بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

بررسی عملکرد فیلترهای کربنی در حذف نیترات از زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی

رساله دکتری آبیاری و زهکشی

سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره

اساتید راهنما

دکتر منوچهر حیدرپور

دکتر بهروز مصطفی‌زاده فرد

1390

تشکر و قدردانی

آفریدگار مهربانم را سپاس گویم که یاریم کرد گام‌ها یکی از پی دیگری از مرحله‌ی ابتدایی آموختن را بردارم.

از پدر و مادر عزیز و بزرگوارم که با شوق رسیدن را آموختند و در همه‌ی دوران کودکی و نوجوانی در کنارم بودند، سپاسگزارم.

از همدلی و همراهی دوست داشتنی همسر عزیزم، که مرحله‌ی نگارش این رساله را همراهی کرد، سپاسگزارم.

از راهنمایی‌های مفید و ارزنده اساتید راهنمای بزرگوارم آقایان دکتر فرج‌الله چیرودی و دکتر مصطفی زاده فرهنگیانه تقدیر و تشکر می‌کنم.

از همراهی دلسوزانه اساتید مشاور گرانقدرم آقایان دکتر فرهاد موروثی و دکتر هدی قره‌بگلو و دکتر ایران شیروانی سپاسگزارم.

از آقایان دکتر علی مدنی و دکتر اکبر گودرزی جهت فراهم شدن شرایط یاری این جانب جهت دو فرصت کوتاه مطالعاتی در کشور کانادا صمیمانه قدردانی می‌کنم.

از اساتید داور گرامی آقایان دکتر عبدالله بیات، دکتر هنگامه یزدان‌پناه عابدی و دکتر کوکب السادات غفاری که با خوانی و داوری این رساله را پذیرفتند، قدردانی می‌کنم.

از کلیه‌ی دوستان و عزیزانی که به‌گونه‌ای این مرحله یاری رساندند، از صمیم قلب سپاسگزارم.

سید ابراهیم هاشمی، ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر فداکار،

مادر دلسوز،

و همسر مهربانم

بخشی از هزینه اجرای این تحقیق از سوی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران تأمین گردیده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این رساله متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست شکل‌ها ..... یازده
فهرست جدول‌ها ..... چهارده
چکیده 1

فصل اول: **مقدمه و بررسی منابع**
1-1 اهمیت سیستم‌های زهکشی و مشکلات ناشی از وجود آنها 2
2-1 نیتروژن 4
3-1 تأثیر زهکش‌های زیرزمینی بر آبشویی نیترات 6
4-1 مشکلات ناشی از آبشویی نیترات 7
5-1 روش‌های جلوگیری از ورود نیترات به منابع آب و حذف نیترات از این منابع 8
1-5-1 راهکارهای کاهش ورود نیترات به منابع آبی سطحی و زیرسطحی 8
2-5-1 راهکارهای حذف نیتروژن از منابع آبی 12
6-1 روش‌های استفاده از دنیتریفیکاسیون برای کاهش نیترات 15
1-6-1 تالاب‌ها 15
2-6-1 زهکش‌های کنترل شده 16
3-6-1 بیورآکتور 16
7-1 کلیات و ضرورت انجام تحقیق 18
8-1 اهداف مطالعه 20

فصل دوم: **بررسی عملکرد مواد کربنی مختلف به عنوان بیورآکتور در دیواره دنیتریفیکاسیون برای حذف نیترات**
2-1 مقدمه 22
2-2 مواد و روش‌ها 24
2-2-1 مواد کربنی مورد استفاده 24
2-2-2 ترکیبات فیبری مواد کربنی مورد استفاده در این مطالعه 25
2-2-3 خاک مورد آزمایش 27
2-2-4 آماده‌سازی دیواره دنیتریفیکاسیون 27
2-2-5 آماده‌کردن محلول ورودی و چگونگی انتقال آن به ستون‌ها 29
2-2-6 نمونه‌برداری و اندازه‌گیری 31
2-3 نتایج و بحث 32

ادامه فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

2-3-1بررسی تأثیر مواد کربنی مختلف بر مقدار نیترات حذف شده 33
2-3-2 بررسی نیترات حذف شده توسط مواد کربنی مختلف و عوامل مؤثر بر آن 44
2-3-3 بررسی تغییرات غلظت آمونیوم 54
2-3-4 بررسی تأثیر pH 60
2-4 نتیجه‌گیری کلی 62

