تلفات نیتروژن شامل سه بخش آخر است و به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

دنیتریفیکاسیون: عکس نیتریفیکاسیون بوده و در طی آن نیترات به گاز نیتروژن (N_2) تبدیل می‌شود. دنیتریفیکاسیون در مدل SUNDIAL، تنها در لایه ۰-۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود و به‌صورت نسبتی از میزان CO_2 خاک و نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی می‌شود (گیبونز و همکاران، ۲۰۰۶).

آبشویی: فرآیندی که طی آن نیترات به‌وسیله آب زهکش از خاک خارج می‌شود. نیترات کاملاً محلول در آب بوده و به همراه آب حرکت عمقی دارد. در مدل SUNDIAL مقادیر آبشویی نیتروژن شبیه‌سازی شده، مقدار آبشویی از پایان دوره رشد گیاه پیشین تا زمان برداشت محصول فعلی را نشان می‌دهد.

برداشت: این جزء کل نیتروژنی که در زمان برداشت گیاه زراعی از سیستم خارج می‌شود را شامل می‌شود.

فرار آمونیاک: این فرآیند مربوط به تبدیل آمونیوم به گاز آمونیاک (NH_3) می‌باشد. آمونیاک می‌تواند پس از کاربرد کودهای شیمیایی و یا کودهای دامی و همچنین از گیاه طی فرآیند پیر شدن هدر رود.

اطلاعات ورودی مدل SUNDIAL: مدل SUNDIAL برای پیش‌بینی فرایندهای مرتبط با گردش نیتروژن در خاک و تجمع این فرایندها به منظور شبیه‌سازی آنچه در اکوسیستم تحت اثر خاک اتفاق می‌افتد از سیستمی دارای زیرمجموعه^۱ بهره می‌گیرد. ورودی‌های مورد نیاز مدل شامل ویژگی‌های مزرعه و مدیریت‌های زراعی آن مانند اطلاعات خاک، تاریخچه گیاه پیشین و گیاه فعلی شامل تاریخ‌های کاشت و برداشت و داده‌های هواشناسی به صورت هفتگی است.

در مدل SUNDIAL جذب نیتروژن در گیاه زراعی به صورت منحنی لوجستیک به دست آمده از درجه روز رشد شبیه‌سازی شده و مقادیر نهایی براساس عملکرد مورد انتظار گیاه زراعی تعیین می‌شود. باید توجه داشت که SUNDIAL یک مدل پیش‌بینی عملکرد نیست و بنابراین برای اجرای مدل، عملکرد منطقه و مقادیر کودهای نیتروژن اعمال شده به عنوان ورودی مدل مورد نیاز است.

در این پژوهش عملکرد حاصل شده در هر یک از مکان‌ها که از بیانات کشاورز و همچنین مدیران و کارشناسان کارخانه قند به دست آمده به همراه مقادیر کود نیتروژن، نوع کود و تاریخ استفاده آن در مزرعه در مدل وارد شد. همچنین نوع، مقدار و تاریخ اعمال کودهای آلی و دامی (گاوی و مرغی) در صورت استفاده در هر مکان به مدل وارد شد.

مقادیر نیتروژن معدنی و مواد آلی به دست آمده از گیاه زراعی قبلی تأثیر زیادی در تلفات نیتروژن دارد. به منظور شبیه‌سازی اثر گیاه قبلی، گیاهان زراعی در پایگاه داده‌های مدل SUNDIAL به صورت دوتایی در نظر گرفته شده است که شامل گیاه فعلی و گیاه قبلی است. بنابراین اطلاعات مدیریت زراعی مورد نیاز مدل برای گیاه فعلی و قبلی برای هر یک از مکان‌های ۲۶ گانه وارد گردید. مدل SUNDIAL برای گیاه قبلی دارای محدودیت تناوبی است. در این مطالعه داده‌های همه گیاهان قبلی در مکان‌های مختلف براساس اطلاعات جمع‌آوری شده وارد مدل شدند. این گیاهان در بیشتر موارد گندم پاییزه و در موارد نادر جو پاییزه و ذرت و یا آیش بودند. اگرچه

محدودیت تناوبی مدل اجازه لحاظ کردن آیش را نمی‌دهد اما با توجه به این‌که چغندر قند در اسفندماه کشت می‌شود زمانی که از گندم پاییزه (که در بهار برداشت می‌شود) استفاده شود، به این ترتیب یک نیمه‌آیش شبیه‌سازی خواهد شد. لازم به ذکر است که مورد آیش در بین مزارع مورد بررسی تنها دو مورد بوده است.

