توزیع شکل‌های نیتروژن در خاک‌های آهکی تحت کشت استان فارس و رابطه آنها با ویژگی‌های خاک

جعفر یثربی[۱]، نجف علی کریمیان[۱]، منوچهر مفتون[۱]، علی ابطحی[۱]، عبدالمجید رونقی[۱]، محمد تقی آساد[۲]

چکیده

به‌منظور اطلاع از چگونگی توزیع شکل‌های معدنی نیتروژن، تعیین هم‌بستگی بین این شکل‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، و به‌دست آوردن معادله‌هایی برای پیش‌بینی شکل‌ها با بهره‌گیری از ویژگی‌های خاک در خاک‌های آهکی استان فارس، ۲۵ نمونه خاک سطحی از مناطق عمده کشاورزی استان فارس انتخاب و شکل‌های نیتروژن زیر در آنها اندازه‌گیری شد: نیتروژن کل، نیتروژن نیتراته به روش فنل دی سولفونیک اسید؛ نیتروژن نیتراته استخراجی به‌وسیله پتاسیم کلرید ۲ مولار، آمونیوم استخراجی به‌وسیله محلول‌های پتاسیم کلرید ۲ مولار، سولفوریک اسید یک نرمال؛ سدیم هیدروکسید ۰/۲۵ نرمال، نیتروژن قابل اکسایش به‌وسیله محلول‌های پرمنگنات اسیدی و قلیایی و نیتروژن آمونیومی استخراجی به‌وسیله پتاسیم کلرید ۲ مولار در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد.

بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین مقدار نسبی شکل‌ها (نسبت به نیتروژن کل خاک) مربوط به شکل آزاد شده با پرمنگنات قلیایی (٤/٤٧ درصد) و کمترین آن مربوط به شکل تبادلی (۰/٦ درصد) بود. شکل‌های محلول در آب و تبادلی روی‌هم‌رفته کمتر از ۲ درصد نیتروژن را تشکیل می‌داد. بین نیتروژن کل خاک و شکل‌های آزاد شده با پرمنگنات اسیدی و پرمنگنات قلیایی، هم‌بستگی بالایی به ترتیب با ضریب‌های هم‌بستگی ۰/۹۳۱ و ۰/۸۵۰ به دست آمد. هم چنین بین مادهٔ آلی خاک و هر یک از شکل‌های نیتروژن کل خاک، آزاد شده با پرمنگنات اسیدی و آزاد شده با پرمنگنات قلیایی، معادله‌های خوبی به دست آمد که ارتباط تنگاتنگ این شکل‌ها را با مادهٔ آلی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ***نیتروژن محلول در آب، آمونیوم تبادلی، نیتروژن آلی، مادهٔ آلی، pH***

مقدمه

نیتروژن از عناصر ضروری گیاه است که نقش بسیار مهمی در تغذیه گیاه دارد. این عنصر در جزء ساختمان کلروفیل، جزء ترکیب ساختمانی نوکلئیک اسیدها (DNA و RNA) و در ساختمان پروتئین نقش‌های عمده‌ای دارد. همچنین افزایش دهنده فعالیت و توسعهٔ ریشه بوده و در جذب سایر عناصر غذایی، و برای مصرف کربوهیدرات‌ها مورد نیاز است (۲۰). پژوهش انجام شده در مورد نیتروژن بیش از

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، استادان و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. استاد زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

سایر عناصر است. در کشاورزی مدرن، کمبود نیتروژن بیشتر از هر عنصر دیگر، عامل محدود کننده رشد می‌باشد. این عنصر به مقدار زیاد به‌وسیله گیاهان از خاک جذب می‌شود. بنابراین تأمین نیتروژن قابل استفاده کافی در خاک برای رشد بهینه گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است(۲). این موضوع با توجه به سهولت هدرروی نیتروژن از طریق آب‌شویی، فرسایش، آبدوی (Runoff)، نیترات زدایی و تصعید از اهمیت بیشتری برخوردار است (۲ و ۱۵)، بنابراین لازم است که این عنصر غذایی به تکرار به خاک اضافه شود. نیتروژن می‌تواند به‌صورت NH_3 از برگ‌های گیاه به اتمسفر وارد شده یا به صورت نیترات، آمونیوم و یا ترکیبات آلی محلول از طریق ترشحات ریشه خارج شود. آب خارج شده از شاخ و برگ گیاه [تعریق (Guttation)] نیز حاوی نیتروژن است (۱۱ و ۲۰).

نیتروژن در خاک به شکل‌های مختلفی وجود دارد و قابلیت بهره‌گیری از این شکل‌ها برای گیاه یکسان نیست. شکل‌های نیتروژن شامل نیتروژن آلی، تبادلی و محلول در آب (آمونیوم و نیترات) و آمونیوم تثبیت شده به‌وسیله بعضی از رس‌های سیلیکاتی خاک است. مجموع این شکل‌ها نیتروژن کل خاک را تشکیل می‌دهد (۱).

اطلاع از توزیع شکل‌های نیتروژن و چگونگی تغییر و تبدیل آنها به یکدیگر در خاک می‌تواند به روشن ساختن سرنوشت کودهای نیتروژنه کمک کرده و راهنمایی برای برآورد مقدار مصرف آنها باشد. با تنظیم مقدار مصرف بهینه می‌توان از هدر رفتن انرژی، سرمایه و نیز از آلوده ساختن محیط زیست جلوگیری کرد.

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری شکل‌های نیتروژن به کار می‌رود. این روش‌ها را می‌توان به سه دسته عمده تقسیم کرد:

الف) روش‌های زیستی(Biological) هوازی یا بی‌هوازی که نیتروژن آلی معدنی شده را در یک مدت معین به‌صورت آمونیوم و نیترات یا آمونیوم نشان می‌دهد(۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۲ و ۲۷).

ب) اندازه‌گیری بخشی از نیتروژن معدنی شده از مادهٔ آلی خاک به‌وسیله مواد شیمیایی (۲، ۹، ۱۰، ۱۲ و ۱۳).

ج) اندازه‌گیری مستقیم نیتروژن معدنی خاک (۷).

شکل‌های عمده نیتروژن معدنی خاک به صورت تبادلی (NH_4^+)، کاملاً محلول در آب (NO_3^-) و نیتریتی (NO_2^-) است. پویایی و تحرک شکل نیتراتی (NO_3^-) زیاد بوده، بنابراین می‌تواند به راحتی شسته شده و به افق‌های پایینی خاک انتقال یابد. در حالی که شکل تبادلی، جذب کلوئیدهای خاک شده و پویایی کمتری دارد. هم‌چنین به‌وسیله باکتری‌های نیترات‌ساز به نیترات تبدیل شده و یا این‌که جذب گیاه می‌شود. شکل نیتریتی معمولاً در خاک ناچیز است، مگر این‌که آمونیوم یا کودهای حاوی آمونیوم به خاک‌های خنثی و یا قلیایی اضافه شده باشد (۱۹). در ضمن آمونیوم می‌تواند بین لایه‌های برخی از رس‌های ۲:۱ به‌خصوص ورمی‌کولیت و ایلیت (میکای هیدراته) تثبیت شود که این شکل را آمونیوم غیرتبادلی می‌گویند (۱٤، ۱۹، ۲۱و ۲٤). تفاوت بین نیتروژن کل خاک و مجموع شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی، شکل آلی نیتروژن است که بخش عمده نیتروژن کل را تشکیل می‌دهد (۷). مقدار نسبی شکل آلی در افق‌های سطحی خاک بیشتر از افق‌های زیرین آن است، حال آن‌که شکل غیرتبادلی در افق‌های پایینی بیشتر می‌باشد (۲۱). بنا بر گزارش استیونسون (۲۹) شکل‌های نیتروژن آلی در بر گیرنده آمینو اسید، قندهای آمین‌دار، آمونیومی، غیر محلول در اسید (Acid-insoluble-N) و قابل هیدرولیز ناشناخته (Hydrolyzable unknown N) هستند.