فصل سوم: بررسی عملکرد فیلتر زیستی نصب شده در کنار لوله زهکش در یک مدل فیزیکی زهکش زیرزمینی
3-1 مقدمه 64
3-2 مواد و روش‌ها 65
3-2-1 آماده‌سازی دیواره دنیتریفیکاسیون 66
3-2-2 آماده‌سازی مدل ترانشه زهکش 67
3-2-3 آماده‌سازی لوله زهکش 70
3-2-4 آماده‌سازی لوله‌های پیزومتر 70
3-2-5 پر کردن مدل 71
3-2-6 آماده‌سازی محلول و اندازه‌گیری‌ها 72
3-3 نتایج و بحث 72
3-3-1 تغییرات غلظت نیترات 72
3-3-2 تغییرات غلظت آمونیوم 76
3-3-2 دبی آب خروجی 78
3-3-3 بررسی عملکرد هیدرولیکی فیلتر در ترانشه زهکشی 80
3-4 نتیجه‌گیری کلی 82

فصل چهارم: اندازه‌گیری شدت حذف نیترات در ستون‌های آزمایشگاهی و اندازه‌گیری شدت دنیتریفیکاسیون و فعالیت آنزیم‌ها در محیط آزمایشگاه
4-1 مقدمه 84
4-2 مواد و روش‌ها 86
4-2-1 آماده‌سازی دیواره دنیتریفیکاسیون 86
2-2-2 نمونه‌برداری‌ها 86
4-2-3 اندازه‌گیری‌ها 88
4-3 نتایج وبحث 91
4-3-1 غلظت نیترات خروجی در ستون‌ها 92
4-3-2 مکانیسم حذف نیترات 97

ادامه فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

4-3-3 شدت دنیتریفیکاسیون 98
4-3-4 فعالیت آنزیم‌های دنیتریفیکاتور 105
4-4 نتیجه‌گیری کلی 111

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
5-1 نتیجه‌گیری 112
5-2 پیشنهادها 116

فهرست مراجع 118

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 1-1 چرخه کامل نیتروژن در طبیعت 5
شکل 1-2 نحوه نصب دیواره دنیتریفیکاسیون در کنار لوله زهکش 18
شکل 1-3 نحوه اجرای حوضچه دنیتریفیکاسیون در انتهای خطوط زهکش 18
شکل 2-1 نحوه قرارگیری ستون‌های آزمایشگاهی 28
شکل 2-2 نحوه قرارگیری مخازن در ارتفاع‌های 1 و 2 متری جهت ایجاد بار فشاری ورودی مورد نیاز ستون‌های آزمایشگاهی 30
شکل 2-3 مخازن و شناورهای موجود در آنها به منظور ایجاد بار فشاری ورودی مناسب و ثابت نگه‌داشتن آب در آنها ..30
شکل 2-4 مخازن 1000 لیتری برای ساخت محلول و پمپ‌های مورد استفاده برای انتقال آب به مخازن بالاتر 31
شکل 2-5 مخازن ایجاد کننده فشار ثابت برای بارهای فشاری مختلف 31
شکل 2-6 ستون‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در آزمایشگاه و چگونگی جمع‌آوری زه‌آب در آنها 32
شکل 2-7 اندازه‌گیری نیترات خروجی تیمارها در آزمایشگاه 32
شکل 2-8 تغییرات نیترات خروجی نسبت به زمان در ستون‌های ذرات چوب برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر(T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P1: بار فشاری یک متر، P2: بار فشاری یک متر).....34
شکل 2-9 درصد نیترات حذف شده در ستون‌های ذرات چوب برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....35
شکل 2-10 تغییرات غلظت نیترات خروجی نسبت به زمان در ستون‌های پوشال جو برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....37
شکل 2-11 درصد نیترات حذف شده در ستون‌های پوشال جو برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....39
شکل 2-12 تغییرات غلظت نیترات خروجی نسبت به زمان در ستون‌های پوسته شلتوک برنج برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....40
شکل 2-13 درصد نیترات حذف شده در ستون‌های پوسته شلتوک برنج برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....41
شکل 2-14 تغییرات غلظت نیترات خروجی نسبت به زمان در ستون‌های برگ نخل خرما برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....43

