

## مدل سازی انتقال فسفر از حوضه های آبخیز به آبهای سطحی، (مطالعه موردی: حوضه سنت اسپیریت ایالت کبک کانادا)

علی نور، چندرا مادراموتو، محمد حسن موسوی زاده<sup>۱</sup> و سیف ا. امین<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> بخش آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۸۰/۱۱/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۱/۵/۵

### چکیده

کودهای آلی و شیمیایی حاوی فسفر برای افزایش حاصلخیزی خاک و تولید بیشتر محصولات کشاورزی به خاک مزارع اضافه می‌شود، در صورتیکه در اکثر حوضه‌های آبخیز سعی بر آن است که مقدار فسفر خارج شده از آنها کنترل گردد. در سالهای اخیر افزایش غلظت فسفر در آبهای سطحی نگرانی دانشمندان محیط زیست را به خود معطوف نموده است. اگر چه جلبکها و سایر گیاهان آبی نیازمند عناصر متعددی از جمله فسفر برای رشد خود می‌باشند ولی به نظر می‌رسد فسفر یکی از عناصر محدود کننده رشد آنها باشد. بهر حال این عنصر و ترکیبات آلی و معدنی آن عامل اصلی و کلیدی مغذی شدن یا کهولت دریاچه‌ها و دیگر پهنه‌های آبهای ساکن گزارش شده است. در این مطالعه به منظور بررسی نحوه انتقال فسفر به آبهای سطحی نمونه‌هایی از چهار گروه اصلی خاک و همچنین رسوبات خارج شده از حوضه آبخیز سنت اسپیریت واقع در ایالت کویک کانادا جمع‌آوری و سه هر یک از نمونه‌ها به ترتیب ۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم فسفر اضافه گردید و مدت ۷ روز جهت به تعادل رسیدن فسفر اضافه شده و نمونه‌های خاک و رسوبات در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شدند. بعد از یک هفته از هر کدام از نمونه‌های خاک و رسوب زیر نمونه‌هایی در سه تکرار تهیه و مقدار فسفر قابل عصاره‌گیری در آب و فسفر قابل استفاده در نسبت‌های آب به خاک ۱:۱۰۰، ۱:۲۰۰ و ۱:۵۰۰ اندازه‌گیری شد. فسفر محلول در آب با استفاده از روش مورفی و رایلی بعد از چهار ساعت شیک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که بیش از ۹۰٪ فسفر قابل عصاره‌گیری پس از ۳ ساعت از ذرات خاک و رسوب جدا شدند. بنابراین برای حصول اطمینان بیشتر جدا شدن فسفر محلول از ذرات خاک و رسوب چهار ساعت شیک نمونه‌های حاوی فسفر توصیه می‌گردد. با اندازه‌گیری مقدار فسفر قابل استفاده در تمام نمونه‌ها (با روش مهلیچ) هم دماهای بین فسفر قابل استفاده خاک در سطوح مختلف، فسفر اضافه شده و فسفر محلول در نسبت‌های مختلف آب و خاک تعیین گردید. نتایج حاصله یک رابطه

۱۷۳



لگاریتمی خطی را بین هم دماهای فسفر قابل عصاره‌گیری در آب و فسفر قابل استفاده در نسبت‌های مختلف آب و ذرات خاک و رسوب بیان می‌کند. بنابراین با توجه به خصوصیات خاکهای یک حوضه آبخیز و با دانستن پارامترهای مربوط به خطوط هم دما (مانند شیب خطوط) و با استفاده از مدل‌های ریاضی، انتقال فسفر محلول از حوضه‌های آبخیز را می‌توان با اطمینان بالایی مدل سازی نمود. در این مطالعه از مدل ANSWERS برای انتقال فسفر استفاده شد و نتایج شبیه سازی مدل در یک حوضه آبخیز ارائه گردید. مقایسه نتایج شبیه سازی و داده‌های مشاهده شده در حد مطلوب می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** فسفر محلول، مدل سازی انتقال فسفر از حوضه‌های آبخیز، فسفر قابل استفاده، هم دما.

### مقدمه

سالانه مقدار زیادی کودهای فسفوره برای رشد و افزایش تولید محصول گیاهان زراعی به خاک اضافه می‌شود. شسته شدن این عنصر از سطح خاک مزارع و انتقال آن به آبهای سطحی، آلودگی و مسن شدن آنها را موجب می‌گردد (۱، ۲، ۵، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۲۳). این عنصر بصورت چسبیده<sup>۱</sup> به ذرات کلونیدی و رسوبات فرسایش یافته و فسفر محلول وارد آبهای سطحی می‌شود (۵، ۱۲، ۱۴، ۲۴ و ۲۵). اگر غلظت فسفر محلول در آبهای سطحی به ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر برسد باعث رشد سریع جلبکها شده و آلودگی پهنه آبهای سطحی را بدنبال خواهد داشت. پژوهشگران گزارش نموده‌اند که جلبکها می‌توانند صد در صد فسفر محلول را یک روزه جذب نمایند (۱۰). همچنین تحقیقات نشان داده است که ۱۵ تا ۲۰ درصد فسفر چسبیده به ذرات فرسایش یافته نیز می‌تواند به صورت محلول در آمده و مسئله آلودگی آب‌ها را تشدید نماید (۱۰). به علت گردش پیچیده فسفر در طبیعت هنوز راه حل نهایی برای جلوگیری از آلوده شدن آبهای سطحی توسط فسفر ارائه نشده، ولی قطعاً جلوگیری از فرسایش خاک حوضه‌های آبخیز

می‌تواند انتقال فسفر و آلودگی آبها را کاهش دهد (۱۵، ۱۶، ۲۷ و ۲۸).

در سالهای اخیر از انواع مدل‌های ریاضی میانگینی<sup>۲</sup> و پخشی<sup>۳</sup> برای محاسبه و پیش بینی انتقال فسفر از حوضه‌های آبخیز کشاورزی استفاده شده است (۵ و ۱۴). خروجی مدل‌های میانگینی معمولاً عکس العمل یک حوضه بر اساس معدل پارامترهای مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی، خاک، پوشش گیاهی و نوع استفاده از زمین آن حوضه می‌باشد. استفاده از این مدلها آسان و کم هزینه و نیازمند صرف وقت کم از نظر کارکرد با کامپیوتر است. ولی این مدلها نمی‌توانند تأثیر قسمتهای مختلف حوضه روی انتقال رسوب و آلودگی ناشی از آن را نشان دهند (۳، ۶، ۷ و ۸). بنابراین اگر در حوضه آبخیزی نحوه کشت و یا استفاده از زمین تغییر کند این مدلها تأثیر این تغییرات را نمی‌توانند سریعاً نشان دهند (۸ و ۹). لیکن مدل‌های پخشی می‌توانند تأثیر هر نقطه از حوضه مورد مطالعه را بر کیفیت آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و آبهای زیرزمینی به خوبی ارزیابی نمایند. برای مثال اثر کشت‌های متعدد و مدیریت آنها را بر فرسایش و آلودگی آب سریعاً نشان



2- Lumped

3- Distributed

1- Sediment-bound

(۲۰). در پایین ترین قسمت حوضه بافت خاکها رسی و لومی رسی بوده و حدود ۴۰٪ سطح حوضه را در بر می گیرد. سری این خاکها سنت راسالی<sup>۳</sup> و سنت لورنت<sup>۴</sup> می باشند. در بالا دست حوضه، بافت غالب خاکها لومی است و حدود ۱۱٪ مساحت دارند. خاکهای شنی تقریباً ۴۶٪ سطح حوضه آبخیز را پوشانیده اند (۲۰ و ۲۱) و بقیه خاکهای حوضه که حدود ۲۳٪ مساحت دارند دارای بافت سیلتی می باشند. طبق گزارشات موجود بیشتر فعالیت کشاورزی روی خاکهای سنگین انجام می گیرد (۲۱).