پژوهندگان بسیاری با بهره‌گیری از مواد شیمیایی، بخشی از نیتروژن آلی خاک را خارج و با نیتروژن قابل معدنی شدن زیستی به صورت هوازی یا بی‌هوازی مقایسه کرده‌اند. استانفورد و اسمیت (۲۸) در ٦۲ خاک آهکی و اسیدی با استفاده از پرمنگنات پتاسیم اسیدی شده، شکل قابل اکسایش نیتروژن آلی را خارج کرده و نشان دادند که این نیتروژن به راحتی با روش‌های زیستی، معدنی می‌شود. پژوهندگان دیگری نیز از این شکل در بررسی‌های خود استفاده کردند(۱، ۲، ۱۳ و ۱۷). هاداس و همکاران (۱٤) در افق سطحی خاک‌های

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

آهکی، مقدار نسبی این شکل (نسبت به نیتروژن کل) را ۸/۹ درصد و در خاک‌های غیر آهکی ۷/۳ درصد به دست آوردند. یثربی و کریمیان (۱) مقدار نسبی این شکل را در ۱٤ سری خاک آهکی منطقه زیر سد درودزن استان فارس، ۱۲/۱ درصد گزارش کردند. استانفورد (۲٦) در ٦۲ خاک آهکی و اسیدی، شکل قابل اکسایش نیتروژن را به‌وسیله پرمنگنات پتاسیم قلیایی شده خارج کرده و نشان دادند که این نیتروژن با نیتروژن قابل معدنی شدن به صورت زیستی ارتباط معنی‌داری دارد. پژوهندگان دیگری نیز این شکل از نیتروژن را به‌کار گرفته‌اند (۲، ۱۳ و ۲۳).

سینگ و همکاران (۲۳) مقدار نسبی این شکل را در ۲۰ نمونه از خاک‌های قلیایی هند، ۲۲/۸ درصد گزارش کرده‌اند. جیانلو و برمنر (۱۲ و ۱۳) در ۳۰ نمونه از خاک‌های آهکی و غیرآهکی با استفاده از پتاسیم کلرید در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، شکلی از نیتروژن را به نام پتاسیم کلرید داغ خارج کردند و مقدار نسبی آن را ۰/۹۳ درصد به‌دست آوردند. پاراماسیوام و بریتن بک (۲۱) مقدار نسبی شکل‌های نیتروژن را در افق سطحی خاک‌های اسیدی می‌سی‌سی‌پی بدین صورت گزارش کردند: آلی ۸٤/۹، غیرتبادلی ۱۳/٦، تبادلی و محلول هرکدام ۰/۳ درصد.

در ایران (به‌جز یک مورد) گزارش منتشر شده‌ای از توزیع شکل‌های نیتروژن در دسترس نیست. یثربی و کریمیان (۱) توزیع شکل‌های نیتروژن را در ۱٤ سری از خاک‌های آهکی منطقه زیر سد درودزن استان فارس بررسی کرده و نشان دادند که نیتروژن معدنی شده به‌وسیله پرمنگنات اسیدی، شکل غالب نیتروژن در این خاک‌ها را تشکیل می‌دهد. پژوهش یثربی و کریمیان(۱) در محدوده کوچکی از خاک‌های استان فارس بود. در ضمن آنان دراندازه‌گیری شکل‌های نیتروژن، فقط از شش روش شیمیایی بهره‌گیری کرده‌اند. بنابراین انجام یک پژوهش گسترده در منطقه وسیع‌تری از خاک‌های استان فارس لازم به‌نظر می‌رسید. بنابراین پژوهش حاضر با هدف‌های زیر به اجرا در آمد: ۱) ارزیابی توزیع شکل‌های نیتروژن با ۹ روش شیمیایی در شماری از خاک‌های مهم کشاورزی استان فارس، ۲) برآورد هم‌بستگی بین این شکل‌ها با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، و ۳) به‌دست آوردن معادله‌هایی برای پیش‌بینی شکل‌ها با بهره‌گیری از ویژگی‌های خاک. بدین ترتیب، ضمن بررسی وضعیت شکل‌های نیتروژن در شمار بیشتری از خاک‌های استان با شرایط متنوع‌تر، هم‌بستگی‌ها و معادله‌های رگرسیون حاصل، از سطح اعتماد بیشتری برخوردار خواهد بود.

مواد و روش‌ها

شمار ۲۵ نمونه خاک از افق سطحی(۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) از نقاط مختلف استان فارس که از لحاظ میزان نیتروژن کل، مادهٔ آلی و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت بودند، انتخاب و پس از خشک کردن در هوا و عبور از الک ۲ میلی‌متری، ویژگی‌های آنها مانند مقدار رس، pH، مادهٔ آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل با روش‌های معمول آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. نام سری، رده بندی و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. این خاک‌ها از مناطقی که طی سال‌های گذشته تحت کشت بوده‌اند، انتخاب شدند.

آزمایش برآورد شکل‌های نیتروژن

نمونه‌های خاک آورده شده از مزرعه‌ها، به‌منظور یکنواخت شدن، به‌خوبی مخلوط و بلافاصله خشک شدند تا از تغییرات شکل‌ها جلوگیری شود. سپس حدود یک کیلوگرم نمونه از هر خاک جدا شده و برای جلوگیری از جذب احتمالی آمونیاک از هوا در ظرف‌های پلاستیکی در بسته نگه‌داری شدند. به‌منظور برآورد شکل‌های نیتروژن از روش‌های زیر استفاده شد:

روش۱

اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک(STN) به روش میکرو کجلدال(٤ و ٥).

روش۲

اندازه‌گیری نیتروژن نیتراتی خاک(NPHEN) به روش فنل دی سولفونیک اسید(۸).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

جدول۱. نام سری، رده‌بندی، و بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