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 2-15 درصد نیترات حذف شده در ستون‌های برگ نخل خرما برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....44
شکل 2-16 رابطه بین (الف) درصد همی‌سلولز (ب)، نسبت C:N و (ج) درصد لیگنین موجود در مواد کربنی با درصد نیترات حذف شده 50
شکل 2-17 تغییرات سرعت آب خروجی در طول دوره آزمایش در ستون‌های مختلف (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....53
شکل 2-18 تغییرات غلظت آمونیوم خروجی نسبت به زمان در ستون‌های ذرات چوب برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر و (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....55
شکل 2-19 تغییرات غلظت آمونیوم خروجی نسبت به زمان در ستون‌های پوشال جو برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....56
شکل 2-20 تغییرات غلظت آمونیوم نسبت به زمان خروجی در ستون‌های پوسته شلتوک برنج برای تیمارهای (الف) 40 میلی‌گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....57
شکل 2-21 تغییرات غلظت آمونیوم خروجی نسبت به زمان در ستون‌های برگ نخل خرما برای تیمارهای (الف) 40 میلی-گرم در لیتر (ب)160 میلی‌گرم در لیتر (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....59
شکل 2-22 تغییرات pH در طول دوره آزمایش در تیمارهای مختلف نیترات ورودی (T: ستون 60 سانتی‌متری، S: ستون 30 سانتی‌متری، P_1: بار فشاری یک متر، P_2: بار فشاری یک متر).....61
شکل 3-1 نمای کلی مدل فیزیکی زهکش 66
شکل 3-2 نمای مدل فیزیکی زهکش از روبرو 68
شکل 3-3 نمای جانبی مدل فیزیکی زهکش.....68
شکل 3-4 مدل فیزیکی زهکش ساخته شده و پیزومترهای نصب شده در آن 69
شکل 3-5 شناورهای نصب شده در دیواره جانبی مدل به منظور کنترل سطح ایستابی در این دیواره‌ها 69
شکل 3-6 نمای سرریز خروجی مدل ترانشه زهکش 70
شکل 3-7 نحوه قرارگیری پیزومترها، لوله زهکش و فیلتر کربنی در مدل فیزیکی زهکش 71
شکل 3-8 لوله‌های پیزومتر و توری مورد استفاده در ورودی آنها به منظور جلوگیری از ورود خاک به داخل آنها 71
شکل 3-9 تغییرات غلظت نیترات ورودی و خروجی در ستون‌های آزمایشگاهی.....73
شکل 3-10 تغییرات غلظت نیترات ورودی و خروجی از ترانشه زهکشی 74
شکل3-11 نیترات حذف شده در ستون‌های آزمایشگاهی پوشال جو و ترانشه زهکشی در طول دوره مطالعه.....76

ادامه فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل 3-12 تغییرات غلظت آمونیوم ورودی و خروجی در (الف) مدل ترانشه زهکش (ب) ستون‌های آزمایشگاهی در طول آزمایش 77
شکل 3-13 تغییرات سرعت خروج آب از ستون‌های آزمایشگاهی و ترانشه زهکشی در طول دوره آزمایش 79
شکل 3-14 تغییرات درصد نیترات حذف شده نسبت به سرعت حرکت آب از ستون‌های مورد آزمایش 81
شکل 3-15 تغییرات ارتفاع آب پیزومترهای نصب شده در ترانشه زهکشی در طول دوره آزمایش 81
شکل 4-1 شماتیک مدل اجرا شده در آزمایشگاه 87
شکل 4-2 مدل اجرا شده در آزمایشگاه 87
شکل 4-3 بطری‌های نمونه‌های آزمایشگاهی به همراه درپوش‌های لاستیکی و درپوش‌های آلومینیومی 90
شکل 4-4 (الف) نحوه خارج نمودن گاز از بطری‌ها و (ب) دستگاه گازکروماتوگراف 90
شکل 4-5 تغییرات سرعت عبور آب در طول دوره مطالعه 92
شکل 4-6 تغییرات نیترات خروجی از ستون‌های آزمایشگاهی 93
شکل 4-7 تغییرات کربن قابل دسترس در ستون‌های مورد مطالعه در طول دوره مطالعه 96
شکل 4-8 تغییرات شدت دنیتریفیکاسیون اولیه و پتانسیل اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه 100
شکل 4-9 تغییرات شدت دنیتریفیکاسیون اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه (الف) شدت دنیتریفیکاسیون اولیه (ب) شدت دنیتریفیکاسیون پتانسیل 101
شکل 4-10 تغییرات شدت دنیتریفیکاسیون اندازه‌گیری شده در ستون‌های آزمایشگاهی، شدت دنیتریفیکاسیون اولیه و شدت دنیتریفیکاسیون پتانسیل اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه 103
شکل 4-11 فعالیت آنزیم‌های دنیتریفیکاتور در طول دوره مطالعه 106
شکل 4-12 تغییرات شدت دنیتریفیکاسیون و فعالیت آنزیم‌های دنیتریفیکاتور در برابر کربن قابل دسترس 107
شکل 4-13 تغییرات فعالیت آنزیم‌های دنیتریفیکاتور با تغییرات سرعت 109
شکل 4-14 روند تغییرات فعالیت آنزیمی دنیتریفیکاتورها نسبت به تغییرات کربن قابل دسترس 110
شکل 4-15 تغییرات کربن قابل دسترس با تغییرات سرعت 111