رودخانه ای با طول ۹ کیلومتر و اختلاف ارتفاع ۴۰ متر از بالاترین نقطه حوضه تا محل خروجی در حوضه آبخیز جریان دارد. شیب قسمتهای زیر کشت حوضه بین ۰ تا ۳ درصد و شیب تپه ها حدود ۵٪ می باشد. قسمتهای از حوضه که ساختار سنگی دارند اغلب زیر درختان جنگلی و بوته های میبل<sup>۵</sup> قرار دارد. بنابراین تمام این عوامل باعث می شود که توپوگرافی حوضه مسطح تا تپه ماهوری ارزیابی گردد (۲۱).

دمای متوسط سالیانه حوضه آبخیز ۵/۲ درجه سانتی گراد و درجه حرارت مرداد ماه (گرمترین ماه سال) حدود ۱۸ تا ۲۱ درجه سانتی گراد است. میانگین سالیانه ریزش های جوی ۸۶۰ تا ۱۰۵۰ میلی متر می باشد که تقریباً ۲۰ تا ۲۵ درصد آن ریزش های جوی را برف تشکیل می دهد (۲۰). بارندگی های سنگین در اوایل بهار و اواسط تابستان بوقوع پیوسته و بنابراین مجموعه عوامل ذکر شده باعث می شود اقلیم حوضه در طبقه بندی معتدل قرار گیرد.

با استفاده از اطلاعات پایه (۲۰) چهار گروه اصلی خاک لومی، رسی، سیلتی، و شنی از حوضه

می دهند (۲۰). لذا این مدلها وسایل بسیار خوبی جهت پژوهش و برنامه ریزی به مدیریت حوضه های آبخیز ارائه می کنند.

مدل ANSWERS یک مدل پخش است (۶، ۹ و ۱۷) که کارایی بالای آن در نقاط مختلف آمریکا، کانادا و اخیراً در ایران از نظر شبیه سازی هیدرولوژی و فرسایش خاک نشان داده شده است (۳، ۶ و ۱۷). این مدل می تواند برای هر رگبار منفرد، هیدروگراف رواناب و نمودار رسوب تولید شده را به صورت لحظه ای و پیوسته شبیه سازی نماید. بنابراین مدل ANSWERS در طبقه بندی مدل هایی قرار می گیرد که بر اساس بارندگی های منفرد<sup>۱</sup> کارایی دارند (۷ و ۸). لذا می توان با تغییراتی که جهت انتقال فسفر در این مدل به عمل آمده است انتقال فسفر از حوضه آبخیز را شبیه سازی نمود (۲ و ۵).

**حوضه آبخیز مورد مطالعه:** حوضه آبخیز سنت اسپریت با وسعت ۲۶۱۰ هکتار (شکل ۱) تقریباً در ۵۰ کیلومتری شمال مونترال در ایالت کبک کانادا قرار دارد (۱۸، ۲۰ و ۲۱). این حوضه آبخیز قسمتی از حوضه آبخیز رودخانه لآسمسیون<sup>۲</sup> را تشکیل می دهد. تعداد ۲۵ شرکت زراعی تجاری با ۷۰۰ نفر جمعیت در حوضه به فعالیت مشغولند. از کل مساحت حوضه ۱۶۸۲ هکتار که تقریباً ۶۴٪ مساحت حوضه را تشکیل می دهد در تولید محصولات کشاورزی فعالیت دارند. مساحت جنگلهای این حوضه حدود ۶۶۳ هکتار است که ۲۵٪ سطح حوضه را تشکیل می دهد (۲۱). حدود ۲۹۰ هکتار که ۱۱٪ مساحت حوضه می باشد بدون کشت و زرع است. تقریباً ۱۶ سری خاک در کل حوضه گزارش شده است که از چهار نوع رسوبات زمین شناسی تشکیل شده اند

3- Ste. Rosalie  
4- Ste. Laurent  
5- Mayple

1- Event based  
2- L'Assumpsion



را به کار انداخته و در فواصل زمانی ۰/۲۵، ۰/۱۶، ۰/۷، ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت نمونه‌هایی از محصول برداشته و مقدار فسفر قابل عصاره‌گیری وسیله آب<sup>۲</sup> به شرحی که خواهد آمد اندازه‌گیری شد. برای این کار تقریباً ۴۵ میلی‌لیتر مایع بالایی ارلن با ۲۰۰۰ دور در دقیقه برای مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه تا صاف شدن سطح محلول سانتریفوژ شد. محلول بالای لوله‌های سانتریفوژ با کاغذ فیلتر واتمن شماره ۴۲ صاف گردید و فسفر قابل اندازه‌گیری در آب در هر نمونه با روش مورفی و رایلی (۴) تعیین شد. فسفر قابل استفاده کلیه نمونه‌ها نیز با روش مهلیج - ۳ اندازه‌گیری گردید. اهداف این مطالعه: ۱- بدست آوردن یا تعیین زمان جدا شدن فسفر محلول از ذرات خاک و رسوب ۲- تعیین رابطه فسفر قابل استفاده و فسفر محلول (هم دماها) در سری‌های اصلی خاک حوضه سنت اسپریت ۳- استفاده از معادله هم دماها و شبیه‌سازی انتقال از یک حوضه آبخیز نمونه با استفاده از مدل ریاضی ANSWERS.

روش کار: برای شبیه‌سازی انتقال فسفر از حوضه‌های آبخیز نیازمند به استفاده از یک مدل ریاضی مانند مدل ANSWERS<sup>۳</sup> می‌باشیم که بر اساس بارندگی‌های منفرد هیدرولوژی یک حوضه را شبیه‌سازی کند. این مدل به دلایل زیر جهت انتقال فسفر به کار گرفته شد.

۱- این مدل یک مدل معین<sup>۴</sup> با زیر روال‌های<sup>۵</sup> مختلفی است که برای منظورهای مختلف می‌توان در قسمت اصلی مدل و زیر روال‌های آن تغییرات مناسبی بوجود آورد.

۲- مدل می‌تواند برای حوضه‌های آبخیز دیگر بدون واسنجی مورد استفاده قرار گیرد.