تاریخ آخرین خاک‌ورزی به همراه سایر اطلاعات شامل عمق خاک‌ورزی و میزان اختلاط خاک در هر یک از مکان‌ها به‌عنوان ورودی مدل وارد شدند. خاک‌ورزی به سبب اختلاط خاک و ایجاد تهویه بر مواد آلی خاک و تولید نیترات اثر داشته و بنابراین تاریخ، عمق و درجه اختلاط خاک بر اثر خاک‌ورزی در همه خاک‌ورزی‌ها تا زمان برداشت در مدل وارد شد. اگر دو خاک‌ورزی در یک هفته واقع شده باشد معادل یک خاک‌ورزی در نظر گرفته می‌شود.

میزان آب آبیاری در هر مکان به تفکیک تعداد آبیاری و تاریخ هر آبیاری و مقدار آب آبیاری مورد استفاده در هر بار آبیاری وارد مدل شد و داده‌های مورد نیاز مدل شامل بافت خاک، عمق خاک (معادل عمق توسعه ریشه) و وضعیت زهکش خاک به‌دست آمده از آنالیز خاک مکان‌های ۲۶ گانه استخراج و استفاده شد. مدل برای میزان کل نیتروژن خاک در هنگام کاشت یک ورودی مجزا در نظر نگرفته است و خود مدل براساس گیاه قبلی و شرایط آن محاسباتی برای میزان نیتروژن خاک در نظر می‌گیرد.

اجرای مدل SUNDIAL نیاز به اطلاعات هواشناسی منطقه در قالب زمانی هفتگی شامل میزان بارندگی هفتگی، تبخیر و تعرق هفتگی و متوسط درجه حرارت هفتگی دارد. داده‌های درازمدت مورد نیاز برای ۱۰ منطقه مورد مطالعه در این پژوهش از ایستگاه‌های هواشناسی مربوطه در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی تهیه و به‌صورت متوسط هفتگی تهیه شد.

نتایج و بحث

تلفات نیتروژن از مزارع تولید چغندر قند: نتایج نشان داد که بزرگ‌ترین جزء موازنه نیتروژن در مزرعه یعنی مقدار نیتروژن جذب شده در گیاه در سیستم‌های مکانیزه، نیمه‌مکانیزه و سنتی به‌ترتیب ۱۸۲/۸، ۱۰۵/۳ و ۶۶/۹ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳) و این میزان در سیستم‌های مختلف تولید تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۴). بنابراین افزایش مکانیزاسیون سبب افزایش این جزء از ذخیره نیتروژن گردیده است.

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار جلد (۴)، شماره (۴) ۱۳۹۳

جدول ۳- میانگین، حداقل، حداکثر و ضریب تغییرات میزان جذب و تلفات نیروزن و همچنین عملکرد چغندر قند در سیستم‌های مختلف تولید در خراسان.

پارامتر	سیستم تولید صنعتی				سیستم تولید نیمه‌مکانیزه				سیستم تولید مکانیزه			
	حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات	حداکثر	حداقل	میانگین	ضریب تغییرات
جذب نیروزن توسط گیاه	۶۱/۷۶ ^c	۵۵	۱۰۳	۲۵/۲۹	۱۰۵/۳۰ ^b	۳۶	۱۱۷	۳۹/۹	۱۸۲/۸ ^a	۱۳۶	۱۳۶	۲۷۲
کل تلفات نیروزن	۴۹/۵۷	۲۵	۷۲	۳۲/۵	۴۱/۴	۲۶	۶۸	۲۶/۳	۴۵/۲۲	۳	۳	۶۶
آبشویی	۲۱/۸۷	۷	۴۴	۵۹/۳۲	۷/۶۱	۷	۳۱	۴۴/۵۴	۱۷/۶۷	۷	۷	۴۱
کل تلفات گازی	۲۷/۷۶	۱۷	۴۵	۳۵/۴۴	۴/۶	۵	۳۷	۲۷/۳	۲۷/۵۶	۴	۴	۴۳
فرار آمونیاک	۱۰/۷۸ ^b	۲	۲۹	۹۵/۲۱	۲۰/۶۰ ^a	۹	۳۴	۱۳/۰۲	۲۰/۶۷ ^a	۱۲	۱۲	۳۴
دیتریفیکاسیون	۱۷/۵۷ ^a	۱۰	۳۱	۴۵/۳۹	۴/۴۰ ^b	۵	۵۱	۱۹/۸۷	۶/۸۹ ^b	۰	۰	۷۱
بر حسب عملکرد محصول (تصحیح شده برای عبار قند ۱۶ درصد)												
کل تلفات	۱/۸۹ ^a	۱/۸۷	۲/۸۸	۳۲/۱۴	۱/۸۸ ^b	۰/۵۹	۲/۴۶	۴۶/۰۴	۰/۸۳ ^c	۰/۴۹	۰/۴۹	۱/۳۳
آبشویی	۰/۸۳ ^a	۰/۳۱	۱/۸۶	۶۰/۸۷	۰/۴۶ ^b	۰/۱۸	۰/۸۷	۵۴/۵۵	۰/۲۷ ^b	۰/۱	۰/۱	۰/۴
کل تلفات گازی	۱/۰۷ ^a	۰/۸۳	۲	۴۰/۵۶	۰/۷۰ ^b	۰/۳۴	۱/۵۷	۴۹/۸۶	۰/۴۵ ^b	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۷۲
تن در هکتار	۳۹/۳۸	۲۰	۳۷/۴۴	۳۳/۸۵	۳۹/۶۵ ^b	۱۴/۸۳	۶۱/۸۸	۳۱/۵۱	۶۴/۰۶ ^a	۴۷/۸۱	۴۷/۸۱	۸۴/۳۸
درصد	۱۹/۴۶											