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول 2-1 آنالیز ترکیبات فیبری مواد کربنی به کار رفته در این آزمایش 26
جدول 2-2 خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه 27
جدول 2-3 متوسط نیترات حذف شده (درصد) درطول دوره نمونه‌برداری 45
جدول 2-4 میزان نیترات حذف شده (درصد) در پایان دوره نمونه‌برداری 45
جدول 2-5 تجزیه واریانس درصد نیترات حذف شده از ستون‌های آزمایشگاهی در طول دوره آزمایش 47
جدول 2-6 مقایسه میانگین درصد نیترات حذف شده تیمارهای مختلف 48
جدول 3-1 مقایسه میانگین سرعت جریان عبور آب درتیمارهای مختلف 80
جدول 4-1 متوسط فعالیت آنزیم‌های دنیتریفیکاتور، شدت دنیتریفیکاسیون و کربن قابل دسترس اندازه‌گیری شده تیمارهای مختلف در طول دوره مطالعه 96
جدول 4-2 شدت حذف نیترات در ستون‌های آزمایشگاهی در طول دوره مطالعه 99
جدول 4-3 مقادیر اندازه‌گیری‌های انجام شده شدت دنیتریفیکاسیون در آزمایشگاه 102
جدول 4-4 نتایج مطالعات انجام گرفته توسط محققان دیگر 105

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات سیستم‌های زهکشی، آبشویی نیترات و ورود آن به منابع آب سطحی می‌باشد. افزایش غلظت نیترات در منابع آب باعث ایجاد مشکلاتی برای انسان‌ها و حیوان‌ها می‌گردد. فرایند دنیتریفیکاسیون یکی از راهکارهای مناسب برای حذف نیترات از آب‌های آلوده به نیترات می‌باشد. این فرایند در خاک‌های کشاورزی به علت کمبود مواد کربنی با محدودیت مواجه است. تأمین کربن مورد نیاز در خاک باعث افزایش این فرایند و حذف بیشتر نیترات از محیط می‌گردد. استفاده از مواد آلی به عنوان ماده کربنی ارزان قیمت و قابل دسترس یکی از بهترین گزینه‌ها برای این هدف می‌باشد. تحقیق حاضر با اهداف: کاربرد مواد مختلف کربنی شامل ذرات چوب، پوشال جو، پوسته شلتوک برنج و برگ نخل خرما به عنوان فیلترهای زیستی در دیواره‌های دنیتریفیکاسیون در کاهش نیترات خروجی، بررسی تأثیر بار فشاری ورودی (1 و 2 متر)، ضخامت فیلترهای زیستی (30 و 60 سانتی‌متری) و غلظت نیترات آب زهکشی (40 و 160 میلی‌گرم در لیتر) در کاهش نیترات آب زهکشی در تیمارهای مختلف، بررسی تغییرات نیترات وآمونیوم آب خروجی از زهکش‌ها در طول دوره مطالعه (نه هفته)، بررسی قرار گیری مواد کربنی در کنار لوله زهکش بر پارامترهای هیدرولیکی و همچنین میزان حذف نیترات و مطالعه شدت دنیتریفیکاسیون انجام شده توسط مواد کربنی انجام پذیرفت. این تحقیق در سه مطالعه جداگانه انجام گرفت. نتایج مطالعه اول که در آزمایشگاه و به صورت ستونی انجام شد نشان داد که همه تیمارهای مواد کربنی مورد مطالعه توانستند در پایان دوره، بیش از 70 درصد از نیترات ورودی را از محیط حذف نمایند، در حالی که تیمار شاهد که فقط از خاک پر شده بود، تنها توانست 40 درصد از نیترات ورودی را از محیط حذف نماید. در طول دوره مطالعه، تیمارهای برگ نخل خرما و پوشال جو بهترین عملکرد در حذف نیترات را داشتند. میزان حذف نیترات در طول دوره نمونه‌برداری به ترتیب برای ستون‌های برگ نخل خرما، پوشال جو، پوسته شلتوک برنج و ذرات چوب بین86-69، 74-62، 68-47 و 55-32 درصد بود. در حالی که در این مدت میزان حذف نیترات توسط تیمار شاهد در حدود 26 درصد بود. بار فشاری ورودی و ضخامت بیوفیلترها در سطح 1% دارای تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیترات حذف شده داشتند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افزایش غلظت نیترات ورودی بر درصد نیترات حذف شده در سطح 1% دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد و با افزایش غلظت نیترات درصد حذف نیترات افزایش می‌یابد. غلظت آمونیوم در خروجی همه ستون‌های آزمایشی دارای مواد کربنی و حتی در ستون‌های شاهد در طول آزمایش به مقدار کمی افزایش یافت که نشان دهنده تولید آمونیوم در طول دوره آزمایش می‌باشد. در مطالعه دوم با ساخت یک مدل ترانشه زهکش به تأثیر قرارگیری پوشال جو به عنوان فیلتر در حذف نیترات در کنار لوله زهکش پرداخته شد. نتایج نشان داد این تیمار بیش از 60 درصد از نیترات ورودی را از محیط حذف نمود. همچنین قرارگیری پوشال جو به عنوان فیلتر در کنار لوله زهکش تأثیر منفی بر پارامترهای هیدرولیکی جریان عبوری از لوله زهکش نداشت. در مطالعه سوم با ثابت نگه داشتن سرعت ستون‌ها، در دوره‌های مختلف شدت دنیتریفیکاسیون در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. شدت دنیتریفیکاسیون پتانسیل اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به ترتیب برای ذرات چوب، پوشال جو، پوسته شلتوک برنج، برگ نخل خرما برابر با 1507/7، 3804/5، 3503/9 و 5126/6 نانوگرم در سانتی‌متر مکعب در ساعت به دست آمد. شدت دنیتریفیکاسیون به دست آمده در این مطالعه نشان داد که دنیتریفیکاسیون عامل مهم و اصلی در حذف نیترات از محیط می‌باشد. با توجه به نتایج به دست می‌توان بیان داشت که استفاده از مواد کربنی می‌تواند روشی مناسب و ارزان قیمت جهت حذف نیترات از زه‌آب زهکش‌های زیرزمینی باشد و به این صورت از آلوده شدن آبهای سطحی جلوگیری نمود.