شماره خاک	نام سری	رده‌بندی *	رس ($g\ kg^{-1}$)	pH در تعلیق ۱ به ۲ خاک به آب	مادهٔ آلی ($g\ kg^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_{(+)}\ kg^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل ($g\ kg^{-1}$)
۱	چهارطاقی	CHF	۱۷۹	۸/۲۸	۸/۴	۱۱/۶۸	۳۳۶
۲	چیت گر	TCP	۱۷۳	۸/۳۴	۷/۸	۱۲/۲۲	۶۳۹
۳	رباط	THF	۱۵۹	۸/۰۴	۱۳/۶	۱۴/۱۳	۴۸۸
۴	دالین۱	CHF	۳۳۹	۸/۱۳	۱۵/۷	۲۲/۸۳	۲۵۳
۵	نظرآباد	ArCP	۳۹۲	۸/۱۱	۱۶/۳	۱۷/۹۳	۲۹۲
۶	سلمان	AeHP	۲۳۹	۸/۱۱	۱۳/۶	۱۴/۱۳	۵۵۹
۷	دالین۲	CHF	۲۳۹	۸/۰۹	۱۰/۹	۲۵/۰۰	۲۹۷
۸	امین آباد	THP	۲۱۹	۸/۰۳	۱۷/۱	۱۰/۳۵	۵۰۸
۹	فتح آباد	THP	۴۳۲	۸/۰۳	۱۷/۴	۱۴/۱۳	۳۳۴
۱۰	کوشکک۱	TCP	۵۰۶	۸/۰۸	۱۵/۳	۲۰/۶۵	۴۹۶
۱۱	کوشکک۲	TCP	۳۵۲	۷/۹۲	۲۲/۱	۱۴/۱۳	۴۷۱
۱۲	دانشکده۱	TCP	۵۰۶	۸/۱۱	۱۷/۸	۲۳/۱۰	۲۷۸
۱۳	ارژن	FHP	۲۱۳	۸/۱۸	۲۳/۱	۱۷/۹۳	۶۴۰
۱۴	دانشکده۲	TCP	۳۰۶	۸/۲۲	۲۳/۸	۲۰/۶۵	۵۵۳
۱۵	ده پاگاه۱	CHF	۳۵۲	۸/۱۸	۲۵/۱	۱۱/۱۴	۴۴۲
۱۶	مرودشت	THP	۴۱۲	۸/۰۲	۲۴/۸	۱۹/۸۴	۳۵۴
۱۷	کفترک۱	THP	۳۴۶	۷/۹۰	۲۱/۰	۱۵/۴۹	۵۲۹
۱۸	تخت جمشید	CHF	۴۳۲	۸/۰۶	۱۸/۸	۱۵/۴۹	۳۳۹
۱۹	دانشکده۳	TCP	۵۸۶	۸/۲۲	۱۷/۴	۲۵/۰۰	۴۵۸
۲۰	دانشکده۴	TCP	۴۸۶	۸/۱۲	۲۱/۰	۲۳/۴۰	۲۹۱
۲۱	ده پاگاه۲	CHF	۳۸۶	۸/۱۵	۲۲/۱	۲۳/۱۰	۶۲۹
۲۲	کفترک۲	THP	۴۰۶	۸/۰۵	۳۰/۰	۲۵/۸۲	۶۴۸
۲۳	کفترک۳	AqHP	۵۸۶	۸/۲۹	۳۱/۴	۱۹/۵۷	۶۴۸
۲۴	سپیدان	TCP	۴۶۶	۸/۰۶	۳۲/۴	۳۶/۱۴	۳۵۷
۲۵	دانشکده۵	TCP	۴۸۵	۸/۱۸	۳۵/۰	۳۰/۷۱	۲۶۸
دامنه تغییرات			۱۵۹-۵۸۶	۷/۹-۸/۳۴	۷/۸-۳۵/۰	۱۰/۳۵-۳۶/۱۴	۲۵۳-۶۴۸
میانگین			۳۶۸	۸/۱۲	۲۰/۰۸	۱۹/۳۸	۴۴۴

*AeHP= Aeric Haplaquepts; AqHP= Aquic Haploxerepts; ArCP= Aridic Calciustepts; CHF= Calcic Haploxeralfs; FHP= Fluventic Haploxerepts; TCP= Typic Calcixerepts;THF= Typic Haploxeralfs; THP= Typic Haploxerepts.

روش‌های ۳ و ٤

اندازه‌گیری نیتروژن آمونیومی (NNH4) و نیتراتی اولیه خاک (NKCL) (٦ و ۱۹).

۵ گرم خاک با ۵۰ میلی لیتر پتاسیم کلرید ۲ مولار به مدت یک ساعت تکان داده شده و سپس از کاغذ صافی گذرانده شد. در بخشی از عصاره، نیتروژن آمونیومی استخراجی به‌وسیلهٔ روش تقطیر بخاری با MgO اندازه‌گیری گردید. به‌منظور برآورد نیتروژن نیتراتی، به بخش دیگری از عصاره

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

بالا، MgO و آلیاژ دواردا(Devarda's alloy) افزوده شده و به‌وسیله تقطیر بخاری، نیتروژن آمونیومی اندازه‌گیری شد. اختلاف دو اندازه‌گیری بالا، نیتروژن نیتراتی است.

روش‌های۵ و ٦

اندازه‌گیری نیتروژن آمونیومی استخراجی بر اثر اکسایش مادهٔ آلی به‌وسیله محلول اسیدی پرمنگنات(۱۳، ۱۷ و ۲۸).

در این روش، یک گرم خاک در لولهٔ سانتریفوژ ریخته و بعد از اضافه کردن ۲۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید یک نرمال به‌مدت یک ساعت تکان داده و سانتریفوژ شده و محلول زلال رویی نگه‌داری گردید. نیتروژن آمونیومی رها شده با سدیم هیدروکسید ۱۰ مولار تقطیر بخاری شده و اندازه‌گیری شد. این نیتروژن، نیتروژن آمونیومی قابل هیدرولیز در اسید نامیده می‌شود (NHSULN). به باقی‌ماندهٔ خاک درون لولهٔ سانتریفوژ ۲۵ میلی‌لیتر محلول پتاسیم پرمنگنات ۰/۰۵ نرمال که در سولفوریک اسید یک نرمال تهیه شده افزوده شد و بعد از یک ساعت تکان دادن، سانتریفوژ گردید. نیتروژن آمونیومی استخراجی بر اثر اکسایش مادهٔ آلی با سدیم هیدروکسید۱۰ مولار، تقطیر بخاری شده و اندازه‌گیری شد (NHOX-NH).

روش‌های ۷ و ۸

اندازه‌گیری نیتروژن آمونیومی استخراجی بر اثر اکسایش مادهٔ آلی به‌وسیله محلول قلیایی پرمنگنات (پرمنگنات قلیایی شده) (۱۳ و ٢٦).

در این روش یک گرم خاک در فلاسک تقطیر ریخته و با ۱۰ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۰/۲۵ نرمال که حاوی ۰/۱ گرم پتاسیم پرمنگنات است، تیمار شد. نیتروژن آمونیومی به‌دست آمده بر اثر اکسایش مادهٔ آلی به‌وسیله چهار دقیقه تقطیر بخاری با MgO برآورد شد.

یک نمونه یک گرمی دیگر هم با ۱۰ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۰/۲۵ نرمال، بدون اضافه کردن پتاسیم پرمنگنات، به‌مدت چهار دقیقه با MgO تقطیر بخاری و نیتروژن آمونیومی به‌دست آمده اندازه‌گیری شد. این نیتروژن را نیتروژن قابل هیدرولیز در قلیا گویند (NAOHNB).

تفاوت دو مقدار اندازه‌گیری شده بالا نیتروژن آمونیومی رها شده بر اثر اکسایش مادهٔ آلی است(BOX-NB).

روش ۹

اندازه‌گیری نیتروژن آمونیومی معدنی شده از نیتروژن آلی خاک به‌وسیله پتاسیم کلرید ۲ مولار(HOTKCLN) به‌مدت چهار ساعت در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد (۱۲ و ۱۳).

در این روش، ۳ گرم خاک با ۲۰ میلی‌لیتر پتاسیم کلرید ۲ مولار در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت چهار ساعت در دستگاه Tecator AB Block Digestion حرارت داده شد. نیتروژن آمونیومی به‌وسیله تقطیر بخاری با MgO اندازه‌گیری شد.

یک نمونه ۳ گرمی دیگر با ۲۰ میلی‌لیتر پتاسیم کلرید ۲ مولار بدون حرارت دادن با MgO تقطیر بخاری شده و نیتروژن آمونیومی اولیه خاک اندازه‌گیری گردید. تفاوت دو اندازه‌گیری نیتروژن آمونیومی رها شده براثر حرارت دادن نمونه با پتاسیم کلراید است.