عملکرد تصحیح شده برای عبار قند ۱۶ درصد

حروف مشابه در یک ردیف برای میانگین‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

جدول ۴- تجزیه واریانس جذب نیروزن توسط گیاه و تلفات نیروزن بر حسب کیلوگرم در هکتار، تلفات نیروزن بر حسب کیلوگرم بر تن و عملکرد تصحیح شده بر حسب ۱۶ درصد عیار قند بر حسب کیلوگرم در هکتار در سیستم‌های مختلف تولید چغندر قند در خراسان.

منبع تغییر	درجه		جذب نیروزن		تلفات نیروزن		کل تلفات		آبشویی		کل تلفات		فرار		دیتریفیکاسیون		کل تلفات		آبشویی		تلفات گازی		عملکرد تصحیح شده
	آزادی	توسط گیاه	نیروزن	نیروزن	نیروزن	نیروزن	آبشویی	نیروزن	گازی	آبشویی	گازی	آبشویی	نیروزن	آبشویی	نیروزن	آبشویی	نیروزن	آبشویی	نیروزن	آبشویی	نیروزن	تلفات گازی	
سیستم تولید	۲	۲۸۶۵۹ ^{**}	۱۳۸۰۰۹	۵۳۶۶۶	۲۹۰۵۱	۲۳۳۲۵ [*]	۳۸۲۵۲ [*]	۲۶۳۸ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۵۹	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۰/۷۵ ^{**}	۲۹۵۵ ^{**}
باقی مانده	۲۳	۱۳۵۰	۱۶۶/۵۹	۹۹/۴۴	۷۵/۴۶	۷۱/۸۳	۴۳/۰۰	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۱۴۲۸
سطح احتمال معنی داری	< ۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱	۰/۴۴۹۲	۰/۵۹	۰/۶۸۰۷	۰/۰۴۳۱	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	< ۰/۰۰۰۱

* معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

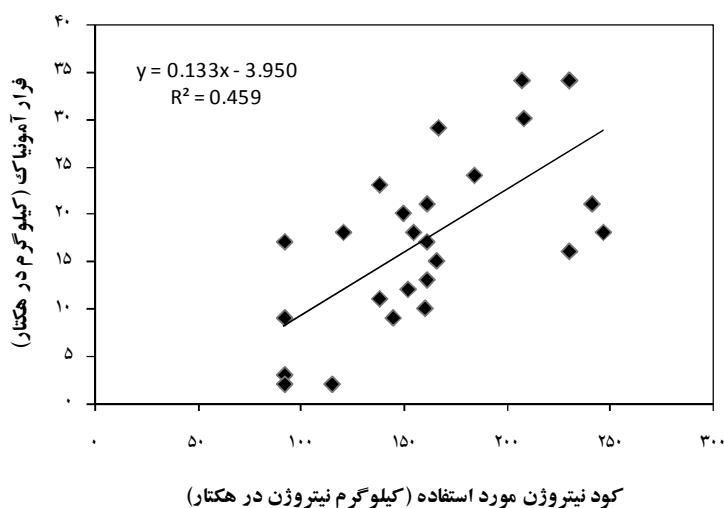
دامنه تلفات نیتروژن بین ۷۲-۲۵، ۶۸-۲۶ و ۶۹-۳۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در ۳ سیستم تولید سنتی، نیمه مکانیزه و مکانیزه متغیر بود که به دو بخش اصلی آبشویی و تلفات گازی (فرار آمونیاک و دنیتریفیکاسیون) تقسیم می شود (جدول ۳). بر این اساس، اگرچه میانگین کل تلفات نیتروژن (شامل تلفات گازی و تلفات حاصل آبشویی) از پروفیل خاک در سیستم های سنتی (۴۹/۵۷ کیلوگرم در هکتار) بیش از سیستم های مکانیزه (۴۵/۲۲ کیلوگرم در هکتار) و نیمه مکانیزه (۴۱/۴۰ کیلوگرم در هکتار) بود (به ترتیب ۲۲، ۱۶ و ۱۴ درصد از کل نیتروژن ورودی)، اما این اختلافات از نظر آماری معنی داری نبود (جدول ۴). سهم تلفات نیتروژن به صورت گازی از کل تلفات در سیستم های سنتی، نیمه مکانیزه و مکانیزه به ترتیب ۵۶/۲، ۵۹/۴ و ۶۰/۹ درصد و سهم تلفات نیتروژن به صورت آبشویی از کل تلفات در سه سیستم نیز به ترتیب ۴۳/۸، ۴۰/۶ و ۳۹/۱ درصد بود. مشاهده می شود که در هر سه سیستم تولیدی سهم تلفات گازی بیش از آبشویی بوده است به طوری که به طور میانگین ۵۹ درصد از تلفات نیتروژن در تولید چغندر قند به صورت گازی و ۴۱ درصد به صورت آبشویی بوده است. تزلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵) نیز در مطالعه خود سهم تلفات گازی به ویژه از طریق دنیتریفیکاسیون را بیش از آبشویی و مهم ترین بخش تلفات نیتروژن در کشت چغندر قند در انگلستان عنوان کردند.

بین سه سیستم مورد مطالعه از نظر میزان تلفات نیتروژن به صورت گازی تفاوت معنی داری دیده نشد، اما میانگین تلفات نیتروژن از طریق فرار گاز آمونیاک و دنیتریفیکاسیون به طور معنی داری متفاوت بود (جدول ۴). در سیستم تولید سنتی چغندر قند دنیتریفیکاسیون بیش ترین بخش تلفات گازی را تشکیل داد (۱۷/۵۷ کیلوگرم در هکتار) که به طور معنی داری بیش از مقدار دنیتریفیکاسیون در دو سیستم دیگر بود. در سیستم های سنتی به دلیل ساختار اجتماعی و زراعی خاص خود، آبیاری ها به صورتی کرتی انجام شده که به دلیل حجم بالای آب در هر بار آبیاری، باعث غرقابی و افزایش تلفات به صورت دنیتریفیکاسیون می شود. همچنین در این شرایط وجود مواد آلی در خاک باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم های مسئول دنیتریفیکاسیون می شود. تزلیواکیس و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی اثرات زیست محیطی کشت چغندر قند در انگلستان میزان دنیتریفیکاسیون را به طور متوسط در سناریوهای مورد مطالعه خود ۱۵/۲ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. آن ها همچنین بیان داشتند که میزان دنیتریفیکاسیون در سناریوهای با ورودی نیتروژن به صورت کود دامی بیش تر بوده است. در دو سیستم نیمه مکانیزه و مکانیزه بخش عمده تلفات گازی به دست آمده از فرار گاز آمونیاک (به ترتیب با میانگین ۲۰/۲۰ و ۲۰/۶۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). سلطانی و همکاران (۲۰۱۳) نیز

بیشترین تلفات گازی در تولید گندم در گرگان را مربوط به بخش فرار آمونیاک دانسته‌اند. دلیل اختلاف معنی‌دار فرار گاز آمونیاک در سیستم‌های مکانیزه و نیمه‌مکانیزه با سیستم سنتی می‌تواند بیش‌تر بودن میزان کود مصرفی در این سیستم‌ها باشد (جدول ۲). شکل ۱ نیز نشان‌دهنده وجود رابطه خطی بین مقدار کود نیتروژنه استفاده شده در هر یک از مکان‌های مورد مطالعه با مقدار فرار آمونیاک در این مناطق است. نمچک و کاگی (۲۰۰۷) کود اوره را با ۱۵ درصد دارای بیش‌ترین فاکتور انتشار نیتروژن آمونیاکی نسبت به سایر کودهای نیتروژنه دانسته‌اند. از آن‌جا که برای بخار شدن باید تماس با هوا برقرار شود، می‌توان با اختلاط کود با خاک، کاربرد کود سرک در هوای آرام و بدون باد، افزایش تعداد دفعات کاربرد کود و همچنین استفاده از روش کود آبیاری مقدار تلفات گازی نیتروژن به‌ویژه فرار آمونیاک را کاهش داد.