واژه‌های کلیدی: آبشویی نیترات، زهکش‌های زیرزمینی، دنیتریفیکاسیون، بیورآکتورها، ذرات چوب، برگ نخل خرما، پوشال جو، پوسته شلتوک برنج.

فصل اول
مقدمه و بررسی منابع

1-1 اهمیت سیستم‌های زهکشی و مشکلات ناشی از وجود آنها

توسعه روز افزون و الزامی آبیاری در 100 سال اخیر سبب شده است که مقادیر بسیار زیادی آب به طرق مختلف هدر رفته و به آب‌های زیرزمینی بپیوندد و به این ترتیب در اکثر موارد ماندابی شدن اراضی و یا شور شدن خاک را به همراه داشته باشد [2]. بهره‌برداری مجدد از خاک‌هایی که تحت آبیاری مداوم قرار داشته و بخصوص خاک‌های شور و سدیمی، مستلزم اعمال روش‌های مناسب زهکشی و اصلاح اراضی خواهند بود. این مسئله بخصوص در شرایط آبیاری با آب شور و یا در اراضی ساحلی که تحت تأثیر جذر و مد دریا قرار دارند، اهمیت بیشتری پیدا می کند [5].

وجود خاک‌های شور و سدیمی یکی از مشکلات عمده مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. در حال حاضر هر ساله مساحت زیادی از اراضی دنیا در اثر شوری و یا زه‌دار شدن غیر قابل استفاده می‌شوند [8]. در ایران 50 درصد از اراضی کشاورزی دچار مشکل شوری یا سدیمی می‌باشند که روز به روز به وسعت این اراضی افزوده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که ایران پس از چین، پاکستان و هندوستان بیشترین مساحت اراضی شور در آسیا را دارد [8].

زهکشی و آبشویی مناسب مؤثرترین روشی است که در شرایط کنونی می‌تواند برای جلوگیری از روند شور شدن اراضی به‌کار برده شود. به منظور اصلاح خاک‌های شور، از روش‌های معمول آبشویی

شامل آبیاری غرقابی و بارانی استفاده می‌شود. در این روش‌ها برای کاهش بیشتر شوری خاک نیاز به افزایش بیشتر مقدار آب کاربردی است که این آب مازاد صعود سطح آب‌های زیرزمینی و به دنبال آن مشکلات زهکشی را به دنبال خواهد داشت [7].

سیستم‌های زهکشی در مزرعه شامل زهکشی سطحی[1]، زهکشی زیرسطحی[2] و یا ترکیبی از این دو نوع سیستم می‌باشند که برای خارج کردن آب‌های سطحی در مزرعه و یا به منظور تخلیه یا کنترل آب زیرزمینی و یا خارج نمودن و کنترل نمک‌ها از خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند [5].

یکی از مهم‌ترین مشکلات سیستم‌های زهکشی، آبشویی مواد مغذی خاک است. اگرچه آبشویی املاحی از قبیل نمک‌ها، یکی از اهداف اصلی نصب سیستم‌های زهکشی می‌باشد، ولی آبشویی املاح دیگری از قبیل آفت‌کش‌ها و کودها و وارد شدن آنها به آب‌های سطحی یکی از بزرگترین معایب این سیستم‌ها می‌باشد. وارد شدن این مواد به آب‌های سطحی باعث آلوده شدن آب‌های سطحی و همچنین ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌گردد [41، 55 و 171].

از جمله مهم‌ترین آلودگی‌های ناشی از توسعه کشاورزی می‌توان به آلودگی‌های ناشی از کودهای نیتروژنه نظیر نیترات اشاره نمود. در طول 20 سال گذشته، نگرانی از حرکت نیتروژن ورودی از مزارع کشاورزی به منابع آب و افزایش مشکلات ناشی از افزایش غلظت نیتروژن در این منابع از قبیل کاهش اکسیژن در آب بسیار زیاد شده است [107]. از جمله مهم‌ترین عواملی که باعث افزایش آبشویی نیترات در منابع آبی می‌گردند می‌توان به کاهش تناوب کاشت، افزایش شخم، زهکشی مزارع کشاورزی و افزایش کاربرد کودهای نیتروژنه اشاره نمود [135].