در برآورد شکل‌های نیتروژن از سه تکرار استفاده و میانگین آنها در محاسبات به‌کار برده شد. شاخص‌ها با استفاده از برنامهٔ آماری Minitab و SPSS و از طریق رگرسیون‌های ساده خطی و چند متغیره با یکدیگر و با ویژگی‌های خاک ربط داده شدند.

خلاصهٔ روش‌های اندازه‌گیری شکل‌های نیتروژن مورد بررسی، در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج و بحث

نام سری، رده‌بندی و نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی همراه با میانگین و دامنه تغییرات آنان در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از دامنه تغییرات نسبتاً وسیعی برخوردار است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

جدول۲. روش‌های اندازه‌گیری شکل‌های نیتروژن و علامت اختصاری آنها

شماره روش	شرح مختصر روش	علامت اختصاری	منابع
۱	نیتروژن کل خاک	STN	برمنر (۵)
۲	نیتروژن نیتراته خاک، روش فنل‌دی‌سولفونیک اسید	NPHEN	چاپمن و پرات (۸)
۳	نیتروژن نیتراته خاک، استخراجی به‌وسیله پتاسیم کلرید ۲ مولار	NKCL	برمنر و کی‌نی (۶)
۴	نیتروژن آمونیومی، استخراجی به‌وسیله پتاسیم کلرید ۲ مولار	NNH4	برمنر و کی‌نی (۶)
۵	نیتروژن آمونیومی خاک، استخراجی به‌وسیله اسید سولفوریک یک نرمال	NHSULN	استانفورد و اسمیت (۲۸)
۶	نیتروژن آمونیومی استخراجی بر اثر اکسایش مادهٔ آلی به‌وسیله محلول اسیدی پرمنگنات	NHOX-NH	استانفورد و اسمیت (۲۸)
۷	نیتروژن آمونیومی استخراجی به‌وسیله سدیم هیدروکسید ۰/۲۵ نرمال	NAOHNB	استانفورد (۲۶)
۸	نیتروژن استخراجی بر اثر اکسایش مادهٔ آلی به‌وسیله محلول قلیایی پرمنگنات پتاسیم	BOX-NB	استانفورد (۲۶)
۹	نیتروژن آمونیومی استخراجی به‌وسیله پتاسیم کلرید ۲ مولار در دمای ۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت چهار ساعت	HOTKCLN	جیانلو و برمنر (۱۲ و ۱۳)

شرح مختصری از روش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. جدول ۳، مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده به روش‌های نه‌گانه در خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. چنان‌که دیده می‌شود مقدار شکل‌های مختلف نیتروژن در خاک‌ها از دامنه تغییرات وسیعی برخوردار است که نشان‌دهنده توزیع متفاوت نیتروژن استخراج شده در خاک‌هاست(جدول‌های ۳ و ٤). علت اصلی این روند، انتخاب نمونه‌های خاک از مناطقی با میزان مادهٔ آلی با دامنه وسیع است (جدول ۱).

دامنه تغییرات نیتروژن کل خاک(STN) بین ٤٤٥ تا ۲۰۲۹ با میانگین ۱۱۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود (جدول ٤). مقدار این شکل را یثربی و کریمیان(۱) در ١٤ نمونه از خاک‌های آهکی منطقه زیر سد درودزن استان فارس، ٦٢٠ تا ١٦٤٠، با میانگین ۹۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند. پاراماسیوام و بریتن‌بک (۲۱) در خاک‌های اسیدی می‌سی‌سی‌پی ایالات متحده آمریکا، نیتروژن کل را ۷۲۰ تا ۲۵۲۰، با میانگین ۱۹۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام کردند. جیانلو و برمنر (۱۳) در خاک‌های اسیدی و آهکی ایوا ایالات متحده آمریکا، میانگین STN را ۲۱۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کردند. بالا بودن میانگین STN در گزارش‌های پژوهشگران نام‌برده، به سبب مادهٔ آلی زیاد در این خاک‌ها، به‌علت میانگین دمای سالیانه کمتر و بارش بیشتر می‌باشد(۳). استان فارس در منطقه خشک و نیمه خشک با دمای نسبتاً بالا واقع شده است. بنابراین برای تجمع ماده آلی شرایط مطلوبی ندارد.

شکل‌های NPHEN و NKCL، نشان‌دهنده شکل کاملاً محلول در آب (نیترات) است و در خاک‌های مورد بررسی به‌ترتیب از ۱/۲۵ تا ٤۲/۰ (با میانگین ۱۱/٦۷) و ۱/۸۵ تا ٤۰/۲۵ (با میانگین ۱۵/٤) میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تغییر می‌کند (جدول ٤). با توجه به میانگین به‌دست آمده در مورد هر دو روش دیده می‌شود که در مقایسه با خاک‌های مناطق مرطوب، مقدار آن بالاتر است. پاراماسیوام و بریتن‌بک(۲۱) در خاک‌های مناطق مرطوب و اسیدی میانگین شکل NKCL را ۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند، در حالی‌که یثربی و کریمیان (۱) در خاک‌های آهکی منطقه درودزن استان فارس، میانگین شکل‌های NPHEN و NKCL را به‌ترتیب ۷/٦ و ١٦/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آوردند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

جدول۳. مقدار نیتروژن خاک‌های تحت بررسی($mg\ kg^{-1}$)، اندازه‌گیری شده با روش‌های مختلف