بین سیستم‌های مختلف تولید در تلفات نیتروژن به‌صورت آبشویی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴)، اما میانگین این تلفات در سیستم سنتی برابر ۲۱/۷۱ کیلوگرم در هکتار و بیش‌از دو سیستم نیمه‌مکانیزه و مکانیزه به‌ترتیب با ۱۶/۸۰ و ۱۷/۶۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). با توجه به جدول ۲ به‌نظر می‌رسد بیش‌تر بودن مقدار کود اوره پایه به همراه بیش‌تر بودن حجم آب آبیاری بلافاصله پس از کاربرد کود اوره پایه در سیستم‌های سنتی از سویی و بیش‌تر بودن حجم هر آبیاری در طول فصل از سوی دیگر سبب افزایش آبشویی نیتروژن در سیستم‌های سنتی شده است (جدول ۳). فنگ و همکاران (۲۰۱۳) تطابق کوددهی با نیاز گیاه در شرایطی که میزان آب در دسترس گیاه محدود است، می‌تواند منجر به عملکردهای قابل‌قبول با میزان آبشویی کم‌تر نیتروژن بشود. ایشان بیان کردند با کاهش ۴۰-۲۰ درصدی آبیاری و ۶۰-۴۰ درصدی نیتروژن می‌توان بدون کاهش چشمگیر عملکرد، آبشویی نیتروژن را در مزارع تحت آبیاری به حداقل رساند. به‌نظر می‌رسد علاوه‌بر مدیریت‌های زراعی، شرایط اقلیمی و خاک نیز در مشارکت هر یک از اجزا در تلفات نیتروژن تأثیرگذار است.

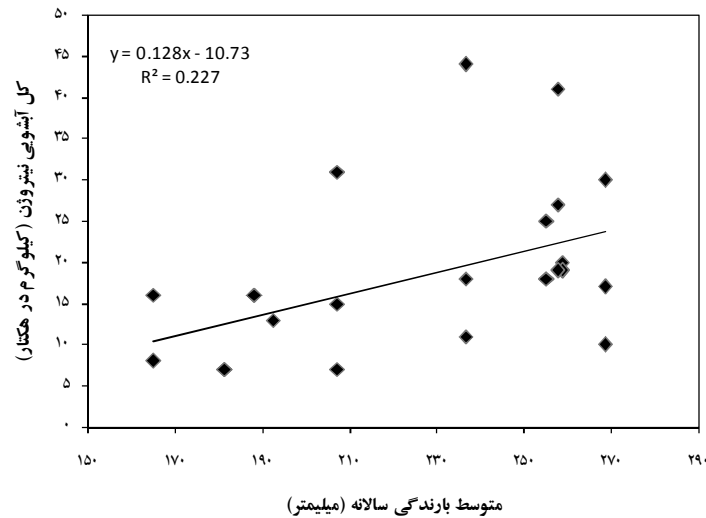
شکل ۲ بیانگر احتمال ارتباط میانگین بارندگی سالانه در هر یک از مکان‌های مورد مطالعه با مقدار آبشویی نیتروژن در این مناطق است. زینلی و همکاران (۲۰۱۰) نیز در نتایج خود اختلاف زیادی در مقدار نیتروژن آبشویی شده در سال‌های پر باران نسبت به سال‌های کم‌باران در مزارع گندم در گرگان گزارش کردند.



شکل ۱- ارتباط بین مقدار کود نیتروژن استفاده شده و فرار آمونیاک در سیستم‌های تولید چغندر قند در خراسان.

تلفات نیتروژن به‌ازای واحد چغندر قند تولیدی: اگرچه مقایسه تلفات نیتروژن در واحد سطح سیستم‌های تولید چغندر قند برای درک سیستم‌های تولیدی چغندر قند در خراسان مهم است اما مهم‌تر از آن مقایسه این تلفات به‌ازای هر تن چغندر قند تولیدی در هر سیستم است که می‌تواند به درک بهتر ما از اثرات زیست‌محیطی تولید چغندر قند در سیستم‌های مختلف کمک کند.

