

# مدل کامپیوتری تغییرات ازت در خاک

دکتر محسن مهران

## خلاصه

متعددی در گیر میشود که از آنجمله میتوان نیتروفیکاسیون ، معدنی شدن مواد آلی، آلی شدن مواد معدنی و جذب بوسيله ریشه گیاهان را نام برد . برای اینکه بدانیم چه غلظتی از ماده از ته و چه مقدار از آن در خاک حرکت کرده و وارد آب زیرزمینی میشود دانستن کلیه تغییراتی که در گونه‌های مختلف ازت در محیط « خاک - آب - گیاه » صورت میگیرد ضروری است . فرض میکنیم که تبدیل مواد ازته بیکدیگر و همچنین تبادل یونی و جذب بوسيله ریشه گیاهان تماماً از نوع واکنشهای درجه اول باشند . باین معنی که غلظت هرگونه ازت در عنصر حجمی خاک، در هر لحظه از زمان ، تابعی از غلظت آن گونه و گونه‌های وابسته بآن همراه با در نظر گرفتن ضرائبی است که آنها را ضرائب سرعت تبدیل مینامیم . بدین ترتیب مدل ریاضی حاصله از سیستم فیزیکی مورد نظر ، تشکیل يك سیستم معادلات دیفرانسیل را میدهد که باید باهم حل شوند تا غلظت هرگونه ازته بازمان مشخص شود . عوامل محیطی از قبیل درجه حرارت ، در صد رطوبت ، میزان اکسیژن و دیگر عواملی که در متن مقاله از آنها بحث خواهد شد روی واکنشها و بالنتیجه ضرائب سرعت تبدیل مؤثر بوده و چه بسا که این ضرائب کمیته ثابتی نبوده و باید بعنوان يك متغیر در محاسبات منظور شوند . با در نظر گرفتن کلیه این نکات ، برای ارزیابی تبدیل ترکیبات مختلف ازت در يك عنصر حجمی خاک ، از روش انتگرال گیری عددی استفاده شده است . نتایج حاصله از مدل ریاضی، با اطلاعات تجربی موجود مقایسه شده و تا حد زیادی صحت مدل تأیید گردیده است .

آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی بوسیله مواد ازته ناشی از کودهای شیمیائی فضولات دامها و ضایعات کارخانجات موضوعی است که در چند سال گذشته اهمیت فوق العاده‌ای پیدا کرده است . ماده ازته‌ای که بهر عنوان در قشر سطحی خاک قرار میگیرد بعد از يك سری تحولات فیزیکوشیمیائی و بیولوژیکی توسط آب باران و یا آبیاری شسته شده ، از طبقات مختلف خاک عبور کرده و بالاخره به سطح ایستابی میرسد . ادامه چنین روندی طی سالهای زیاد باعث افزایش غلظت مواد ازته در سفره‌های آب سطحی و زیر زمینی میشود . بویژه که بعضی از این مواد مانند نیتراتها ، بعلت جذب نشدن روی سطح ذرات خاک ، قابلیت تحرك زیادی داشته و میتوانند سهولت در محیط متخلخل خاک در جهت جریان آب حرکت کنند . اهمیت موضوع بیشتر از نظر اختلافاتی است که آب آشامیدنی آلوده به نیترات در سلامتی انسان مخصوصاً کودکان بوجود میآورد . بنابراین چه در کاربرد ماده ازته بعنوان کود و یا مصارف دیگر و چه در مواردی که ضایعات حاصله يك نوع ماده ازته است ، باید ترتیبی اتخاذ شود که استفاده از فرآیندهای مختلف ، منابع ذیقیمت موجود اعم از هوا ، خاک و یا آب را آلوده نکند و این تنها در صورتی میسر است که در طرح‌های پژوهشی و اجرایی نه تنها جنبه‌های اقتصادی بلکه کلیه جوانب امر در نظر گرفته شود ، در غیر اینصورت اجرای پروژه‌های دراز مدت باشکست روبرو شده و اثرات سوء محیطی خواهد داشت .

سیستمی که در این جا از آن بحث شده است سیستمی است مرکب از خاک ، آب و گیاه و در این سیستم ازت در تغییرات

در مدلی که اخیراً بوسیله Dutt et al. [۱۹۷۲] پیشنهاد شده است با استفاده از نتایج تجربی موجود ورگرسیون چندگانه<sup>۱۰</sup> معادلاتی بدست آمده که تغییرات عمده ازت در سیستم «آب - خاک» را پیش‌بینی میکند. همچنین در تحقیقات دیگری که در همین زمینه انجام گرفته سعی شده که از تئوری پلی نومیال‌ها [Duffy, ۱۹۷۲] که قبلاً بوسیله Ivakhnenkov [۱۹۷۱] بمنظور کاربرد در سیستمهای اقتصادی و اجتماعی پیشنهاد شده بود، در ساختن مدلی برای ارزیابی تغییرات ازت در محیط زیست استفاده شود. در این روش میتوان یک پلی‌نومیال درجه بالا را به بده یک منحنی و یا سطح برازند<sup>۱۱</sup> و یکی از امتیازات این روش آن است که توانائی انتخاب داده‌ها<sup>۱۲</sup> را براساس ستاده‌های<sup>۱۳</sup> مورد دلخواه داراست.