شماره خاک	شماره روش[1]								
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۵۸۸	۳/۵	۸/۷۵	۶/۳۰	۱۵/۳۱	۲۵/۷۵	۹/۱۰	۲۳/۸۰	۱۹/۳۰
۲	۴۴۵	۳/۴۵	۷/۰۰	۲/۱۰	۵/۲۵	۱۹/۲۵	۳/۵۰	۱۵/۴۰	۱۴/۰۰
۳	۷۴۶	۶/۰۰	۱۲/۲۵	۶/۳۰	۱۹/۲۵	۳۱/۵۰	۴/۹۰	۳۳/۶۰	۲۱/۹۳
۴	۸۷۲	۲/۷۵	۳/۵۰	۵/۲۵	۱۴/۰۰	۳۱/۵۰	۷/۷۰	۴۲/۰۰	۲۴/۷۳
۵	۸۵۶	۲/۲۵	۷/۰۰	۹/۱۰	۱۴/۵۰	۲۶/۲۵	۱۰/۵۰	۴۳/۴۰	۲۴/۷۳
۶	۷۴۹	۱/۲۵	۳/۵۰	۷/۰۰	۲۴/۵۰	۲۶/۲۵	۹/۱۰	۳۲/۲۰	۱۷/۲۷
۷	۶۹۶	۶/۵۰	۱۰/۵۰	۱/۷۵	۸/۷۵	۲۱/۰۰	۳/۵۰	۳۳/۶۰	۱۹/۶۰
۸	۸۹۵	۱۱/۷۵	۱۷/۵۰	۱۸/۲۰	۴۰/۴۷	۵۰/۳۱	۲۷/۳۰	۴۲/۰۰	۱۴/۴۷
۹	۹۰۳	۲۴/۰۰	۲۹/۷۵	۳/۵۰	۱۵/۳۱	۳۳/۲۵	۱۰/۵۰	۳۷/۸۰	۱۴/۹۳
۱۰	۸۰۴	۵/۱۳	۷/۰۰	۱/۷۵	۱۲/۲۵	۳۱/۵۰	۴/۹۰	۳۹/۲۰	۲۲/۴۰
۱۱	۱۱۹۱	۲۱/۵۰	۲۶/۲۵	۸/۷۵	۲۲/۷۵	۴۵/۵۰	۱۶/۱۰	۴۷/۶۰	۱۹/۶۰
۱۲	۱۰۳۳	۹/۰۰	۸/۷۵	۱/۷۵	۲۲/۰۰	۳۱/۵۰	۶/۳۰	۵۴/۶۰	۲۱/۴۷
۱۳	۱۱۶۷	۵/۹۵	۷/۰۰	۸/۷۵	۱۷/۵۰	۴۵/۵۰	۱۸/۹۰	۶۰/۲۰	۱۵/۴۰
۱۴	۱۳۰۹	۴/۰۰	۳/۵۰	۳/۵۰	۱۲/۲۵	۵۴/۶۹	۱۳/۳۰	۷۰/۰۰	۲۳/۸۰
۱۵	۱۴۵۰	۵/۰۰	۸/۷۵	۳/۵۰	۲۳/۰۰	۴۶/۵۴	۱۸/۹۰	۸۱/۲۰	۲۶/۱۳
۱۶	۱۲۶۴	۳۱/۰۰	۴۰/۲۵	۱۴/۷۰	۳۵/۰۰	۴۸/۳۵	۳۱/۵۰	۵۰/۴۰	۱۷/۲۷
۱۷	۱۱۴۵	۱۷/۳۸	۳۱/۵۰	۵/۲۵	۲۹/۷۵	۵۶/۰۰	۲۱/۷۰	۵۱/۸۰	۲۲/۸۷
۱۸	۹۴۰	۸/۰۰	۸/۷۵	۵/۲۵	۱۹/۲۵	۴۰/۲۵	۱۳/۳۰	۵۳/۲۰	۲۱/۰۰
۱۹	۹۷۳	۸/۷۵	۷/۰۰	۸/۷۵	۱۵/۷۵	۳۱/۵۰	۱۰/۵۰	۳۶/۴۰	۲۶/۱۳
۲۰	۱۲۹۶	۴۲/۰۰	۴۰/۲۵	۷/۰۰	۲۶/۲۵	۴۲/۰۰	۳۲/۹۰	۵۸/۸۰	۱۶/۳۳
۲۱	۱۳۴۰	۱/۳۸	۱/۸۵	۲/۸۰	۲۲/۷۵	۵۰/۳۱	۹/۱۰	۷۱/۴۰	۱۷/۲۷
۲۲	۱۶۳۳	۲۹/۵۰	۳۶/۷۵	۲۵/۲۰	۵۶/۳۸	۶۳/۰۰	۳۹/۹۰	۴۶/۲۰	۱۳/۰۷
۲۳	۱۸۲۷	۶/۷۵	۸/۷۵	۲/۸۰	۲۶/۷۵	۷۵/۲۵	۱۰/۵۰	۶۸/۶۰	۱۶/۳۳
۲۴	۲۰۲۹	۲۲/۰۰	۲۸/۰۰	۳/۵۰	۴۷/۲۵	۶۳/۴۴	۱۰/۵۰	۹۸/۰۰	۱۸/۶۷
۲۵	۱۸۷۴	۱۳/۰۰	۲۱/۰۰	۵/۲۵	۲۲/۷۵	۷۲/۱۹	۱۳/۳۰	۶۱/۶۰	۲۱/۴۷

۱. برای شرح روش‌ها به جدول۲ مراجعه شود.

شکل NNH4 یعنی نیتروژن آمونیومی بومی خاک(تبادلی) در خاک‌های مورد بررسی دارای دامنه ۱/۷۵ تا ۲۵/۲ و میانگین ٦/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد(جدول ٤) که در مقایسه با شکل محلول در آب کمتر است. استالین و همکاران(۲۵) در شالی‌زارهای هند، میانگین این شکل را ۲۰/۵ و سینگ و همکاران (۲۳) در خاک‌های قلیایی هند، میانگین آن را ٤۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کرده‌اند. آنتپ (۲) میانگین شکل تبادلی را در ۱۲ خاک غیرآهکی ترکیه ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آورد.

دامنه تغییرات شکل NHSULN، در خاک‌های مورد بررسی ۵/۲۵ تا ٥٦/۳۸ با میانگین ۲۲/۷٦ میلی‌گرم درکیلوگرم است. یثربی و کریمیان (۱) در خاک آهکی میانگین این شکل را ۱۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کردند.

دامنه تغییرات شکل NHOX-NH، ۱۹/۲۵ تا ۷۵/۲۵ با

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

جدول۴. دامنه و میانگین شکل‌های نیتروژن در خاک‌های مورد بررسی

شماره روش	علامت اختصاری روش	دامنه	میانگین[۱]	مقدار نسبی[۲]
		$mg\ kg^{-1}$		٪
۱	STN	۴۴۵-۲۰۲۹	۱۱۲۱	----
۲	NPHEN	۱/۲۵-۴۲/۰۰	۱۱/۶۷	۱/۰۴
۳	NKCL	۱/۸۵-۴۰/۲۵	۱۵/۴۰	۱/۳۷
۴	NNH4	۱/۷۵-۲۵/۲۰	۶/۷۲	۰/۶۰
۵	NHSULN	۵/۲۵-۵۶/۳۸	۲۲/۷۶	۲/۰۳
۶	NHOX-NH	۱۹/۲۵-۷۵/۲۵	۴۲/۵۰	۳/۷۹
۷	NAOHNB	۳/۵۰-۳۹/۹۰	۱۴/۳۱	۱/۲۸
۸	BOX-NB	۱۵/۴۰-۹۸/۰۰	۵۰/۱۲	۴/۴۷
۹	HOTKCLN	۱۳/۰۷-۲۶/۱۳	۱۹/۶۰	۱/۷۵

۱. هر عدد میانگین ۲۵ خاک است

۲. مقدار نسبی بر اساس نیتروژن کل(STN) محاسبه شده است.

جدول۵. ضریب هم‌بستگی[۲](r) بین شکل‌های نیتروژن

	شکل‌ها							
شکل‌ها	۱[۱]	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۲	۰/۳۹۹							
۳	۰/۳۹۰	۰/۹۵۸						
۴	۰/۱۲۷	۰/۴۳۷	۰/۴۷۴					
۵	۰/۶۲۳	۰/۵۷۷	۰/۶۲۷	۰/۶۷۷				
۶	۰/۹۱۳	۰/۳۴۵	۰/۳۸۷	۰/۲۴۴	۰/۶۴۲			
۷	۰/۳۹۹	۰/۷۳۲	۰/۷۲۵	۰/۷۸۵	۰/۷۱۲	۰/۴۷۹		
۸	۰/۸۵۰	۰/۱۸۸	۰/۱۴۵	-۰/۱۴۲	۰/۴۲۶	۰/۷۲۰	۰/۲۲۲	
۹	-۰/۰۶۲	-۰/۳۹۳	-۰/۴۳۰	-۰/۴۳۰	-۰/۳۸۶	-۰/۱۶۳	-۰/۳۶۲	۰/۱۳۸

۱. شرح شماره‌ها در جدول ۲ آمده است.

۲. r بین ۰/۳۹۶ و ۰/۵۰۵ در سطح ۵ درصد، بین ۰/۵۰۵ و ۰/۶۲۶ در سطح ۱ درصد و بالاتر از ۰/۶۲۶ در سطح ۰/۱ درصد معنی دار می‌باشد.