پس از جنگ جهانی دوم میزان استفاده از کودهای نیتروژنه به طور قابل توجهی افزایش یافت. افزایش کودهای کشاورزی همراه با افزایش نصب سیستم‌های زهکشی در مزارع بود. در طی این سال‌ها زهکشی به منظور افزایش تولید و ایجاد شرایط مناسب برای کشت در مزارع کشاورزی به طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار گرفت. این تغییرات به طور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش تولیدات کشاورزی گردید. با افزایش این فعالیت‌ها، میزان آبشویی نیترات به آب‌های سطحی نیز افزایش یافت.

سِئونا و کاوپی (1980) نشان دادند که با تغییر سیستم زهکشی سطحی به زیرزمینی، غلظت نیتروژن کل و نیتروژن نیتراتی در آب‌های سطحی به شدت افزایش یافت [140]. قبل از تغییر سیستم زهکشی، غلظت نیتروژن کل و نیتروژن نیتراتی در سیستم زهکشی سطحی به ترتیب بین 1/4 تا 3/6 میلی‌گرم در لیتر

1- Surface drainage
2- Subsurface drainage

و 0/68 تا 1/7 میلی‌گرم در لیتر متغیر بود که پس از نصب سیستم زهکش زیرزمینی غلظت نیتروژن کل و نیتروژن نیتراتی به ترتیب بین 4/9 تا 20 میلی‌گرم در لیتر و 2 تا 17 میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. سیستم زهکشی زیرزمینی با افزایش حرکت جریان‌های مازاد در زیر سطح خاک و ایجاد شرایطی برای نفوذ، باعث کاهش روان‌آب‌های سطحی می‌گردد. سیستم‌های زهکش‌های زیرزمینی زه‌آب‌ها را به طور مستقیم وارد جریان‌های سطحی و یا حوضچه‌های تبخیر می‌کنند. در صورتی که این زه‌آب‌ها به طور مستقیم وارد آب‌های سطحی شوند، نیتروژن و فسفر انتقالی از طریق این سیستم‌ها باعث آلودگی این آب‌ها می‌گردند. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که سیستم‌های نصب شده در عمق یک متری از سطح زمین می‌توانند بخش قابل ملاحظه‌ای از نیترات را از خاک خارج نموده و باعث آلودگی آب‌های سطحی گردند. مطالعات انجام شده نشان داده است که بخش قابل توجهی از نیترات و بخش کمی از فسفر انتقالی به آب‌های سطحی به طور مستقیم مربوط به جریان‌های جانبی می‌باشد که توسط سیستم زهکش‌های زیرزمینی انجام می‌شود [35، 110، 111، 115 و 143]. همچنین تحقیقات نشان داده است که آبشویی نیترات از مزارع دارای سیستم‌های زهکشی نواحی مرکزی آمریکا عامل اصلی افزایش نیترات در خلیج مکزیک می‌باشد. بیشتر سیستم‌های زهکشی نصب شده در این مناطق شامل سیستم‌های زهکشی زیرزمینی و آزاد می‌باشند [10 و 107].