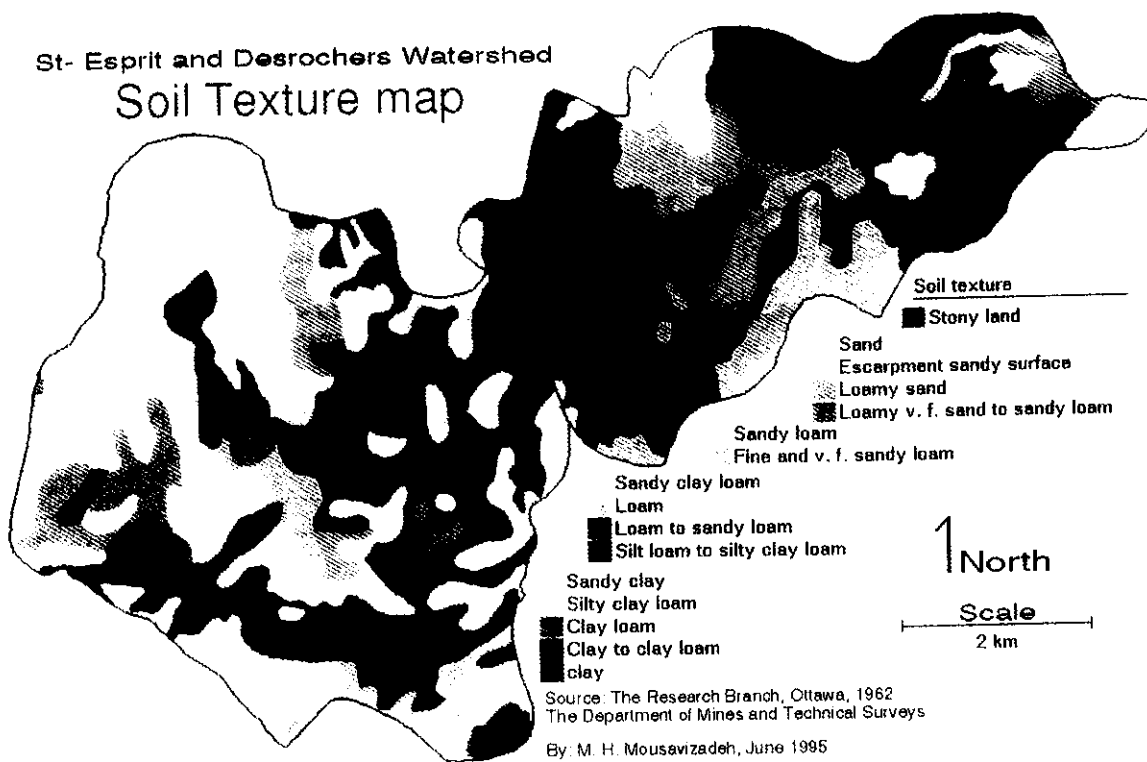
- 3- Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation
- 4- Deterministic
- 5- Subroutine

آبخیز جهت نمونه‌برداری انتخاب گردید. از هر یک از این خاکها ۵ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۵ متر هر هکتار برداشته (تقریباً ۲ کیلوگرم) و مخلوط گردید. از رسوبات محل خروجی حوضه آبخیز نیز یک نمونه ۲/۵ کیلوگرمی در کیسه پلاستیکی برداشته شد. کلیه نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک منتقل و با قرار گرفتن در معرض هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. هر کدام از نمونه‌ها را روی میز آزمایشگاه پهن نموده و ۱۰۰ گرم از هر نمونه بطور تصادفی برداشته و به آنها بترتیب ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ میلی‌گرم P به ازای هر کیلوگرم خاک  $KH_2PO_4$  محلول اضافه گردید (در این حال درصد رطوبت خاک حدود ۳۰٪ وزن‌تر بود). جهت ایجاد تعادل بین فسفر اضافه شده و ذرات خاک کلیه نمونه‌ها یک هفته در شرایط آزمایشگاهی نگهداری و پس از مدت مذکور از نمونه‌های خاک و رسوب زیر نمونه‌هایی در ۳ تکرار برداشته شد. به نمونه‌های برداشته شده آب بدون یون<sup>۱</sup> به نسبت‌های ۱:۱۰۰، ۱:۲۰۰ و ۱:۵۰۰ اضافه گردید و با دستگاه شیکر ۴ ساعت شیک داده شدند (مدت زمان ۴ ساعت شیک به صورتی که شرح داده خواهد شد بدست آمده است). مقادیر فسفر محلول در آب در مورد کلیه ارلن‌های حاوی محلول آب و خاک و رسوب برای نسبت‌های مختلف آب به خاک پس از سانتریفوژ نمونه‌های آب رد شده از صافی اندازه‌گیری گردید. برای جلوگیری از رشد باکتریها دو یا سه قطره تولونن به هر محلول اضافه شد. نمونه‌های جداگانه‌ای از خاک و رسوبات برداشته و مقادیر ۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر به ازای هر کیلوگرم خاک اضافه گردید سپس حجم محلول را به ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانیده و نمونه‌ها را روی دستگاه شیکر قرار داده و دستگاه



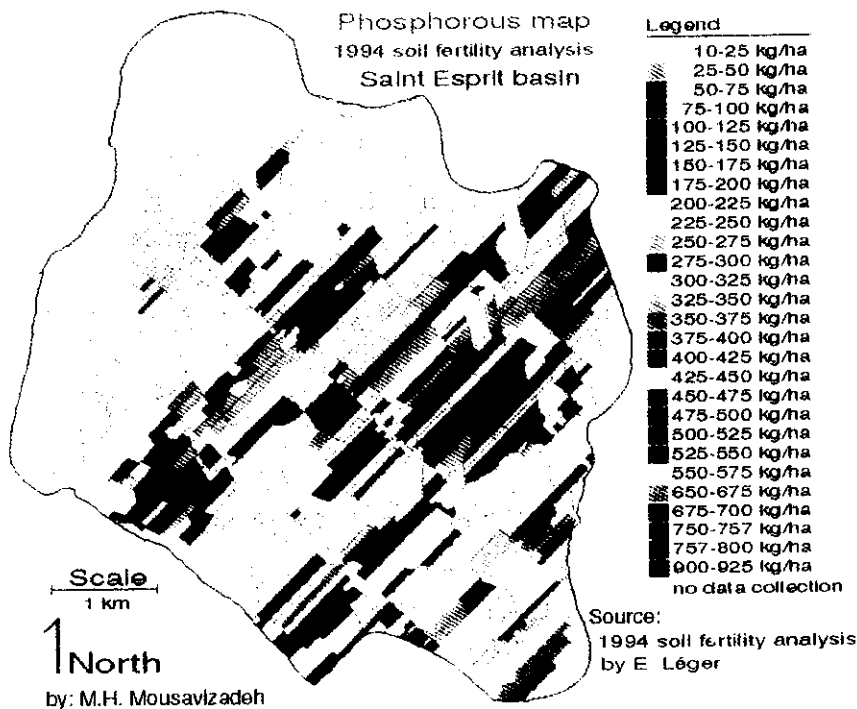
- 1- Deionized water
- 2- Water Extractable Phosphorous, WEP