نتایج این پژوهش نشان از تفاوت معنی‌دار سیستم‌های مختلف تولید چغندر قند از نظر کل تلفات نیتروژن، تلفات گازی نیتروژن و آبشویی نیتروژن به‌ازای یک تن چغندر قند تصحیح شده برای عیار قند ۱۶ درصد دارد (جدول ۴). تلفات نیتروژن در سیستم سستی بین ۲/۹-۱/۱ کیلوگرم به‌ازای یک تن چغندر قند تولیدی متغیر بود که میانگین آن (۱/۸۹ کیلوگرم به‌ازای یک تن چغندر قند تولیدی) به‌طور معنی‌داری بیش از دو سیستم دیگر بود. این کمیت در دو سیستم نیمه‌مکانیزه و مکانیزه نیز به‌ترتیب با (۲/۴۶-۰/۵۹) و (۱/۲۳-۰/۴۹) و ۰/۷۳، دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۳). همچنین در تمامی سیستم‌های تولیدی در خراسان میزان تلفات گازی به‌ازای تولید یک تن چغندر قند بیش‌تر از میزان آبشویی بود (شکل ۳).



شکل ۲- ارتباط بین متوسط بارندگی سالانه و آبشویی نیتروژن در سیستم‌های تولید چغندر قند در خراسان.

در سیستم‌های سنتی متوسط تلفات نیتروژن چه به صورت گازی (۱/۰۷) و چه به صورت آبشویی (۰/۸۲) به ازای یک تن چغندر قند با اختلافی معنی‌دار بزرگ‌تر از دو سیستم دیگر بود در حالی که مقدار این تلفات در سیستم‌های مکانیزه (به ترتیب معادل ۰/۴۵ و ۰/۲۷ کیلوگرم در هر تن چغندر قند) و نیمه‌مکانیزه (به ترتیب معادل ۰/۷۱ و ۰/۴۸ کیلوگرم در هر تن چغندر قند) تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین به‌کارگیری سیستم‌های مکانیزه می‌تواند در همه حالات تلفات نیتروژن در تولید محصول چغندر قند در خراسان را به‌ازای محصول تولیدی، کاهش دهد. اگرچه بخش عمده این کاهش ناشی از تولید بیش‌تر عملکرد در سیستم‌های مکانیزه است (جدول ۳) اما باید توجه داشت که توجه به راندمان عملیات و مدیریت‌های زراعی نیز می‌تواند در این کاهش مؤثر باشد.

سیستم‌های مختلف تولید چغندر قند از نظر میزان عملکرد دارای تفاوت معنی‌داری بودند (جدول ۴)، به این صورت که با افزایش مکانیزاسیون در تولید چغندر قند میزان عملکرد (تصحیح شده برای ۱۶ درصد قند) افزایش معنی‌داری داشت و از ۲۶/۶۴ تن در هکتار در سیستم‌های سنتی به ۶۴/۰۶ تن در هکتار در تولید مکانیزه رسید (جدول ۳). افزایش ۱۴۱ درصدی تولید به روش مکانیزه بیانگر لزوم توجه به افزایش مکانیزاسیون در تولید چغندر قند در خراسان دارد و بیانگر آن است که سیستم‌های

ستنی از نظر کمی سیستم‌های پر بازده‌ای نیستند که این باعث افزایش میزان تلفات به‌ازای یک تن محصول تولیدی می‌شود.