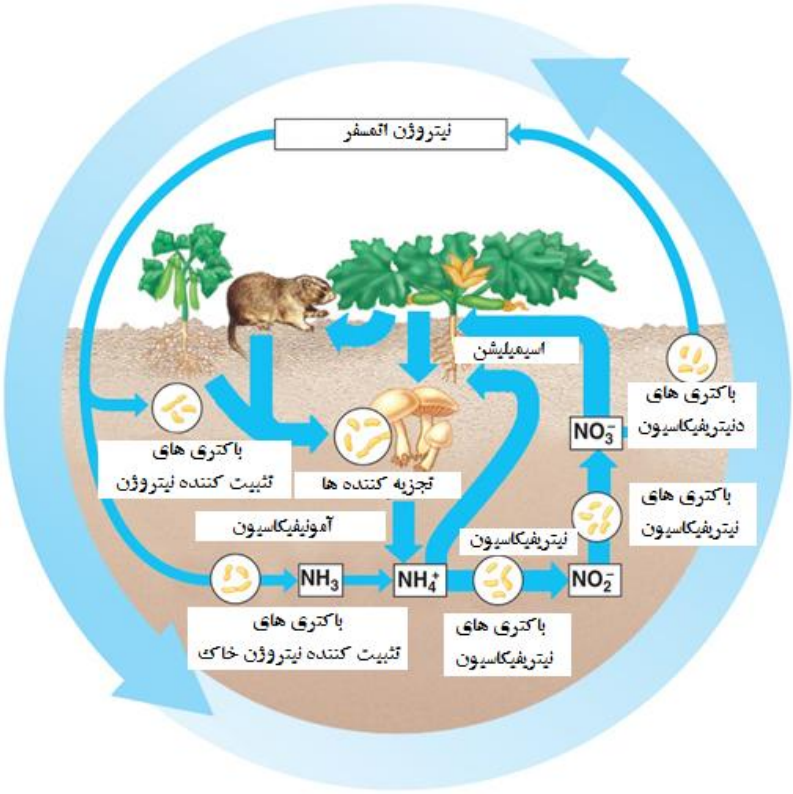
2-1 نیتروژن

نیترژون یکی از عناصر اصلی برای رشد و تولید گیاهان می‌باشد و به چهار فرم اصلی شامل گاز نیتروژن، نیتروژن آلی، آمونیوم (NH_4^+) و نیترات (NO_3^-) در خاک یافت می‌شود و عمدتاً به صورت نیترات و در شرایط احیایی به شکل آمونیوم جذب گیاه می‌گردد. این عنصر علاوه بر شرکت در ساختمان پروتئین‌های گیاه، قسمتی از کلروفیل را هم تشکیل می‌دهد. از آنجایی که این عنصر به حد کافی در خاک وجود ندارد، جهت تأمین نیاز گیاهان، کشاورزان مجبور به استفاده از کودهای نیتروژنه در خاک می‌باشند [102].

نیترات

نیترات یکی از آنیون‌های معدنی است که در نتیجه اکسیداسیون نیتروژن عنصری حاصل می‌شود. این ماده یکی از عناصر بسیار ضروری برای سنتز پروتئین در گیاهان است و نقش مهمی در چرخه نیتروژن بر عهده دارد. نیترات از طریق اکسیداسیون طبیعی تولید می‌گردد و بنابراین در تمام محیط زیست یافت می-

شود. در بیشتر محیط‌های طبیعی، غلظت نیتروژن نیترات در آب زیرزمینی کمتر از 3 میلی‌گرم در لیتر می‌باشد [147]. در سیستم خاک، نیترات به طور مداوم از طریق فرایندهای طبیعی شامل معدنی شدن و نیتریفیکاسیون مواد معدنی خاک به وجود می‌آید. شکل 1-1 چرخه نیتروژن در طبیعت را نشان می‌دهد. منابع دیگر نیترات خاک شامل کودهای شیمیایی، کودهای حیوانی، پساب تصفیه‌خانه‌ها، فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی، ته‌نشست‌های اتمسفری و تثبیت نیتروژن می‌باشد که همگی آنها می‌توانند از طریق نیتریفیکاسیون و معدنی شدن به نیترات تبدیل و در اختیار گیاهان قرار گیرند. با این حال بیشترین منبع نیتروژن خاک ناشی از مصرف بیش از نیاز گیاه کودهای حیوانی و یا کودهای شیمیایی می‌باشد که باعث تجمع نیترات در پروفیل خاک و به دنبال آن افزایش پتانسیل آبشویی می‌گردد [58].



شکل 1-1 چرخه کامل نیتروژن در طبیعت

نیترات به دلیل قابلیت حلالیت بسیار بالا و عدم نگهداشت توسط خاک، در صورت کاربرد زیاد و عدم جذب توسط گیاهان، در اثر نفوذ آب به خاک از طریق آبیاری و یا بارندگی به خارج از ناحیه ریشه حرکت می‌کند. در نتیجه این فرایند، غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی در مناطق تحت کشت به سرعت

افزایش می‌یابد. در صورتی‌که در این مناطق زهکش‌های زیرزمینی نصب گردد، نیترات شسته شده از طریق آنها به منابع آب‌های سطحی انتقال می‌یابد [19، 46 و 86].

3-1 تأثیر زهکش‌های زیرزمینی بر آبشویی نیترات

مدیریت فعلی کودها در کشاورزی اغلب در مقایسه با سیستم‌های طبیعی خیلی مؤثر نبوده‌اند. بنابراین باعث افزایش غلظت آلاینده‌ها در منابع آبی می‌گردند [24، 111، 112 و 131]. مطالعات نشان داده است که آلودگی‌های غیر نقطه‌ای عامل اصلی کاهش کیفیت آب‌ها در بخش مرکزی آمریکا می‌باشد [84 و 161]. سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[1] درسال 1992 با مطالعه کیفیت آب رودخانه‌ها در آمریکا بیان داشت که 72 درصد از مشکلات کیفی آنها مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد [161].