St- Esprit and Desrochers Watershed  
Soil Texture map



ب) نقشه فسفر خاک

Phosphorous map  
1994 soil fertility analysis  
Saint Esprit basin



۱۷۷



آب خواهد چسبید و در هر صورت از حوضه، آبخیز خارج می‌گردد (۲۱). این رابطه بصورت جذب<sup>۱</sup> و آزاد سازی<sup>۲</sup> نشان داده شده است (شکل ۲). چون فسفر کل بصورت چسبیده به ذرات کلونیدی فرسایش یافته که دارای سطح ویژه بزرگی هستند انتقال پیدا می‌کند، لذا مقدار این مواد و در نتیجه فسفر کل در رسوبات بیشتر از خاک مادر می‌باشد. معادله (۱) مقدار فسفر انتقال یافته توسط ذرات معلق در رواناب را نشان می‌دهد (۲ و ۲۵):

(۱)

$$P_{sed} = k_1 \times Sed \times PER$$

که در این معادله:

$P_{sed}$  = مقدار فسفر کل همراه ذرات فرسایش یافته، kg

$k_1$  = ضریب تبدیل  $\mu g$  به  $kg$

$P_{total}$  = فسفر کل خاک  $\mu g/g$  soil

Sed = رسوبات حاصله از فرسایش، kg

Phosphorus Enrichment Ratio = PER

پارامتر PER برابر با نسبت مقدار کل فسفر در واحد وزن رسوبات انتقال یافته از حوضه به مقدار کل فسفر موجود در واحد وزن خاک مادر سطح حوضه می‌باشد (۲ و ۱۴). دامنه تغییرات این پارامتر از ۱ تا ۶ گزارش شده است (۲ و ۵). بدین صورت که PER در رسوبات فرسایش یافته از خاکهای ریز بافت به ۱ نزدیکتر و در خاکهای درشت بافت مقدار آن حدود ۶ می‌باشد (۱۴). بنابراین رابطه بین پارامتر PER و مقدار مواد معلق خارج شده از حوضه مورد مطالعه قرار گرفته و بصورت معادله زیر برای حوضه هویسن<sup>۳</sup> که زیر

۳- تغییراتی که در سطح حوضه‌های آبخیز از نظر شیب زمین، پوشش گیاهی، روش کشت زمین و مدیریت کشت صورت می‌گیرد را می‌توان توسط مدل سریعاً مورد ارزیابی قرار داد.

۴- حوضه‌های زیادی از نظر اندازه، شکل و پوشش گیاهی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته‌اند و هیدرولوژی و رسوب زایی شبیه سازی شده آنها با آنچه از طریق مشاهده بدست آمده مقایسه شده است.

۵- رایدن و دیگران (۲۲) در سال ۱۹۷۳ نشان دادند که فقط رگبارهای معینی در سال فرسایش زیادی ایجاد کرده که در انتقال فسفر از حوضه‌های آبخیز تأثیر بسزایی دارند. چون اساس مدل ساختاری مدل ANSWERS برای بارندگی‌های منفرد است، بنابراین اثرات هر بارندگی را بطور جداگانه می‌توان پیش بینی و مطالعه نمود.

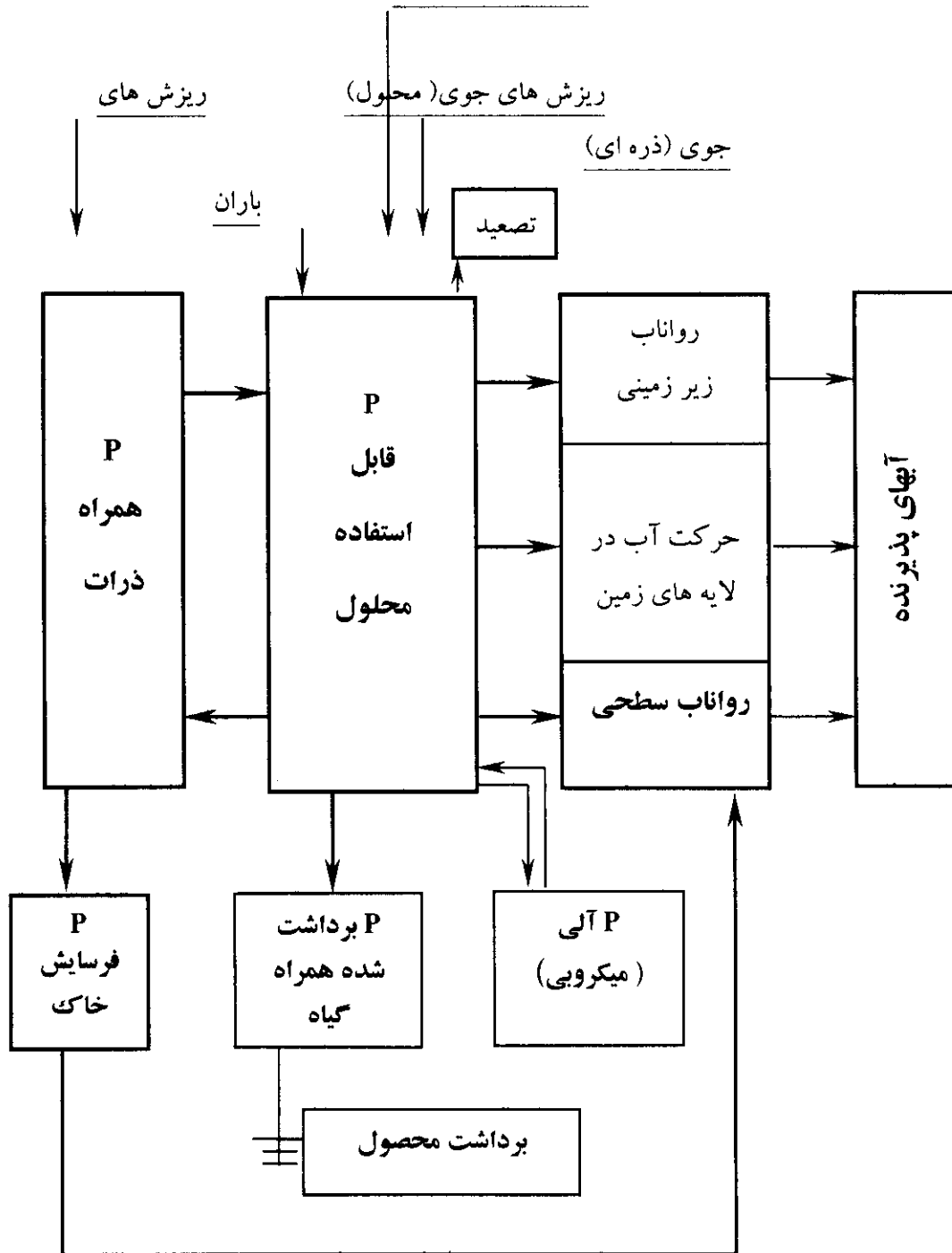
۶- در مورد استفاده از مدل انتقال فسفر رابطه هم دماهای بین فسفر محلول و فسفر قابل استفاده مورد نیاز است (۳، ۵ و ۱۴). در هر سری خاک حوضه‌ها، این رابطه تعیین و برای شبیه سازی عکس العمل حوضه به مدل داده می‌شود.