میانگین ۴۲/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است. میانگین این شکل را یثربی و کریمیان(۱) ۱۰۵، آنتپ (۲) در خاک‌های غیرآهکی آن‌را ۳۰/۴۰ و جیانلو و برمنر(۱۳) در خاک‌های اسیدی و آهکی ۹۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش کرده‌اند.

دامنه تغییرات شکل NAOHNB در خاک‌های مورد بررسی از ۳/۵ تا ۳۹/۹ با میانگین ۱۴/۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد(جدول ٤).

شکل BOX-NB دارای دامنه تغییرات ۱۵/٤ تا ۹۸/۰ با میانگین ۵۰/۱۲ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک است. سینگ و همکاران(۲۳) در خاک‌های هاریانای هند، میانگین این شکل را ۱۰۱، استالین و همکاران (۲۵) در شالی‌زارهای هند ۸۲/۵، آنتپ (۲) در خاک‌های غیرآهکی ترکیه ۱۱۰/٤۰ وجیانلو و برمنر(۱۳) در خاک‌های اسیدی و آهکی ایوا ایالات متحده ۱۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش کردند.

شکل HOTKCLN دارای دامنه تغییرات ۱۳/۷۰ تا ۲٦/۱۳ با میانگین ۱۹/٦۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک است که نسبت به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

سایر روش‌ها از دامنه تغییرات کمتری برخوردار است. مقدار این شکل به‌وسیله جیانلو و برمنر (۱۳) در خاک‌های اسیدی و آهکی آیوا ایالات متحده آمریکا، ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است.

با توجه به جدول ٤، دیده می‌شود که بیشترین مقدار نیتروژن استخراجی در درجه اول مربوط به شکل BOX-NB و در درجه دوم مربوط به NHOX-NH، به‌ترتیب با میانگین ٥٠/١٢ و ٤٢/٥٠ بوده و کمترین آن NNH4، با میانگین ٦/٧٢ میلی‌گرم درکیلوگرم خاک است. به‌طورکلی ترتیب فراوانی شکل‌های نیتروژن به صورت زیر است:

BOX-NB > NHOX-NH > NHSULN > HOTKCLN > NKCL > NAOHNB > NPHEN >NNH4

یثربی و کریمیان(۱) ترتیب شکل‌های نیتروژن را در بخشی از خاک‌های استان فارس به‌صورت زیر گزارش کردند:

NHOX-NH > NHSULN > NNH4 > NKCL > NPHEN

علت این‌که روش‌های پرمنگنات قلیایی (BOX-NB) و پرمنگنات اسیدی (NHOX-NH) بیشترین مقدار نیتروژن را خارج کرده‌اند، به‌دلیل ارتباط این شکل‌های اکسایشی با نیتروژن قابل معدنی شدن به‌صورت هوازی در طول مدت معین است(٢٦ و ٢٨). این روش‌ها توانسته‌اند بخشی از نیتروژن آلی که در یک مدت زمان معین قابل معدنی شدن هستند را خارج کنند. از طرف دیگر با توجه به جدول ٤ که مقدار نسبی شکل‌های نیتروژن نسبت به نیتروژن کل خاک را نشان می‌دهد، می‌توان دید که بیشترین مقدار نیتروژن استخراجی مربوط به شکل BOX-NB با ٤/٤٧ و کمترین آن مربوط به شکل NNH4 با ٠/٦٠ درصد نیتروژن کل است. شکل‌های محلول در آب و تبادلی(NKCL+NNH4) روی‌هم‌رفته کمتر از ٢ درصد نیتروژن کل را شامل می‌شوند (جدول٤). به گفته باندی و می‌زینگر(٧) نیتروژن معدنی خاک تنها ١ تا ٣ درصد نیتروژن کل را شامل می‌شود.

پارماسیوام و بریتن‌بک(٢١) در خاک‌های مرطوب و اسیدی می‌سی‌سی‌پی ایالات متحده آمریکا، شکل‌های محلول در آب و تبادلی را به ترتیب ٠/٢ و ٠/٣ و آنتپ(٢) مجموع این دو شکل را کمتر از ٢ درصد نیتروژن کل گزارش کردند. مجموع شکل‌های هیدرولیز قلیایی(NAOHNB) و پرمنگنات قلیایی (BOX-NB) ٥/٧٥ درصد و مجموع شکل‌های هیدرولیز اسیدی (NHSULN) و پرمنگنات اسیدی(NHOX-NH) نیز ٥/٨٢ درصد از نیتروژن کل را شامل می‌شوند(جدول ٤). این مقادیر بخشی از نیتروژن آلی است که در زمان معین معدنی‌شده است. پژوهندگان دیگر نیز بیشترین مقدار شکل‌های استخراجی را مربوط به روش پرمنگنات قلیایی شده(BOX-NB) گزارش کرده‌اند. مقدار نسبی این شکل به‌وسیله جیانلو و برمنر (١٣) در خاک‌های اسیدی و قلیایی ٥/٢٥، آنتپ (٢) در خاک‌های غیرآهکی ٩/٢١، استالین و همکاران (٢٥) در خاک‌های آهکی ١٠/٩ و سینگ و همکاران (٢٣) ٢٢/٨ درصد نیتروژن کل گزارش شده است. یثربی و کریمیان (١) در خاک‌های آهکی مورد آزمایش خود مجموع شکل‌های محلول در آب و تبادلی را کمتر از ٥ درصد و شکل پرمنگنات اسیدی شده (NHOX-NH) را ١١/٣ درصد نیتروژن کل به‌دست آوردند.

با توجه به مطالب گفته شده می‌توان نتیجه‌گرفت که بیشترین مقدار نسبی نیتروژن در درجه اول مربوط به شکل‌های قابل اکسایشی به‌وسیله پرمنگنات قلیایی یا اسیدی شده و کمترین مقدار نسبی، مربوط به شکل‌های محلول در آب و تبادلی است. شکل‌های محلول در آب و تبادلی نیتروژن یعنی NKCL و NNH4، معیاری از فاکتور شدت(Intensity) نیتروژن در خاک است، در حالی که شکل‌های هیدرولیز اسیدی و پرمنگنات اسیدی(NHSULN و NHOX-NH) و یا هیدرولیز قلیایی و پرمنگنات قلیایی(NAOHNB و BOX-NB) را می‌توان معیاری از فاکتور ظرفیت(Capacity) نیتروژن در خاک به‌حساب آورد(١).

ضریب‌های هم‌بستگی(r) بین شکل‌های نیتروژن در جدول ٥ نشان داده شده است. شکل STN، بیشترین ضریب هم‌بستگی را با روش‌های NHOX-NH و BOX-NB به‌ترتیب با ضریب‌های هم‌بستگی ٠/٩١٣و ٠/٨٥٠ دارد. بالا بودن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

ضریب‌های هم‌بستگی این دو شکل با STN را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که شکل‌های قابل اکسایش نیتروژن آلی، بازتابی از نیتروژن کل خاک هستند. مقدار نسبی این دو شکل نسبت به سایر شکل‌ها بیشتر است به‌طوری‌که شکل پرمنگنات قلیایی(BOX-NB) ٤/٤٧ و شکل پرمنگنات اسیدی (NHOX-NH) ۳/۷۹ درصد STN را شامل می‌شوند(جدول٤). این مقادیر با مشاهدات استانفورد و اسمیت(۲۸)، که گزارش کردند حدود یک‌سوم نیتروژن قابل معدنی شدن(که خود حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد نیتروژن کل در خاک‌های تحت بررسی آنها بوده) به‌وسیله روش پرمنگنات اسیدی شده(NHOX-NH) با نرمالیته ۰/۰۵ خارج شده است، هم‌آهنگی دارد.