۲ - روش مکانیستیک<sup>۱۴</sup>: در این روش از قوانین فیزیکی و روابط ریاضی بمنظور توصیف، کنترل و پیش‌بینی عملکرد سیستم استفاده میشود. در روش مکانیستیک باید از مطالعات McLaren [۱۹۷۰ و ۱۹۶۹] نام برد. او در تحقیقات خود فرض کرده است که تبدیل آمونیوم ( $NH_4^+$ ) به نیتريت ( $NO_2$ ) و نیتريت به نیتريت ( $NO_3$ ) یک واکنش درجه اول<sup>۱۵</sup> است. باین معنی که تغییرات غلظت با زمان، تابعی از غلظت در هر لحظه از زمان است. در مقاله دیگری McLaren [۱۹۷۱] رشد میکروارگانیسیمهای را که در این تبادلات دخالت دارند در نظر

اهمیت کار برد روش و تحلیل سیستمی<sup>۱</sup>، در بررسی ازت در محیط زیست اخیراً بوسیله یکی از محققین آمریکائی بنام Hauck [۱۹۷۳] عنوان شده است. در چند سال گذشته مدل‌های متعددی در این زمینه پیشنهاد گردیده است که بعضی از آنها بصورت مدل مفهومی<sup>۲</sup> [۱۹۷۳] Endelman et al. و برخی دیگر بصورت مدل کامپیوتری همسان<sup>۳</sup> [Dutt et al., 1973; Frere et al., 1970] می‌باشد ولی در هر صورت صحت اینگونه مدل‌ها فقط تا حدودی تأیید شده است.

آبهای سطحی و زیرزمینی ممکن است بوسیله مواد ازته آلوده شوند. کالیفرنیا و ایلینوی در ایالات متحده را میتوان بعنوان مناطقی که دارای چنین آلودگی‌هایی میباشد نام برد. اهمیت مطالعه آلودگی آبها به مواد ازته بویژه نیترا تها بیشتر از این نظر است که افزایش بیش از حد آنها اختلالاتی در سلامتی انسان بوجود می‌آورد. مثلاً اگر غلظت نیترات در آب آشامیدنی از مقدار معینی تجاوز کند زاینده بیماری متموگلوبینمیا [Metamoglobinemia] در اطفال شیرخواری است که از این آب استفاده میکنند. در موارد حاد این مرض، گلبولهای قرمز خون توانائی جذب اکسیژن را از دست داده و کودک دچار خفگی خواهد شد.

آلودگی ازته از منابع مختلفی سرچشمه میگردد. [Ayers and Branson, ۱۹۷۳] که از آنجمله کودهای شیمیائی، فضولات دامها و ضایعات کارخانجات را میتوان نام برد. تعیین اینکه هر کدام از این منابع تا چه حد در آلوده کردن آبهای سطحی و زیرزمینی موثرند کار مشکلی است [Kohl et al., ۱۹۷۱] و در حال حاضر نیاز فراوانی به بررسی دقیق و کمی منبع<sup>۴</sup> آلوده کننده و تغییر و تبدیل<sup>۵</sup> ازت در محیط زیست احساس میشود. در این مقاله قسمتی مطالعات و تحقیقاتی را که در زمینه ساختن یک مدل کامپیوتری همسان بمنظور محاسبه تغییرات ازت در سیستم «آب - خاک - گیاه» بوسیله نویسنده انجام شده باطلاع خوانندگان میرساند.

### روش‌های مدل سازی

در چند سال گذشته دو روش اساسی و متمایز از یکدیگر در مدل سازی بکار رفته است:

۱- روش آماری - تجربی<sup>۶</sup>: براساس نتایج حاصله از آزمایشهای تجربی و استفاده از تقریبهای آماری، رگرسیون<sup>۷</sup> و پلی‌نومیال‌ها<sup>۸</sup>، برای سیستم مورد نظر مدلی ساخته میشود که براساس آن عملکرد<sup>۹</sup> سیستم در زمانهای بعد پیش‌بینی گردد.

- 1\_ Systems Analysis
- 2\_ Conceptual Model
- 3\_ Computer Simulation Model
- 4\_ Source
- 5\_ Transformation
- 6\_ Empirical - Statistical
- 7\_ Regression Analysis
- 8\_ Polynomials
- 9\_ Behavior
- 10\_ Multiple Regression Analysis
- 11\_ Fitting
- 21\_ Inputs
- 13\_ Outputs
- 14\_ Mechanistic
- 15\_ First - Order Reaction

$\frac{d[NH_4]_e}{dt} = -K_{eS} [NH_4]_e + K_{le} [NH_4]_s$	(۱) - آمونیم قابل تعویض
$\frac{d[NH_4]_s}{dt} = -(K_1 + K_{re} + K_4 + KK_6) [NH_4]_s + K_{eS} [NH_4]_e + K_6 [OrgN]_i$	(۲) - آمونیم محلول
$\frac{d[NO_2]_s}{dt} = -(K_2 + K_5 + K_9 + KK_7) [NO_2]_s + K_1 [NH_4]_s + KK_2 [NO_3]_s$	(۳) - نیتريت محلول
$\frac{d[NO_3]_s}{dt} = -(KK_2 + K_3 + KK_8) [NO_3]_s + K_2 [NO_2]_s$	(۴) - نترات محلول
$\frac{d[NO_3]_p}{dt} = K_3 [NO_3]_s$	(۵) - نترات گیاهی
$\frac{d[NH_4]_p}{dt} = K_4 [NH_4]_s$	(۶) - آمونیم گیاهی
$\frac{d[OrgN]_i}{dt} = -K_6 [OrgN]_i + KK_6 [NH_4]_s + KK_7 [NO_2]_s + KK_8 [NO_3]_s$	(۷) - ازت آلی
$\frac{d[N_2O + N_2]}{dt} = K_5 [NO_2]_s$	(۸) - ازت گازی
$\frac{d[NO_2]_p}{dt} = K_9 [NO_2]_s$	(۹) - نیتريت گیاهی