مدل انتقال فسفر: شکل (۲) انتقال فسفر از زمینهای کشاورزی به آبهای سطحی را نشان می‌دهد (۲ و ۲۰). همچنین این شکل حاوی فرآیندهای دیگر فسفر در طبیعت است (۲۹). در خلال یک بارندگی، خاک فرسایش یافته و مقادیری از فسفر توسط ذرات کلونیدی و ذرات رسوب از سطح حوضه آبخیز منتقل می‌شود. فسفر محلول در رواناب در اثر واکنش بین فسفر قابل استفاده موجود در ذرات فرسایش یافته و فسفر محلول وارد رواناب شده و یا بالعکس فسفر محلول در رواناب به ذره خاک یا رسوب معلق در



1-Absorption  
2- Release  
2- Hoepner

مواد شیمیایی زراعی



شکل ۲- مسیر انتقال و حرکت فسفر به آبهای پذیرنده (با تغییراتی از Novotny و Trans, ۱۹۷۸).

$W_s$  = نسبت حجم رواناب به جرم مواد معلق  
(نسبت حجم سیلاب و رسوب انتقال یافته در هر لحظه).

$M_{III}$  = فسفر قابل استفاده خاک<sup>۵</sup> که معمولاً با روشهای بری<sup>۶</sup>، مهلیچ<sup>۷</sup> یا اولسون<sup>۸</sup> اندازه گیری می شود،  $\mu\text{g/g soil}$  (در این پژوهش فسفر قابل استفاده به روش مهلیچ اندازه گیری شده است).  
 $\alpha$  و  $\beta$  = ضرایب ثابتی هستند که بستگی به خصوصیات خاک داشته و برای هر سری خاک هر حوضه آبخیز بدست می آیند.

### نتایج و بحث

شکل (۳) مقادیر جدا شده فسفر از ذرات خاک و رسوب را برای نمونه های مورد آزمایش پس از گذشت زمان نشان می دهد. آزمایش برای نمونه هایی که فسفر به آنها اضافه نشده و نمونه هایی که  $100 \mu\text{g P/g soil}$  فسفر اضافه شده است، می باشد. برای سایر موارد اضافه شده نیز وضعیت به همین صورت بوده است (۱۹). نتایج این قسمت نشان می دهد که بیش از ۹۰٪ فسفر پس از گذشت ۳ ساعت از شیک نمونه ها از ذرات خاک جدا می شود لذا ۴ ساعت کار دستگاه شیکر برای حصول نتیجه مطلوب کافی است.

شکل (۴) رابطه بین فسفر قابل استفاده و فسفر محلول را در نسبت های مختلف آب و خاک نشان می دهد. با توجه به شکل های (۵ و ۶) می توان ضرایب  $k_2$ ،  $\alpha$  و  $\beta$  را در معادله ۳ بدست آورد. بدین ترتیب که  $\beta$  شیب (فیزیکی یا حسابی خطوط هم دما) در شکل A و B مربوط به شکل (۵) می باشند. برای بدست آوردن  $\alpha$  مقادیر فسفر

حوضه بزرگ بلاك کریک<sup>۱</sup> است گزارش شده است (۲ و ۵):  
(۲)

$$\ln(\text{PER}) = 2.5 - 0.18 \times \ln(\text{SS})$$

که

SS = مواد معلق سیلاب،  $\text{mgL}^{-1}$  می باشد.

لذا برای شبیه سازی انتقال فسفر و بدست آوردن روابط کلی مانند معادله (۲) تحقیق در حوضه های آبخیز ضروری است.

برای انتقال فسفر محلول رابطه بین پارامترهای هم دمای<sup>۲</sup> جذب فسفر محلول و فسفر قابل استفاده و فسفر محلول برای سری خاکهای حوضه مورد مطالعه در آزمایشگاه بدست می آید و معادله به مدل ریاضی داده می شود. وقتی رسوبات یا مواد معلق در سیلاب زیاد شوند عملاً بر آزادسازی فسفر محلول تأثیر دارند، لذا نسبت حجم رواناب به مواد معلق عامل تأثیرگذاری خواهد بود. این رابطه برای خاکهای مختلف با معادله (۳) بیان می شود (۴ و ۲۰).  
(۳)

$$P_s = k_2 (W_s)^\alpha (M_{III})^\beta$$

که در این معادله :

$P_s$  = فسفر محلول در آب<sup>۴</sup>،  $\mu\text{g/g soil}$ .

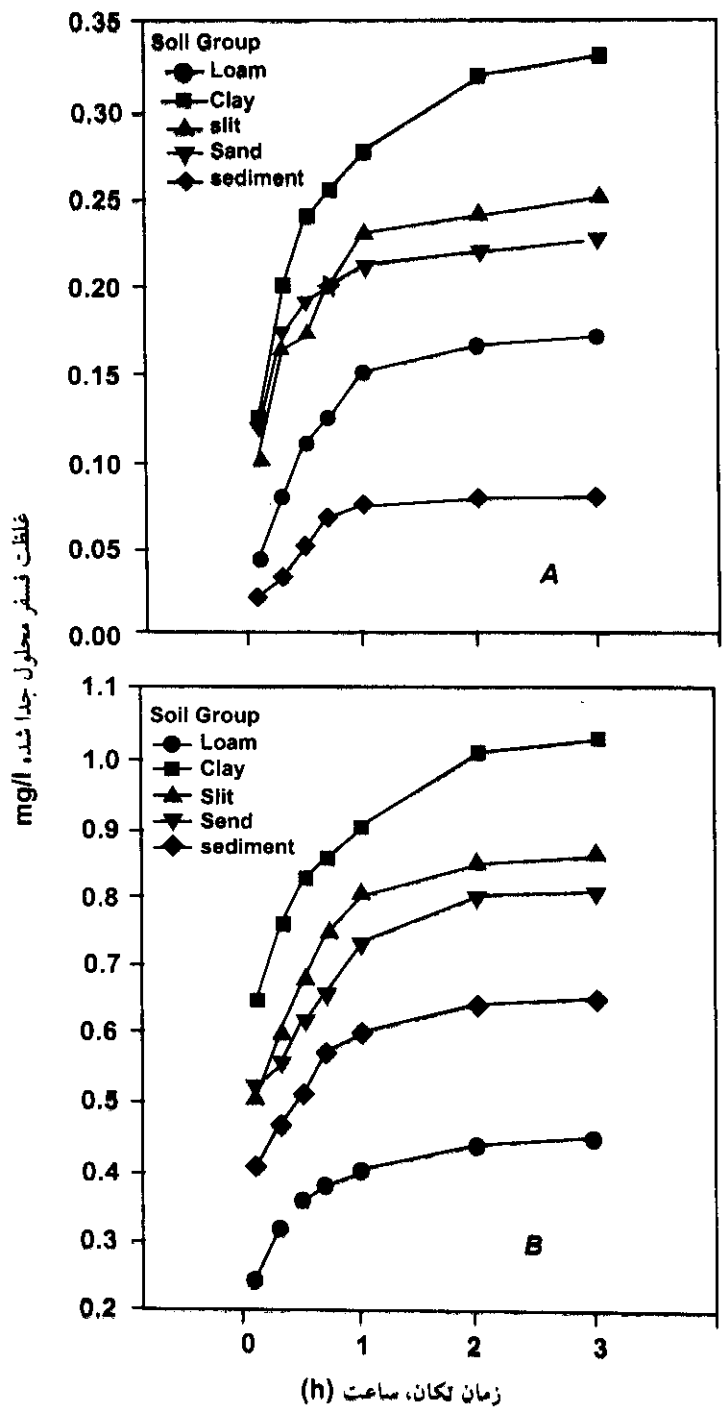
$k_2$  = ضریب ثابتی که برای خاکهای مختلف یک حوضه آبخیز تعیین می شود.