سیستم‌های زهکشی مزرعه می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر کیفیت آب‌های سطحی داشته باشند، زیرا آنها مشابه یک سری خطوط لوله و یا کانال انتقالی کم عمق به آب‌های سطحی متصل می‌باشند. این سیستم‌ها سرعت خروج و یا رسیدن زه‌آب به آب‌های سطحی و یا زیرزمینی را نسبت به حالت طبیعی افزایش می‌دهند [11، 23، 68 و 79]. مطالعات متعددی وجود دارد که در آنها به اهمیت تلفات جانبی نیترات پرداخته شده است [11، 17، 38، 47، 56، 72 و 95]. جکسون و همکاران (1973) نشان دادند که حرکت نیترات در خاک خیلی سریع است و می‌تواند به راحتی از پروفیل خاک شسته و آبشویی گردد و به دنبال آن از طریق زهکش‌های زیرسطحی به آب‌های سطحی انتقال یابد [66]. آنها همچنین دریافتند که مقدار کمی از تلفات نیترات در فضاهای سبز از طریق روان‌آب‌های سطحی انتقال یافته و بیشترین تلفات و انتقال از طریق زهکش‌های زیرسطحی انجام شد [66]. مطالعات انجام شده در رودخانه می‌سی-سی‌پی نشان داد که افزایش غلظت نیترات در این رودخانه در اثر ورود زه‌آب مناطق کشاورزی بالادست می‌باشد و این افزایش سبب کاهش اکسیژن در خلیج مکزیک شد [107 و 159]. علاوه بر این تحقیقات در آمریکا نشان داده است که در مناطق تحت کشت ذرت، بیشترین مقدار نیترات از طریق سیستم‌های زهکشی زیرزمینی وارد آب‌های سطحی می‌گردد [111 و 172]. بیکر و جانسون (1981) متوسط غلظت نیتروژن نیتراتی در خروجی زهکش‌های زیرزمینی مزارع ذرت و سویا را 21 میلی‌گرم در لیتر به دست آوردند [11]. همچنین جاینس و همکاران (1999) در مطالعه‌ای در حوضه‌ای به مساحت 5130 هکتار در مرکز آیووا مشاهده نمودند که غلظت نیتروژن نیتراتی در خروجی سیستم زهکشی مزارع کشاورزی در بیشتر مواقع بالاتر از استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای آب

1- United States Environmental Protection Agency

آشامیدنی بود [69]. نتایج آنها نشان داد که میزان تلفات نیتروژن نیتراتی بین 4 تا 66 کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد [69 و 162]. نتایج مطالعات هاتفیلد و همکاران (1998) و هاتفیلد و کامباردلا (2001) نشان داد که تلفات نیتروژن رابطه مستقیمی با بارندگی دارد و به طور متوسط 45 درصد از بارندگی سالانه توسط شبکه زهکش‌های زیرزمینی از پروفیل خاک خارج می‌شود. این نتایج اهمیت خطوط زهکش را به عنوان اصلی‌ترین مسیر برای انتقال علف‌کش‌ها و نیترات به آب‌های سطحی نشان می‌دهد [58 و 59].

4-1 مشکلات ناشی از آبشویی نیترات

از اواخر سال 1970، افزایش غلظت نیترات در رودخانه‌ها و جریان‌های سطحی در جهان روندی رو به رشد دارد. سازمان بهداشت جهانی غلظت نیتروژن نیتراتی برای آب شرب را 10 میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته است [162]. در ایران، در ویرایش پنجم استاندارد شماره 1053 مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی حداکثر غلظت مجاز نیترات در آب آشامیدنی 50 میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته شده است [3].

افزایش غلظت نیترات در آب آشامیدنی ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی برای انسان‌ها و حیوان‌ها گردد و علاوه بر آن هزینه‌های مورد نیاز به منظور حذف نیترات از آب برای مصارف شرب را افزایش دهد [3، 147، 160 و 173]. یکی از تأثیرات منفی افزایش غلظت نیترات در آب شرب، بیماری متموگلوبینمیا[1] در نوزادان است. در این بیماری، نیترات در معده نوزاد به نیتریت تبدیل شده و وارد خون می‌گردد. نیتریت مولکول‌های اکسیژن را در سلول‌های قرمز محصور کرده و باعث کاهش اکسیژن و ایجاد خفگی در کودک می‌گردد. همچنین نوجوانان بین 12 تا 14 سال که در معرض آب‌های شرب با بیش از 105 میلی‌گرم در لیتر نیترات قرار داشته‌اند، نسبت به نور و صداها با تأخیر واکنش نشان می‌دهند [32، 42، 83 و 129].

مصرف آب‌های آلوده به نیترات توسط حیوان‌ها نیز می‌تواند مسمومیت نیتراتی را در آنها ایجاد نماید. تحقیقات نشان داده است که مصرف آب‌های با نیترات بین 100 تا 300 میلی‌گرم در لیتر ممکن است به چهارپایان آسیب برساند [43 و 81]. همچنین مصرف آب دارای غلظت بیش از 300 میلی‌گرم در لیتر نیترات توسط حیوان‌ها، مسمومیت نیترات را به دنبال دارد و باعث مرگ حیوان‌ها می‌گردد . در غلظت-های زیاد نیترات، مسمومیت نیترات باعث افزایش تلفات جنین و همچنین تولد گوساله‌های نابالغ، کاهش شیردهی و کمبود ویتامین A می‌گردد. بنابراین پیشنهاد شده است که غلظت نیترات در آب آشامیدنی حیوان‌ها بیش از 100 میلی‌گرم در لیتر نباشد [43 و 81].

1- Methemoglobinemia