- 16\_ Processes
- 17\_ Dynamic
- 18\_ Analytical Solution
- 19\_ Transport
- 20\_ Species
- 21\_ Temporal
- 22\_ Spatial
- 23\_ Exchangeable Ammonium
- 24\_ Reversible
- 25\_ Irreversible
- 26\_ Aqueous
- 27\_ Spatial Element
- 28\_ Rate Coefficients

گرفته و بر اساس آن مدلی ارائه میدهد. آزمایشهای که بعداً توسط Ardakani et al. [۱۹۷۳] انجام شده نشان میدهد که تبدیل نیتريت به نترات از يك واکنش درجه اول تبعیت کرده و بنابراین مدل McLaren را تأیید مینماید. با نتیجه مدل مزبور میتواند بمنظور پیش بینی تغییرات نیتريت به نترات در جریانهای يك بعدی در محیط متخلخل بکار رود. در مدل هائی که طبق روش اول یعنی براساس آمار و ارقام موجود بنا شده اند، تاثیر فرآیندهای مختلف يك سیستم پویا<sup>۱۷</sup> روی عملکرد سیستم تأثیری است کلی و اثر آنها سهولت قابل تفکیک نیست، در صورتی که در روش دوم یعنی روش مکانیستیک از پویسهای فیزیکیوشیمیایی و بیولوژیکی که در يك قالب ریاضی بیان شده اند دقیقاً آگاهی داشته و لذا تغییر پارامترهای مدل بمنظور کنترل و اداره سیستم ساده تر بوده و اثر يك آنها قابل درک است. البته روابط ریاضی حاصله از چنین مدلی اغلب پیچیده و در نتیجه حل آنالیتیک<sup>۱۸</sup> غیر ممکن و یا لاقل خالی از اشکال نخواهد بود.

وجود و غلظت ترکیبات ازته مخصوصاً نترات در آبهای سطحی و زیر زمینی رابطه بسیار نزدیکی با تبدیل و انتقال<sup>۱۹</sup> گونه های مختلف ازت در سیستم «خاک-آب-گیاه-اتمسفری» دارد. در شکل (۱) داده ها، ستاده ها و تغییراتی که در سیستم صورت میگیرد نشان داده شده است. برای پیش بینی زمانی<sup>۲۱</sup> و مکانی<sup>۲۲</sup> تغییر غلظت ترکیبات ازته، بیان کمی تبدیل فیزیکیوشیمیایی و بیولوژیکی فرآیندهای مختلف ضرورت دارد. شکل (۲) مسیر تبدیل گونه های ازت را در سیستم «خاک-آب-گیاه» نشان میدهد. در این سیستم فرض شده است که تبادل یونی بین یون آمونیم محلول و یون آمونیومی که روی ذرات خاک قرار گرفته (آمونیم قابل تعویض<sup>۲۳</sup>) تبادلی است قابل برگشت<sup>۲۴</sup> و یا دو طرفه که این خود حاکی از طبیعت پویای سیستم است، در صورتی که واکنشهای دیگر غیر قابل برگشت<sup>۲۵</sup> فرض شده اند. همچنین فرض کرده ایم که کلیه واکنشها در محیط مایعی<sup>۲۶</sup> صورت گرفته و از نوع درجه اول میباشد معادلات دیفرانسیل توصیف کننده سیستم که در جدول شماره (۱) نشان داده شده، سرعت تبدیل ترکیبات مختلف ازت را با زمان تعیین میکنند. برحسب چگونگی منبع انرژی، میزان اکسیژن، مقدار آب، درجه حرارت و سایر متغیرهای وابسته، در يك عنصر حجمی<sup>۲۷</sup> خاک و در يك مقطع از زمان، ممکن است تمام و یا اغلب واکنشهای نامبرده در شکل (۲) انجام پذیرد. بعلاوه، ضرائب سرعت تبدیل<sup>۲۸</sup> احتمالاً ثابت نبوده و با متغیرهای نامبرده در بالا و در نتیجه با زمان تغییر میکنند. حل آنالیتیک چنین سیستمی

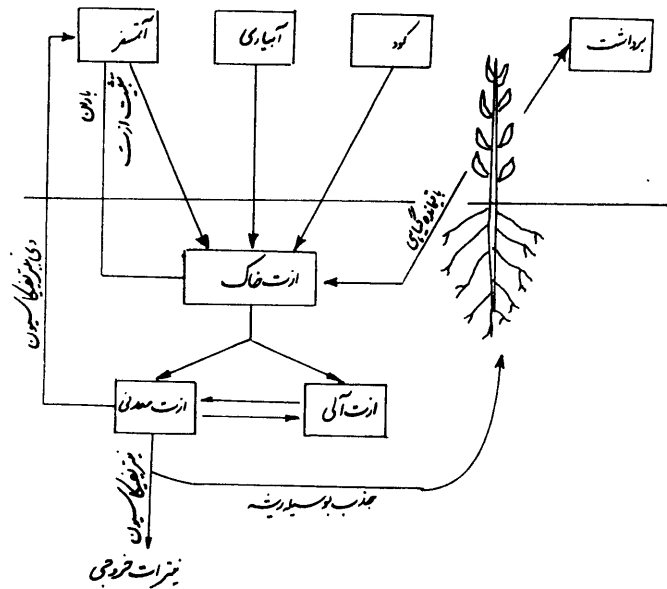
بویره موقعی که انتقال مواد از ته نیز در نظر گرفته میشود غیر ممکن بوده بوده و برای حل مسئله از یک روش عددی استفاده شده است. نتیجتاً، متدولوژی تحقیق بر اساس مفهوم تحلیل سیستمی و توصیف مکانیستیک فرآیندها همراه با حل عددی مسئله است.