نتیجه‌گیری

دامنه تلفات نیتروژن بین ۲۵-۷۲ کیلوگرم در هکتار در سیستم ستنی، ۲۶-۶۸ کیلوگرم در هکتار در سیستم نیمه‌مکانیزه و ۳۱-۶۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سیستم مکانیزه برآورد شد که بین سیستم‌ها اختلاف معنی‌داری نبود. در هر سه سیستم سهم تلفات گازی بیش از آشفویی بوده و به‌طور میانگین ۵۹ درصد از تلفات به‌صورت گازی و ۴۱ درصد به‌صورت آشفویی بود. در سیستم تولید ستنی چغندر قند دنیتریفیکاسیون بیش‌ترین بخش تلفات گازی را تشکیل داد (۶۳ درصد) و در دو سیستم مکانیزه و نیمه‌مکانیزه بخش عمده تلفات گازی به‌دست آمده از فرار گاز آمونیاک (۷۵ و ۸۲ درصد) بود. نکته کلیدی به‌دست آمده از این پژوهش این است که اگرچه از نظر میزان تلفات نیتروژن در طی فرآیند تولید در واحد سطح مزرعه تفاوت معنی‌داری بین سیستم‌های مختلف کشت نبود، اما این میزان تلفات به‌ازای تولید یک تن محصول، دارای تفاوتی معنی‌دار بوده و متوسط تلفات در سیستم ستنی ۱/۸۹، در سیستم نیمه‌مکانیزه ۱/۱۸ و در سیستم مکانیزه ۰/۷۳ کیلوگرم نیتروژن به‌ازای یک تن چغندر قند تولیدی بود. بر خلاف تصور عمومی در مورد کم‌تر بودن اثرات زیست‌محیطی در سیستم‌های ستنی نسبت به سیستم‌های مکانیزه، نتایج این پژوهش نشان داد که در تولید چغندر قند در خراسان حرکت به‌سمت مدیریت بهتر سیستم زراعی می‌تواند بدون تغییر معنی‌دار تلفات نیتروژن، عملکرد را به‌طور معنی‌داری افزایش داده و مقدار تلفات نیتروژن به‌ازای واحد محصول تولید شده را کاهش دهد.

منابع

1. Agricultural statistic. Volume 1: Crops. 2010. Jahad ministry of agriculture. Planning and economic affairs, office of statistics and information technology. (In Persian)
2. Bradbury, N.J., Whitmore, A.P., Hart, P.B.S., and Jenkinson, D.S. 1993. Modelling the fate of nitrogen in crop and soil in the years following application of 15N-labelled fertilizer to winter wheat. J. Agric. Sci. 121: 363-379.
3. Coleman, K., and Jenkinson, D.S. 1996. RothC-26.3-a model for the turnover of carbon in soil, P 237-246. In: Powlson, D.S., P. Smith and J.U. Smith (Eds.), Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-term Datasets. Proceedings of the NATO Advanced Research workshop, NATO ASI Series I, Springer-Verlag, Berlin.

4. Dailey, A.G., Smith, J.U., and Whitmore, A.P. 2006. How far might medium-term weather forecasts improve nitrogen fertilizer use and benefit arable farming in the England and Wales?. *Agr. Ecosyst. Environ.* 117: 22-28.
5. Delgado, J.A. 2002. Quantifying the loss mechanisms of nitrogen. *J. Soil Water Conserv.* 57: 389-398.
6. Delgado, J.A., Shaffer, M., Hu, C., Lavado, R., Cueto-Wong, J., Joosse, P., Sotomayor, D., Colon, W., Follett, R., DelGrosso, S., Li, X., and Rimski-Korsakov, H. 2008. An index approach to assess nitrogen losses to the Environment. *Ecol. Eng.* 32: 108-120.
7. Falloon, P., Pilbeam, C., and Smith, J. 1999. Modelling nitrogen cycling in the arable systems of Nepal using SUNDIAL. IACR-Rothamsted Technical Report, University of Reading, Whiteknights, Reading, UK.
8. Fang, Q., Ma, L., Yu, Q., Hu, C., Li, X., Malone, R., and Ahuja, L. 2013. Quantifying climate and management effects on regional crop yield and nitrogen leaching in the North China Plain. *J. Environ. Qual.* 42: 1466-1479.
9. Gabrielle, B., Mary, B., Roche, R., Smith, P., and Gosse, G. 2002. Simulation of carbon and nitrogen dynamics in arable soils: a comparison of approaches. *Eur. J. Agron.* 18: 107-120.
10. Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erismann, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.F., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P., and Sutton, M.A. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science.* 320: 889-892.
11. Gibbons, J.M., Ramsden, S.J., and Blake, A. 2006. Modelling uncertainty in greenhouse gas emissions from UK agriculture at the farm level. *Agr. Ecosyst. Environ.* 112: 347-355.
12. Gibbons, J.M., Sparkes, D.L., Wilson, P.L., and Ramsden, S.J. 2005. Modelling optimal strategies for decreasing nitrate loss with variation in weather-a farm-level approach. *Agr. Syst.* 83: 113-134.
13. Happe, K., Hutchings, N.J., Dalgaard, T., and Kellerman, K. 2011. Modelling the interactions between regional farming structure, nitrogen losses and environmental regulation. *Agr. Syst.* 104: 281-291.
14. Hu, K., Li, B., Chen, D., Zhang, Y., and Edis, R. 2008. Simulation of nitrate leaching under irrigated maize on sandy soil in desert oasis in Inner Mongolia, China. *Agric. Water Manag.* 95: 1180-1188.
15. Jahedi, A., Noorozi, A., Hasani, M., and Hamdi, F. 2012. Effect of irrigation methods and nitrogen application on sugar beet yield and quality. *J. Sugar Beet.* 28: 1. 23-28.
16. Manzoni, M., and Porporato, A. 2009. Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales. *Soil Biol. Biochem.* 41: 1355-1379.
17. Nemecek, T., and Kagi, T. 2007. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final report ecoinvent V2.0 NO. 15a. Agroscope Reckenholz- Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dubendorf, CH.