۱۸۰



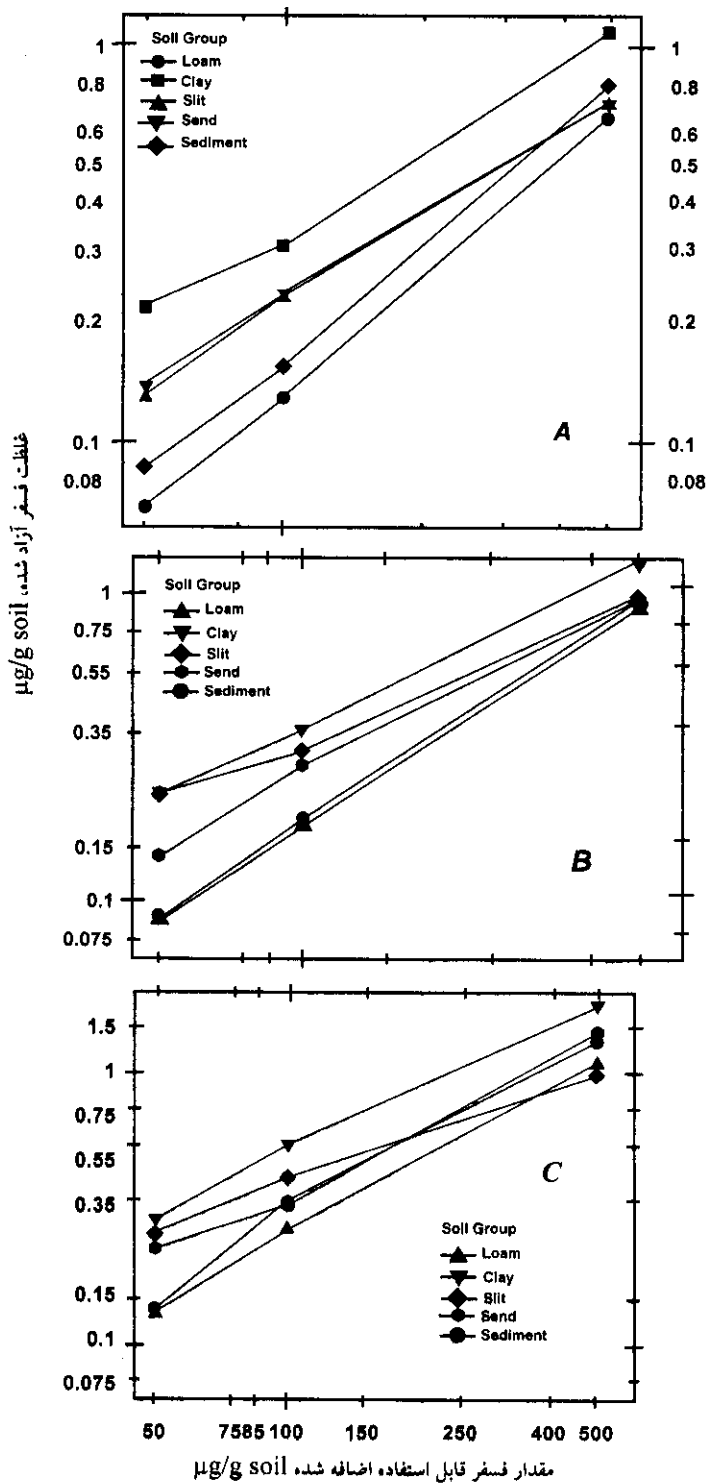
- 1- Black Creek
- 2- Isotherm
- 4- Water soluble phosphorus
- 5- Soil available phosphorus( Mehlich<sub>III</sub> available phosphorus)
- 6- Bray
- 7- Mehlich





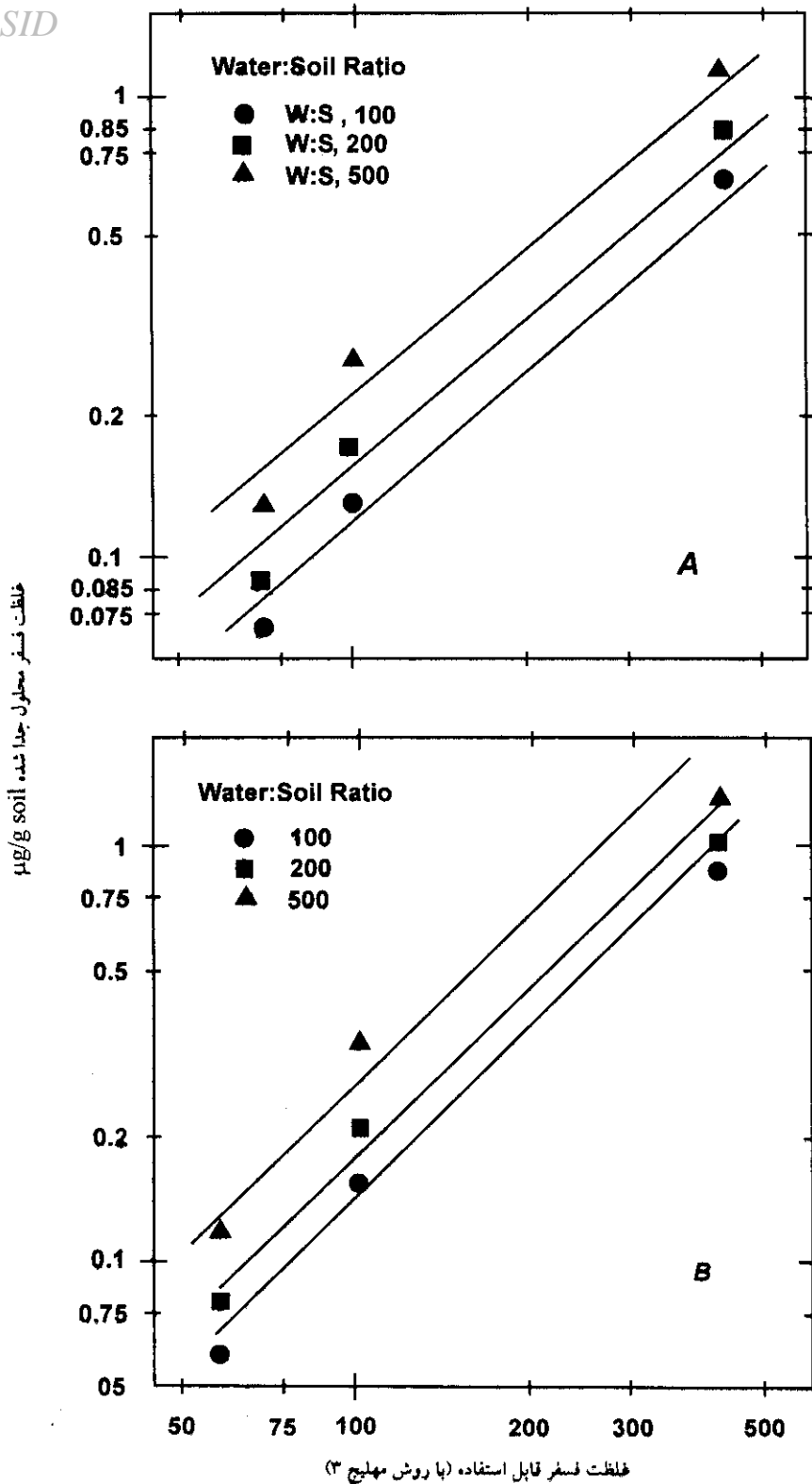
شکل ۳- مقدار فسفر محلول جدا شده از ذرات خاک در زمانهای مختلف برای گروههای مختلف خاک و رسوب بترتیب A = نمونه‌های بدون فسفر اضافه شده و B = فسفر اضافه شده به نمونه‌ها به میزان 100 µg/g of soil