### روش حل معادلات

برای حل سیستم معادلات دیفرانسیل روشهای عددی زیادی موجود است. چون حل معادلات دیفرانسیل منجر به جوابهای متعددی میشود که تمامی آنها در این معادلات صدق میکنند، در نتیجه برای پیدا کردن جوابی که با شرایط فیزیکی مسئله وفق دهد باید شرایط حدی<sup>۲۹</sup> کافی موجود باشد. در مسئله مورد بحث، شرایط حدی همان شرایط اولیه<sup>۳۰</sup> و یا غلظت گونه‌های مختلف از قبل از شروع واکنشها یعنی در زمان  $t=0$  میباشد.

در اینجا از دو روش عددی Runge - Kutta (RK) و Adams-Bashforth-Moulton (Abm) برای حل مسئله استفاده کرده‌ایم. روش RK برای شروع انتگرال گیری و ادامه آن تا چند مرحله اول بکار رفته و این روش در چنین مواردی دقت زیادی دارد. برای ادامه انتگرال گیری روش RK را خاتمه داده و محاسبات را با روش ABM ادامه میدهیم. این روش اساساً یک روش Predictor - Corrector است، بدین معنی که یک معادله حل دلخواه را پیش بینی و معادله دیگر همان حل را تصحیح میکند. تفصیل ریاضی روشهای عددی نامبرده خارج از حد این مقاله بوده و خواننده برای این منظور میتواند به کتابهای تحلیل عددی از جمله Carnahan et al. [1969] مراجعه نماید. روش عددی انتخاب شده بصورت برنامه کامپیوتری درآمده و برنامه موجود میتواند سیستم معادلات دیفرانسیل مرتبه اول مندرج در جدول (۱) را حل کند. در صورتی که معادلات از مرتبه‌های بالاتر باشند معمولاً میتوان آنها را به مرتبه اول تبدیل و سپس از برنامه کامپیوتری موجود استفاده نمود. مثلاً یک معادله دیفرانسیل مرتبه دوم را میتوان به دو معادله دیفرانسیل مرتبه اول تبدیل کرد [Rollins, 1968].

جزء زمانی<sup>۳۱</sup>  $(\Delta t)$  که برای انتگرال گیری عددی در برنامه کامپیوتری منظور شده ۰٫۱ روز و حل حاصله حل پایدار است<sup>۳۲</sup>. در هر مرحله از محاسبه این امکان وجود دارد



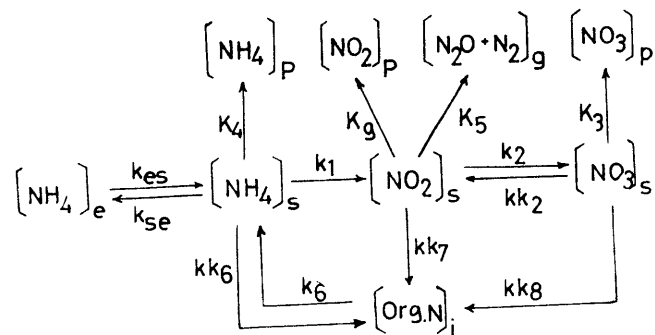
شکل (۱) - تبدیل و انتقال مواد از ته در خاک

- 29\_ Boundary Conditions
- 30\_ Initial Conditions
- 31\_ Time Step
- 32\_ Stable

که اندازه  $\Delta t$  را تغییر دهیم و امتیاز این ویژگی در این است که اگر بینیم که تغییرات جواب با زمان جزئی است میتوانیم  $\Delta t$  را بزرگتر کرده و در نتیجه هزینه محاسبات را کاهش دهیم. بالعکس، اگر در واحد زمان تغییرات زیادی در جواب صورت گیرد باید  $\Delta t$  کوچکتری انتخاب شود تا جواب به حد دقت مورد نظر برسد در محاسبات انتگرال گیری، غلظت کلیه گونه‌های ازت را بر حسب میلی گرم ازت در یک لیتر از محلول خاک در نظر گرفته‌ایم.