بین NPHEN و NKCL نیز هم‌بستگی بسیار معنی‌دار ($P <$۰/۰۰۱) با $r =$۰/۹۵۸ بر قرار است که این دور از انتظار نیست، زیرا هر دو، از شکل‌های کاملاً محلول در آب هستند که یکی با آب و دیگری با پتاسیم کلرید عصاره‌گیری می‌شود. علت هم‌بستگی بین NNH4 و NAOHNB این است که NNH4، نیتروژن آمونیومی بومی خاک بوده و NAOHNB نیز شامل نیتروژن آمونیومی بومی خاک به‌علاوه نیتروژن قابل هیدرولیز در قلیا می‌شود(جدول ٤).

بین شکل پرمنگنات قلیایی شده(BOX-NB) و پرمنگنات اسیدی شده(NHOX-NH) هم‌بستگی بسیار معنی‌دار ($P <$ ۰/۰۰۱) با $r =$۰/۷۲۱ برقرار است که علت آن این است که هر دو شکل قابل اکسایش نیتروژن آلی هستند(۲۶ و۲۸).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در خاک‌های مورد بررسی بالاترین ضریب هم‌بستگی بین STN و شکل‌های نیتروژن در درجه اول مربوط به شکل پرمنگنات اسیدی (NHOX-NH) با $r =$ ۰/۹۱۳ و در درجه دوم مربوط به شکل پرمنگنات قلیایی (BOX-NB) با $r =$ ۰/۸۵۰ است. شکل‌های محلول و تبادلی نیتروژن خاک (NKCL، NNH4 و NPHEN) دارای تحرک بالقوه نسبتاً بیشتری بوده، بنابراین بیشتر در معرض آب‌شویی هستند. در خاک‌هایی که NKCL یا NPHEN بیشتری وجود دارند، احتمال آب‌شویی نیتروژن بیشتر است.

معادله‌های هم بستگی بین شکل‌های نیتروژن و ویژگی‌های خاک

به‌منظور بررسی ارتباط بین شکل‌های نیتروژن و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از معادله‌های رگرسیون خطی ساده و چند متغیره بهره‌گیری شد. انتخاب معادله برتر در معادله‌های ساده، بر اساس بالا بودن ضریب تبیین (R^2) و در معادله‌های چند متغیره، علاوه بر ضریب تبیین، معنی‌دار بودن متغیر غیر وابسته موجود در معادله بوده است.

بین STN و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک رابطه معنی‌دار زیر به‌دست آمد:

$$STN = -1.50+55.9\ (OM)$$
$$R^2 = 0.957\ \ (P < 0.001) \qquad [۱]$$

در معادله بالا، OM مادهٔ آلی خاک بر حسب گرم درکیلوگرم خاک و STN نیز در جدول ۲ تعریف شده است. وارد کردن سایر ویژگی‌های خاک به‌طریقه رگرسیون گام به گام (Stepwise regression)، با این‌که سبب افزایش ناچیزی در ضریب تبیین شد، ولی حضور این ویژگی‌ها در معادله معنی‌دار نبود. علت بیشتر بودن ارتباط بین STN و OM این است که معمولاً ۵ تا ۵/۵ درصد مادهٔ آلی خاک را نیتروژن آلی خاک تشکیل می‌دهد (۱٦).

شکل NPHEN با pH یا OM به تنهایی ارتباط معنی‌داری نشان نداد ولی استفاده هم‌زمان از هر دو در معادله،سبب افزایش ضریب تبیین شده و معادله زیر به‌دست آمد:

$$NPHEN=356-43.8(pH)+0.544(OM)$$
$$R^2=0.347(P< 0.001) \qquad [۲]$$

در معادله بالا pH ، پ هاش در تعلیق ۲ به۱ آب به خاک بوده و بقیه اجزای معادله در جدول‌های ۱ و۲ تعریف شده‌اند.

معادله[۲] نشان می‌دهد که با افزایش مقدار مادهٔ آلی، مقدار نیتروژن نیتراته افزایش می‌یابد که امری بدیهی بوده و دور از انتظار نیست. منفی بودن ضریب pH را می‌توان چنین توجیه کرد که چون با افزایش pH بار متغیر رس‌های ۲:۱ و مادهٔ آلی کمی زیادتر می‌شود، احتمالاً آمونیوم بیشتری جذب نقاط تبادلی می‌شود. بنابراین مقدار کمتری در دسترس موجودات قرار می‌گیرد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

تـا بـه نیتـرات تـبدیل شـده و در محلول خاک باقی بماند. از طرف دیگـر چـون بـا افـزایش مـادهٔ آلـی خـاک معمولاً pH خوانده شده کـاهش مـی‌یابـد، مـی‌توان گفت که افزایش pH به معنی کمتر شدن مادهٔ آلی خاک و بنابراین کمتر شدن مقدار نیترات خاک است.

معادله بین شکل NKCL و pH، به تنهایی از ضریب تبیـین ۰/۳۱٤ بـرخوردار اسـت. با وارد کردن OM قدرت پیـش‌بینی معادله از ۳۱/٤ به ٤۳/۸ درصد افزایش یافت:

$$NKCL = 498 - 61.0\ (pH) + (OM)$$
$$R^2 = 0.438\ (P < 0.001) \qquad [۳]$$

هنگامـی کـه تـنها OM در پـیش‌بینـی NHSULN در نظـر گـرفته شـود، معادله معنی‌داری با ضریب تبیین ۰/۳۸۰ به‌دست مـی‌آید، ولی وقتی pH نیز در نظر گرفته شود این ضریب تبیین به ۰/۵۰۵ افزایش یافته و معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$NHSULN = 326 + 0.957\ (OM) - 39.7\ (pH)$$
$$R^2 = 0.505\ (P < 0.001) \qquad [٤]$$

بین شکل NHOX-NH و OM رابطه زیر به‌دست آمد:

$$NHOX\text{-}NH = 1.68 + 2.03\ (OM)$$
$$R^2 = 0.866\ (P < 0.001) \qquad [۵]$$

بـه‌طـوری‌کـه دیـده می‌شود معادله [۵] توانسته است ۸٦/٦ درصـد تغییـرات NHOX-NH را بـیان کـند. وارد کـردن سایر ویژگـی‌هـای خـاک در معادلـه باعث افزایش چشم‌گیـری در ضریب تبیین نشد.

بین شکل BOX-NB و OM رابطه زیر به‌دست آمد:

$$BOX\text{-}NB = 8.39 + 2.08\ (OM)$$
$$R^2 = 0.643\ (P < 0.001) \qquad [٦]$$

وارد کـردن سایر ویژگی‌های خاک در معادله [٦] ضریب تبیین را تغییر چندانی نداد.

علت ارتباط بین شکل‌های NHOX-NH (پرمنگنات اسیدی شـده) و BOX-NB (پـرمنـگنات قلیـایـی شـده) بـا مـادهٔ آلی خـاک(معادلـــه‌هـای [۵] و [٦]) ایـن‌اسـت‌کـه ایـن دو شکل اکسایشـی بـوده و شـامل نیتروژنـی که بر اثر اکسایش مادهٔ آلی آزاد شده است، می‌شوند(۲٦ و ۲۸).

بـــین شـــکل‌هـــای NNH4، NAOHNB، HOTKCLN و ویژگی‌های خاک ارتباط معنی‌داری به‌دست نیامد.