18. Pathak, H., Li, C., Wassmann, R., and Ladha, J.K. 2006. Simulation of nitrogen balance in rice wheat systems of the Indo-Gangetic Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1612-1622.
19. Shibu, M.E., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., and Aggarwal, P.K. 2006. Quantitative description of soil organic matter dynamics-A review of approaches with reference to rice-based cropping systems. *Geoderma*. 137: 1-18.
20. Smith, J.U., Bradbury, N.J., and Addiscott, T.M. 1996. SUNDIAL: a PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land. *Agron. J.* 88: 38-43.
21. Smith, J.U., Smith, P., Richter, G.M., Agostini, F.A., and Welham, S.J. 2003. Testing the adequacy of measured data for evaluating nitrogen turnover models by the dot-to-dot method. *Eur. J. Soil Sci.* 54: 175-185.
22. Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2010. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan, *Electron. J. Plant. Prod.* 3: 3. 201-218. (In Persian)
23. Soltani, E., Soltani, A., Zeinali, E., and Dastmalchi, A. 2013. Simulation of nitrogen losses under wheat production in Gorgan, using CropSyst model. *Water Soil Conserv.* 20: 145-163. (In Persian)
24. Stewart, L.K., Charlesworth, P.B., Bristow, K.L., and Thorburn, P.J. 2006. Estimating deep drainage and nitrate leaching from the root zone under sugarcane using APSIM-SWIM Agric. *Water Manag.* 81: 315-334.
25. Tzilivakis, J., Jaggard, K., Lewis, K.A., May, M., and Warner, D.J. 2005. Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agr. Ecosyst. Environ.* 107: 341-358.
26. Zeinali, E. 2010. Nitrogen nutrition of wheat in Gorgan; aspects of agronomic, physiological and optimization using simulation models. M.Sc. thesis in Agronomy. Gorgan Univ. Agric. Sci. Natur. Resour. Iran. (In Persian)
27. Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., and Movahedi Naeeni, S.A.R. 2009. Estimates of nitrate leaching from wheat fields in Gorgan, Northeast of Iran. *Res. J. Environ. Sci.* 3: 645-655.



Simulation of nitrogen losses in sugar beet production in various production systems in Khorasan

**A. Soltani¹, A.B. Bazrgar², A.R. Koochaki³, E. Zeinali⁴,
A.R. Ghaemi⁵ and *A. Hajarpoor⁶**

¹Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran, ³Professor, Dept. of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, ⁴Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁵Assistant Prof., Sugar Beet Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, ⁶Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 10/16/2013; Accepted: 05/05/2014

Abstract

Nitrogen is one of the most important nutrients in crop production, but its losses to the environment is harmful. The SUNDIAL model (simulation model of N dynamics in the soil) was used to quantify the cycle of N and its losses in different production systems of sugar beet (*Beta Vulgaris* L.) in former Khorasan province, east of Iran. The data were collected from traditional, semi-mechanized and mechanized production systems in 26 regions of 10 geographic areas of Khorasan (Northern, Razavi and Southern Khorasan provinces) to be used in the model as inputs. Results showed that the total N loss from the soil profile in traditional, semi-mechanized and mechanized systems did not differ significantly and were 50, 41 and 45 kg N ha⁻¹, respectively. In average, 59% of total N loss occurs as gaseous losses and 41% as leaching. The most part of the gaseous losses in traditional system occurs via denitrification (63%), but in semi-mechanized (75%) and mechanized (82%) systems volatilization was dominant. The key finding is that while various systems of sugar beet production are similar with respect to N loss per hectare, they are different with respect to N loss per ton of crop yield. The average of N loss in traditional system was significantly higher than other systems in terms of kg N ton⁻¹. This implies the possibility of reducing N losses and its environmental effects through improving crop management.

Keywords: Denitrification, Environmental effects, Leaching, SUNDIAL model, Volatilization

* Corresponding Authors; Email: ahajarpoor@gau.ac.ir