### تأیید مدل<sup>۳۳</sup>

یکی از مشکلات اساسی در تأیید مدل‌ها فقدان و یا کمبود اطلاعات<sup>۳۴</sup> موجود است و این ناشی از آن است که اغلب آزمایشگاهی که تاکنون انجام شده طوری طرح نشده‌اند که نتایج حاصله از آنها بتواند در مدل‌های ساخته شده فعلی مورد استفاده قرار گیرد. بعبارت دیگر پارامترهای لازم برای کاربرد در مدل، یا اندازه گیری نشده و یا بطور ناقص اندازه گیری شده‌اند. شکل (۳) تغییرات غلظت ترکیبات ازته را در سیستمی که نیتروفیکاسیون<sup>۳۵</sup> معدنی شدن<sup>۳۶</sup> مواد آلی، تبادل یونی آمونیوم و جذب بوسیله ریشه گیاه در آن سیستم صورت میگیرد نشان میدهد. این سیستم فرضی، قدرت و نحوه عمل مدل را روشن میسازد. تحقیقات تجربی که در مورد تغییر و تبدیل مواد ازته انجام شده و ارقامی که تاکنون از این تحقیقات بدست آمده است برای بکاربردن در مدل کافی نمی‌باشند. زیرا که در یک آزمایش بخصوص، کلیه پارامترهای لازم برای داده‌های مدل اندازه گیری نشده‌اند. بنابراین سعی ما در این خواهد بود که مدل را برای فرآیند بخصوصی که حداکثر اطلاعات را داراست بکار برده و اثر دیگر فرآیندها را بطور منطقی در مدل بحساب آوریم. تا بحال مدل مورد بحث برای چهار آزمایش تجربی بکار رفته‌است. در این آزمایش‌ها فقط تبدیل مواد ازته مورد نظر بوده و هیچگونه انتقالی وجود نداشته است. اکنون به بحث درباره کاربرد مدل در مورد آزمایشهای نامبرده میپردازیم.



شکل (۳) تبدلات احتمالی بین گونه‌های مختلف ازت  $K, KK$  ضرایب سرعت تبدیل مواد بوده و  $g, i, p, s, e$  بزرگترین نماد بون قابل تبدیل، بون محلول، جذب بوسیله گیاه، مقدار نسبت شده بصورت ماده آلی و قسم گازی ازت می‌باشد.

### 33\_ Model Verification

### 34\_ Data

### 35\_ Nitrification

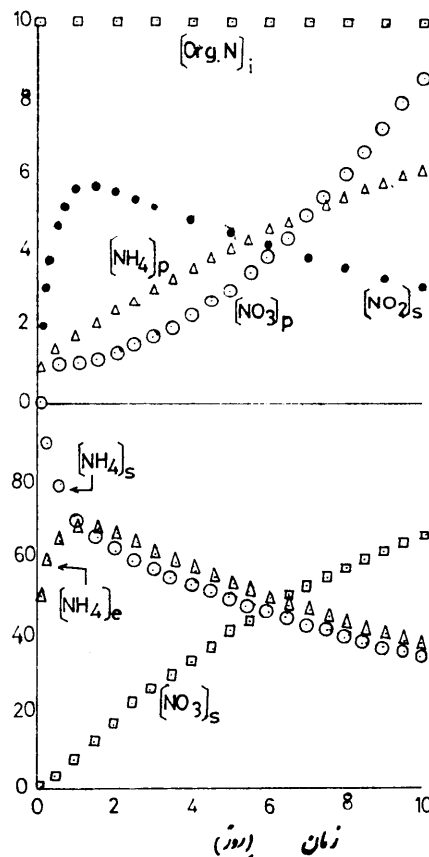
### 36\_ Mineralization

شکل (۴) مقایسه مقادیر تجربی نیتریفیکاسیون و آنچه را که از مدل بدست میاید نشان میدهد. این مقادیر، حاصل نتایج آزمایشی است که Justice and Smith [۱۹۶۲] انجام داده‌اند. در این آزمایش ابتدا ۱۵۰ PPM سولفات آمونیوم  $(NH_4)_2 SO_4$  را با خاک Milville loam مخلوط کرده و سپس آنقدر آب به دو نمونه از خاک اضافه نمودند تا نیروی مکش<sup>۳۷</sup> آنها به ترتیب به  $\frac{1}{2}$  و ۱ bar رسید. خاک مورد مطالعه قبل از اضافه کردن سولفات آمونیوم دارای ۲۰ ppm ازت آمونیومی ۴۰ ppm ازت نیتراته و ۱۳ درصد ازت آلی بوده است. در این آزمایش، نیتریفیکاسیون برای مدت ۱۰ روز ادامه داشته و درجه حرارت آزمایش در تمام این مدت ۲۲ درجه سانتیگراد بوده است. شکل (۴) نقاط، نماینده مقادیر بدست آمده از آزمایش و منحنی‌ها نتایج حاصله از مدل می‌باشد. ضرائب سرعت تبدیل گونه‌های مختلف یکدیگر در این شکل و شکلهای دیگر منعکس است.

Broadbent et al. [۱۹۵۷] سرعت تبدیل کودهای آمونیومی را به نیترات، تحت شرایط محیطی مختلف مطالعه کرده که از نتایج یکی از این آزمایشها در مدل مورد بحث استفاده شده است. آنچه که در شکل (۵) نشان داده شده مربوط به خاک Salinas Clay است که بآن ۵۰ ppm سولفات آمونیوم اضافه شده بود و در طول آزمایش درجه حرارت ۲۳٫۹+۰٫۱ درجه سانتیگراد بوده و هوا با رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد از خاک عبور داده شده است. علت تولید نیترات بیش از حدی که آمونیوم میتواند تولید کند این است که مقداری نیترات از معدنی شدن ازت آلی بوجود آمده است زیرا این دارای ۴ تا ۵ درصد ماده آلی است.