بنابـراین از بررسـی معادلـــه‌هـای [۱] تـا [٦] مـی‌تـوان نتیجه‌گـرفت کـه برتـرین معادله‌هایی که ارتباط بین شکل‌های نیتـروژن (غیـر از نیتـروژن کـل) و ویژگـی‌هـای خاک را نشان مـی‌دهـند، معادلـــه‌هـای[۱] ، [۵]، و [٦] هستند که از بین آنها معادلـــه[۵] دارای ضریب تبیین بالایی بوده و از لحاظ کاربردی نیز عملی‌تر است، بنابراین به‌عنوان معادله برتر انتخاب می‌شود. بـا بهـره‌گیـری از معادلـــه‌هـای یـاد شده مـــی‌توان شکل‌های نیتـروژن را از روی ویـژگـی‌هـــایـی نظیـر OM و pH با دقت بسـیار بـــالا (معـادلـــه‌هـای [۱] و [۵]) و برخـــی دیـگر از شکل‌های نیتروژن را با دقت خوب (معادله [٦]) تخمین زد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت:

۱. در خـاک‌هـای آهکـی تحـت کشـت اسـتان فـارس توزیـع شکل‌های نیتروژن به‌صورت زیر است:

BOX-NB > NHOX-NH > NHSULN > HOTKCLN > NKCL > NAOHNB > NPHEN > NNH4

۲. بیشترین مقدار نسبی شکل‌های نیتروژن مربوط به شکل‌های پـرمنگنات قلیایـی شـده(BOX-B) و پـرمنگنات اسـیدی شده (NHOX-NH) بـه تـرتیب بـا ٤/٤۷ و ۳/۷۹ درصـد بـوده در حالـی‌کـه شکل‌های محلول در آب و تبادلی نیتروژن کمتر از ۲ درصد STN هستند.

۳. نیتروژن کـل خاک با شکل‌های پرمنگنات اسـیدی و قلیایی، هـــم‌بستـگی معنـی‌داری به‌ترتیـب بـا ضـریب‌هـای هم‌بستگی ۰/۹۳۱ و ۰/۸۵۰ دارد.

٤. بـین شکل‌های نیتروژن کل (STN) و پرمنگنات اسیدی شده (NHOX-NH) بـا مادهٔ آلی خاک (OM) معادله‌های یک متغیره خوبی به شرح زیر به‌دست آمد:

$$STN = -1.50 + 55.9\ (OM)$$
$$R^2 = 0.957\ (P < 0.001) \qquad [۱]$$

$$NHOX\text{-}NH = 1.68 + 2.03\ (OM)$$
$$R^2 = 0.866\ (P < 0.001) \qquad [۵]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

منابع مورد استفاده

۱. یثربی، ج.، و ن. کریمیان. ۱۳۷۳. توزیع شکل‌های مختلف ازت در خاک‌های اراضی زیر سد درودزن استان فارس. گزیده مقالات سومین کنگرهٔ علوم خاک ایران ۲:۱۰۸-۱۱۷.

2. Antep, S. 1997. Evaluation of some chemical methods of soil nitrogen available based on ^{15}nitrogen technique. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 28: 537-550.
3. Brady, N. C. and R. R. Weil. 1999. Nature and Properties of Soils. 12th ed., Prentice - Hall Inc., Upper Saddle River, N J.
4. Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. PP. 1149-1176. *In:* C. A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, ASA, Madison, WI.
5. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen. Total. PP. 1085- 1121. *In:* D.L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston, and M. E. Sumner (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
6. Bremner, J. M. and D. R. Keeney. 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate, and nitrite. Anal. Chem. Acta. 32: 485-495.
7. Bundy, L. G. and J. J. Meisinger. 1994. Nitrogen availability indices. PP. 951-984. *In*: R.W. Weaver (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, SSSA. 5, SSSA., Madison, WI.
8. Chapman, H. D. and P. F. Pratt. 1961. Method of Analysis for Soils, Plants, and Waters. Agric. Sci., Univ. Calif.
9. Fox, R. H. and W. P. Piekielek. 1978. Field testing of several nitrogen availability indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 747-750.
10. Fox, R. H. and W. P. Piekielek.1978. A rapid method for estimating the nitrogen-supplying capability of a soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 751-753.
11. Francois, D. D., J. S. Schepers and M. F. Vigid. 1993. Post - anthesis nitrogen loss from corn. Agron. J. 85: 659-372.
12. Gianello, C. and J. M. Bremner. 1986. A simple chemical method of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17: 195-214.
13. Gianello, C. and J. M. Bremner. 1986. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 17: 215-236.
14. Hadas, A., S. Feigenbaum, A. Feigin and R. Portnoy. 1986. Distribution of nitrogen forms and availability indices in profiles of differently mananged soil types. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 308-313.
15. Hart, S. C., J. M. Stark, E. A. Davidson and M. K. Firestone. 1994. Nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification. PP. 985-1018. *In*: R.W. Weaver (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. SSSA. Book Series No.5, SSSA, Madison, WI.
16. Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management. 6th ed., Prentice - Hall Inc., Upper Saddle River, N J.
17. Hussain, F., K. A. Malik and F. Azam. 1984. Evaluation of acid permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. Plant Soil 79: 249-254.
18. Jalil, A., C. A. Campell, J. Schoenau, J. L. Henry, Y. W. Jane and G. P. Laford. 1996. Assessment of two chemical extraction methods as indices of available nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J. 60: 1954-1960.
19. Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen. Inorganic forms. PP. 1123-1184. *In:* D.L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston and M. E. Sumner (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.
20. Olson, R. A. and L. T. Kurtz. 1982. Crop nitrogen requirements, utilization, and fertilization. PP. 567-604. *In:* F.G. Stevenson (Ed.), Nitrogen in Agricultural Soils. Agron. 22, ASA, SSSA, Madison, WI.
21. Paramasivam, S. and G. A. Breitenbeck. 1994. Distribution of nitrogen in soils of the southern Mississippi River alluvial plain. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25: 247-267.
22. Setatou, H. B. and A. D. Simonis. 1996. Laboratory methods of measuring soil nitrogen status and correlation of measurements with crop responses. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27: 651-663.
23. Singh, J. P, D. J. Dahiya, V. Kumar and M. Singh. 1992. Distribution and status of different forms of nitrogen in soils of Haryana. J. Indian Soc. Soil Sci. 40: 698-704.
24. Smith, S. J., J. F. Power and W. D. Kemper. 1994. Fixed ammonium and nitrogen availability indexes. Soil Sci. 158:132-140.
25. Stalin, P., A. Dobermann, K. G. Cassman, T. M. Thiyagarayan and H. F. M. Ten Berge. 1996. Nitrogen supplying capacity of lowland rice soils in southern India. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27: 2851-2874.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]

26. Stanford, G. 1978. Evaluation of ammonium release by alkaline permanganate extraction as an index of soil nitrogen availability. Soil Sci. 126: 244-253.
27. Stanford, G. and S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 465-472.
28. Stanford, G., and S. J. Smith. 1978. Oxidative release of potentially mineralizable Soil nitrogen by acid permanganate extraction. Soil Sci. 126: 210-218.
29. Stevenson, F. J. 1996. Nitrogen. Organic forms. PP. 1185-1200. *In:* D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Soltanpour, M. A. Tabatabai, G. T. Johnston and M. E. Sumner (Eds.), Methods of Soil Analysis. part 3, SSSA, ASA, Madison, WI.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.4.4.4]