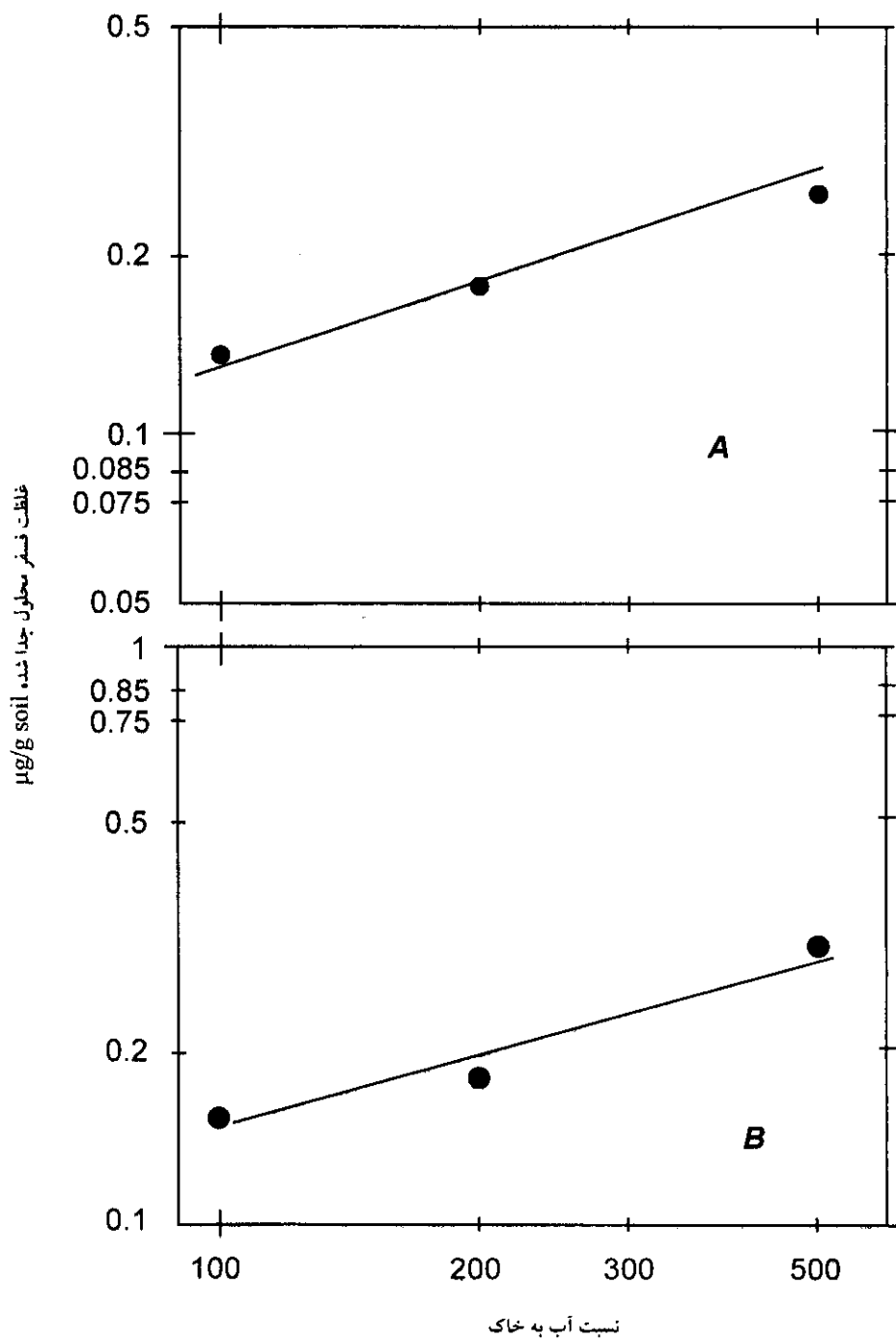
شکل ۴- فسفر محلول آزاد شده برای گروههای خاک و رسوب در سطوح مختلف فسفر قابل استفاده  
 بترتیب در نسبت‌های آب به خاک، A=100, B=200





شکل ۵- رابطه فسفر آزاد شده محلول و فسفر قابل استفاده بترتیب در نسبت‌های آب و خاک A=100, B=200, C=500





شکل ۶- رابطه بین فسفر محلول جدا شده از ذرات خاک و نسبت آب و خاک: بترتیب A= گروه لوم و B= رسوب