سومین آزمایشی که برای تأیید مدل بکار رفته آزمایش Cooper and Smith [۱۹۶۳] است که برای مطالعه دی‌نیتریفیکاسیون<sup>۳۸</sup> در خاک Milville loam انجام شده و این آزمایش در حرارت ۳۰ درجه سانتیگراد صورت گرفته است. صد گرم خاک مزبور را که دارای ۱٫۹ درصد ماده آلی بود با ۱ درصد یونجه خشک و ۶۰ میلی‌گرم نیترات پتاسیم (KNO) مخلوط نموده و آنقدر آب اضافه کرده تا درصد رطوبت وزنی آن به ۲۳ درصد، که ظرفیت نگاهداری<sup>۳۹</sup> خاک فوق‌الذکر است

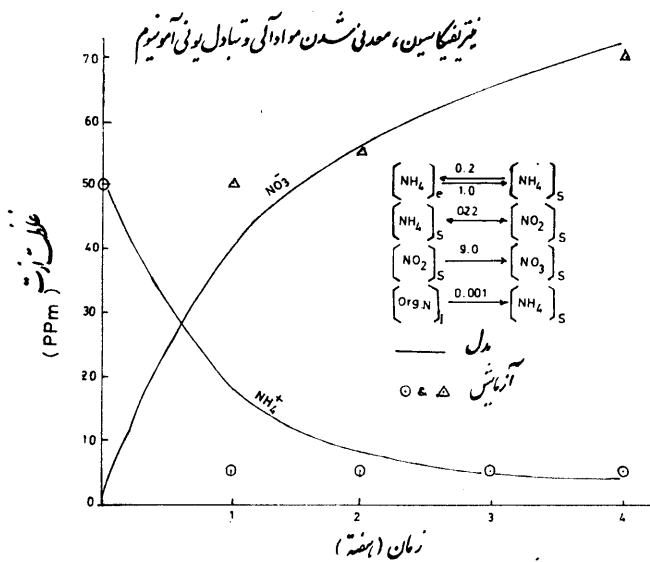
غلظت ازت آلی در میکرو خاک



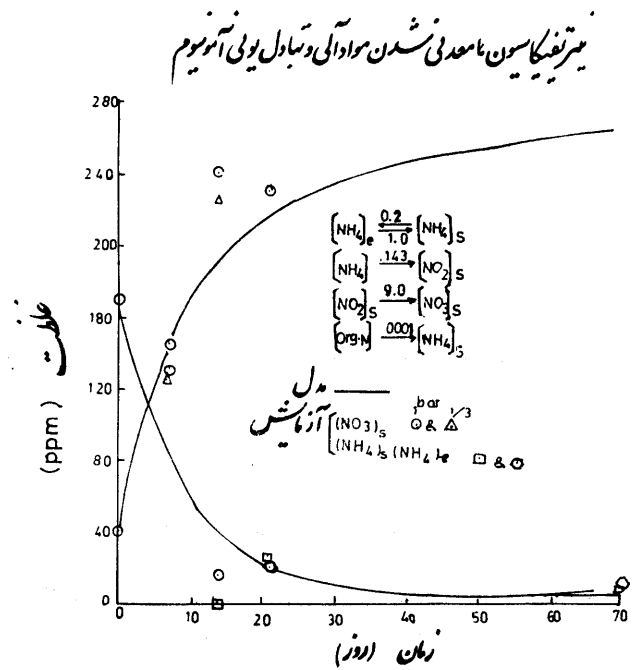
شکل (۴) - نموداری از محاسبه تبدیل ازت در خاک.  $K_{es} = K_{se} = 0.1$

$$K_6 = 0.01, K_4 = 0.1, K_3 = 0.2, K_2 = 1.75, K_1 = 21.43$$

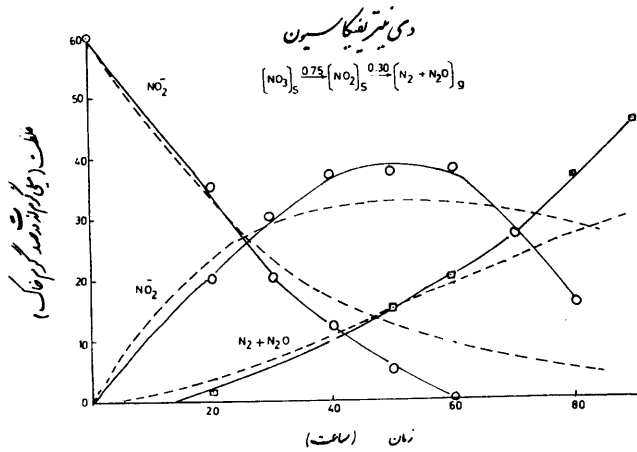
- 37\_ Tension
- 38\_ Denitrification
- 39\_ Field Capacity



شکل (۱۵) مقایسه ای بین نتایج تجربی [Broadbent et al 1957] آزمایش نیرتفیکاسیون و پیش بینی شده بوسیله مدل



شکل (۱۶) مقایسه ای بین نتایج تجربی [Justice and Smith, 1962] آزمایش نیرتفیکاسیون در خاک و پیش بینی شده بوسیله مدل



شکل (۱۷) مقایسه ای بین نتایج تجربی [Cooper and Smith, 1963] دینیرتفیکاسیون و پیش بینی شده بوسیله مدل

برسد. این محققین هوای داخل ظرف را نیز با ۱۰۰ درصد هلیوم جایگزین کرده بودند. شکل (۶) نتایج حاصله از آزمایش و پیش بینی ای که بوسیله مدل شده است نشان میدهد.

چهارمین آزمایش مربوط به آلی شدن<sup>۴</sup> مواد ازته معدنی بوده که توسط Stojanovic and Broadbent [۱۹۵۶] انجام شده است. خاک بکار رفته در این آزمایش Ontario loam دارای ۵۲ درصد کربن، ۱۲ درصد ازت آلی، ۱۵ ppm ازت نیتراژ و ۸ ppm ازت آمونیومی بوده است. باین خاک میزان ۴۰ ppm سولفات آمونیوم و ۱ درصد کاه گندم افزوده شده، مقدار آب آن بر حسب درصد وزنی ۲۷٪ و درجه حرارت آزمایش ۳۰+۱ درجه سانتیگراد بوده

#### 40- Immobilization

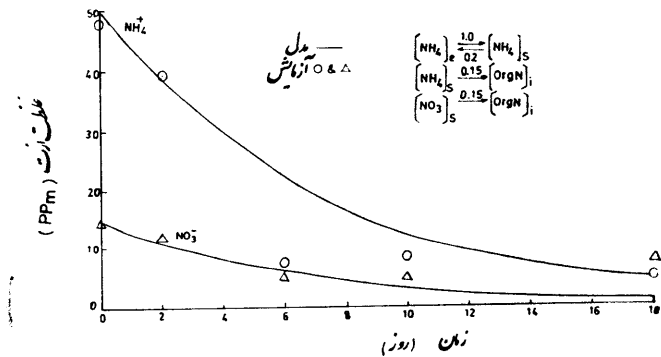
## کلی شدن مواد معدنی و تبادل یونی آمبریزیم

است. شکل (۷) نتایج تجربی و پیش‌بینی شده توسط مدل دارای نشان میدهد.

شکل‌های (۴)، (۵)، (۶)، (۷) قدرت پیش‌بینی کننده مدل را برای گونه‌های مختلف ازت نشان میدهد. همانطور که ملاحظه میشود نتایج تجربی و پیش‌بینی شده توسط مدل دارای اختلاف جزئی می‌باشند و بخشی از این اختلاف بدلیل قبول فرضیاتی است که در ساختن مدل بکار رفته‌است. از جمله این فرضیات می‌توان درجه اول بودن واکنشها و ثابت بودن ضرائب سرعت تبدیل را نام برد. جذب مواد ازته بوسیله ریشه گیاهان هنوز مورد مقایسه با نتایج تجربی قرار نگرفته و موضوعی است که مورد مطالعه است.

### بحث و نتیجه‌گیری

فرض اساسی که در این بررسی بکار برده‌ایم درجه اول بودن واکنشهای تبدیل گونه‌های مختلف ازت در سیستم «خاک-آب-گیاه» می‌باشد. نتیجه اغلب آزمایشهای گزارش شده صحت این فرض را لاقلاً در حد غلظت‌هایی که آزمایشهای مزبور انجام گرفته‌اند نشان میدهد. با افزایش غلظت، واکنش از درجه اول دور و بدرجه صفر<sup>۴۱</sup> نزدیک میشود که در این حالت، دیگر سرعت تبدیل تابعی از غلظت نبوده بلکه تابعی از یک کمیت ثابت است. حد غلظتی که بالاتر از آن حد، واکنشها از درجه صفر تبعیت میکنند، برای گونه‌های مختلف متفاوت بوده و با عوامل محیطی نیز تغییر خواهد کرد. اغلب ضرائب سرعت تبدیل که در مدل بکار رفته از برآزش تجربی<sup>۴۲</sup> ارقام به منحنی بدست آمده است. بعضی از آنها مانند  $K_1$  و  $K_2$  تا حد زیادی نزدیک بارقایی هستند که از آزمایش‌های نیتریفیکاسیون همراه با انتقال مواد ازته در جریان‌های یک بعدی (Misra, 1973) بدست آمده‌اند. بیان کمی تبدیل مواد ازته بستگی بسیار زیاد به تعیین ضرائب سرعت تبدیل تحت شرایط محیطی مختلف دارد. در این تجزیه و تحلیل فرض بر این بوده است که این ضرائب مقادیر ثابتی هستند در صورتیکه Ardakani et al. [1973] نشان داده‌اند که مقدار عددی این ضرائب بستگی به تعداد میگر و ارگانیس‌م‌هایی دارد که در تبدیل مواد دخالت دارند. اگر فرض کنیم که غلظت ماده مورد تبدیل<sup>۴۳</sup> عاملی محدود کننده نباشد،



شکل ۷۱ مقایسه‌ای بین نتایج تجربی [Stojanovic and Broadbent, 1956]

کلی شدن مواد معدنی و آمبریزیم که مدل پیش‌بینی میکند

41\_ Zero - Order

42\_ Empirical Fitting

\* Misra, C, 1973, Nitrogen transformations in Soil Columns under Continuous Culture, Ph. D. Thesis, University of California, Davis .

43\_ Substrate



یعنی در محیط باندازه کافی وجود داشته باشد ، تعداد میگو ارگانیسماهایی که عمل نتریفیکاسیون را انجام میدهند در مدت معینی بیک ماگزیم رسیده و از آن پس دیگر تغییر قابل ملاحظه‌ای نخواهد کرد . البته زمان لازم برای رسیدن باین حالت ماندگار<sup>۴۴</sup> دانست . البته زمان لازم برای رسیدن باین حالت ماندگار در میکروارگاسیمهای مختلف متفاوت خواهد بود .

عوامل محیطی از قبیل درجه حرارت، درصد رطوبت، مقدار اکسیژن و ویژگیهای فیزیکی خاک نیز روی رشد میگو ارگانیسما تأثیر میکنند ، باین ترتیب میتوان گفت که عوامل نامبرده روی ضرائب سرعت تبدیل موثرند . بنابراین برای اینکه مدل مورد بحث فرآیندهای مختلف را دقیقتر پیش‌بینی کند وجود روابط تبعی<sup>۴۵</sup> بین ضرائب سرعت تبدیل و متغیرهای وابسته ضروری‌بنظر میرسد . این توابع را میتوان بسادگی در مدل موجود گنجانید باین ترتیب که ضرائب از یک کمیت ثابت تبدیل به یک مقدار متغیر شده و در هر جزء زمانی  $\Delta t$  ضرائب باید مجدداً محاسبه شوند . متأسفانه این توابع تبعی در حال حاضر در دسترس نیستند .

یکی از اشکالات اساسی در تأیید مدل، کمبود پارامتر هائی است که وجود آنها بعنوان داده‌های مدل ضروری است . برای مثال باین موضوع اشاره میکنیم که در اغلب آزمایشهای انجام شده ، غلظت یون آمونیوم موجود روی ذرات خاک همراه بایون محلول اندازه‌گیری شده است نه بطور جداگانه ، در صورتی که مدل میتواند این دورا بطور مجزا در نظر بگیرد . علاوه براین ، در بسیاری از موارد ، ظرفیت ماگزیم تبدل یونی ضخاک داده نشده است . اشکالات و کمبودهای مورد بحث و دیگر فرضیاتی که در ساختن مدل بکار رفته باعث اختلاف جزئی مدل با نتایج تجربی شده است .

روشهای عددی مورد استفاده در این بررسی دارای دقت کافی بوده و پایدارند . راندمان زمانی این روش ها نیز رضایت بخشی بوده و در نتیجه کار برد مدل مقرون بصرفه خواهد بود . مثلاً حل ۹ معادله دیفرانسیل برای مدت ۲۰ روز با  $\Delta t = 0.001$  روز و استفاده از کامپیوتر Burroughs 6700 فقط ۷۲ ثانیه وقت میگیرد . مدل ارائه شده ، این ظرفیت و توانائی را دارد که هم در فعالیتهای مدل سازی در اشل بزرگ بمنظور مطالعه ازت در محیط زیست و هم در تجربیات آزمایشگاهی در اشل کوچک بکار رود .

#### منابع :

1. Ardakani, M. S., J. T. Rehbock, and A. D. McLaren. 1973. Oxidation of nitrite to nitrate in a soil column. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:53-56.
2. Ayers, R. S. and R. L. Branson. (editors). 1973. Nitrates in the upper Santa Ana River Basin in relation to groundwater pollution. *Calif. Agr. Exp. Sta. Bull.* 861, 59 pp.
3. Broadbent, F. E., K. B. Tyler, and G. N. Hill. 1957. Nitrification of ammoniacal fertilizers in some California soils. *Hilgardia* 27:247-267.
4. Carnahan, B., H. A. Luther, and J. O. Wilkes. 1969. *Applied numerical methods.* John Wiley and Sons, New York. 361-390.
5. Cooper, G. S. and R. L. Smith. 1963. Sequence of products formed during denitrification in some diverse western soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27 : 659-662.
6. Duffy, J. 1972. Polynomial theory of complex systems and its proposed application to modeling N transformation in soils. IN A study of certain ecological, public health, and economic consequences of the use of inorganic nitrogen fertilizer. Center for the Biology of Natural Systems. First Year Progress Report to NSF, F1-F12.

44\_ Steady State

45\_ Functional Relations

7. Dutt, G. R., M. J. Shaffer, and W. J. Moore. 1972. Computer simulation model of dynamic bio-physico-chemical processes in soil. Tech. Bull. 196, Agr. Exp. Station, University of Arizona. 101 pp.
8. Endelman, F. J., M. L. Northup, D. R. Keeney, J. R. Boyle, and R. R. Hughes. 1972. A systems approach to an analysis of the terrestrial nitrogen cycle J. Environ. Sys. 2 :3-19.
9. Frere M. H., M. E. Jensen, and J. N. Carter. 1970. Modeling water and nitrogen behavior in the soil-plant system. Proc., Summer Computer Simulation Conference, pp. 746-750.
10. Hauck, R. D. 1973. Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies—past use and future needs. J. Environ. Quality Vol. 2, No. 3, 317-327.
11. Ivakhnenkov, A. G. 1971. Polynomial theory of complex systems. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-1 :364-378.
12. Justice, J. K. and R. L. Smith. 1962. Nitrification of ammonium sulfate in a calcareous soil as influenced by combinations of moisture temperature, and levels of added nitrogen. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26 :246-250.
13. Kohl D. H., G. B. Shearer, and B. Commoner. 1971. Fertilizer nitrogen : contribution to nitrate in surface water in a corn belt watershed. Science 174: 1331-1334.
14. McLaren, A. D. 1969. Steady state studies of nitrification in soil : theoretical considerations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33 :273-276.
15. McLaren, A. D. 1970. Temporal and vectorial reactions of nitrogen in soil. Can. J. Soil Sci. 50 :97-109.
16. McLaren, A. D. 1971. Kinetics of nitrification in soil: growth of the nitrifiers. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35 :91-95.
17. Rollins, A. L. 1968. Predictor-corrector method for evaluating systems of first order ordinary differential equations. Computer Center Publications, University of California, Davis.
18. Stojanovic B. J. and F. E. Broadbent. 1956. Immobilization and mineralization rates of nitrogen during decomposition of plant residues. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20 :213-218.