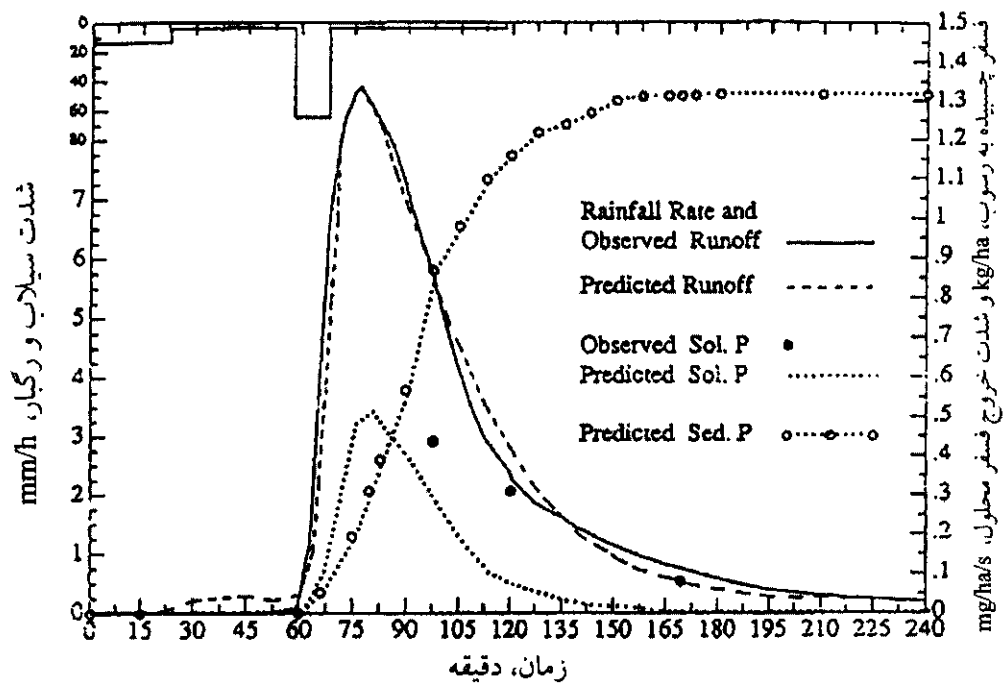
### کاربرد عملی

جدول ۱ مقادیر ضرایب مربوط به رابطه فسفر قابل استفاده و فسفر محلول خاکهای حوضه آبخیز هوپنر را نشان می‌دهد. برای شبیه‌سازی انتقال فسفر از حوضه هوپنر داده‌های بارندگی های ۱۹۸۰/۹/۴ و ۱۹۸۱/۶/۲۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دو بارندگی در حوضه هوپنر رواناب و فرسایش معتابھی ایجاد نموده‌اند. شکل‌های (۷) و (۸) بترتیب نتایج شبیه‌سازی بارندگی ۱۹۸۰/۹/۴ و ۱۹۸۱/۶/۲۲ را نشان می‌دهند. با توجه به نزدیکی بسیار زیاد و هم‌خوانی هیدروگراف‌های رواناب پیش‌بینی شده و مشاهده شده می‌توان با اطمینان زیادی انتقال فسفر از حوضه آبخیز را شبیه‌سازی نمود. شکل‌های (۷ و ۸) میزان فسفر محلول خروجی از حوضه مزبور را بر حسب  $mg/ha/s$  برای دو بارندگی مورد استفاده نشان می‌دهد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که مدل فسفر ارائه شده در این مطالعه که بر اساس روابط حاکم بر هم‌دماهای فسفر قابل استفاده و فسفر محلول در آب تبیین گردیده است قادر به شبیه‌سازی انتقال فسفر از حوضه های آبخیز می‌باشد.

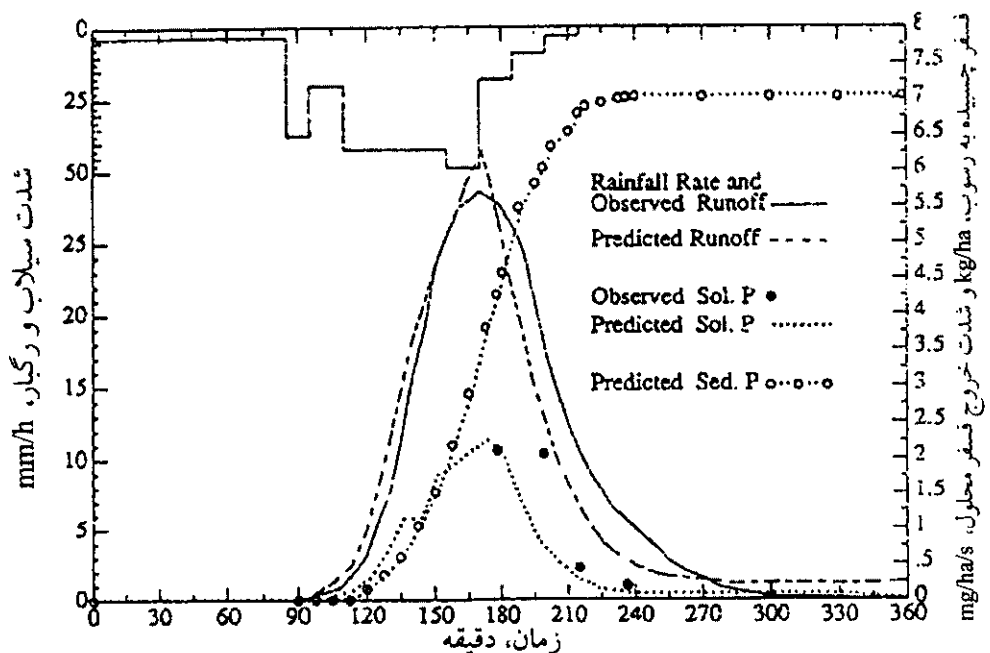
محلول برای مقدار ثابتی از فسفر قابل استفاده و در ازای مقادیر مختلف نسبت‌های آب به خاک رسم می‌گردد. شیب خط بدست آمده همان مقدار  $\alpha$  است ( شکل ۶). با معلوم بودن  $\alpha$  و  $\beta$  و قرار دادن مختصات معلوم یک نقطه از خطوط شکل (۵) می‌توان  $k_2$  را بدست آورد.

در خلال یک بارندگی با داشتن حجم سیلاب و میزان خاک فرسایش یافته،  $W_s$  (نسبت آب به ذرات معلق) در هر لحظه قابل محاسبه است. مقادیر فسفر قابل استفاده خاکهای مختلف یک حوضه با آزمایشات معمول خاک یا از گزارشات و مطالعات خاکشناسی محل تعیین می‌گردد. با تعیین مقادیر  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $k_2$  حوضه‌های مورد نظر می‌توان مقادیر فسفر محلول در آب را با استفاده از معادله ۳ محاسبه نمود. از طرف دیگر مقدار خاک فرسایش یافته در یک حوضه آبخیز طی هر بارندگی مستقل قابل محاسبه است. حال با معلوم بودن فسفر کل خاکهای یک حوضه و با استفاده از معادله (۱)، مقدار فسفر کل خروجی محاسبه می‌شود. با توجه به این که حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد این فسفر به سرعت قابل استفاده جلبکهاست (۱۰) لذا با توجه به غلظت فسفر محلول و مقادیر اخیر فسفر که بصورت چسبیده به ذرات انتقال یافته‌اند کسل فسفر





شکل ۷- مقادیر فسفر محلول و چسبیده به ذرات خاک فرسایش یافته از حوضه هوپنر در محل خروجی حوضه (بارندگی ۱۹۸۰/۹/۴)



شکل ۸- مقادیر فسفر محلول و چسبیده به ذرات خاک فرسایش یافته از حوضه هوپنر در محل خروجی حوضه (بارندگی ۱۹۸۰/۹/۴)



$\beta$	A	$k \times 10^6$	فسفر کل mg/kg	فسفر قابل استفاده mg/kg		سری یا گروه خاک	حوضه آبخیز
				Mehlich <sub>III</sub>	Bray p <sub>1</sub> *		
۱/۸۷۵	۱/۲۵	۵۳/۷۰	۴۷۵		۱۲	Blount (BmA)	هوپنر
۲/۷۵	۱	۸/۷۰	۴۹۷		۲۳	Morley MrB2	
۲/۷۵	۱	۸/۷۰	۵۰۶		۲۲	MrC3	
۰/۸۹	۰/۶۴	۸۷	۳۵۰	۲۶		رسی	سنت اسپریت
۰/۸۸	۰/۳۵	۴۹۱	۲۰۰	۲۰		لوم	
۰/۷۳	۰/۶۷	۲۳۵	۱۵۰	۱۵		شنی	
۰/۹۶	۰/۲۲	۶۴۹	۱۷۰	۱۸		سیلت	
۱	۰/۳۰	۳۳۷	۲۰۰	۲۱		رسوب	

\*گرفته شده از Amin Sichani, 1982.

### نتیجه‌گیری

مدل ANSWERS یک مدل پخش است که مدل انتقال فسفر چسبیده به ذرات فرسایش یافته و فسفر محلول به آن اضافه شده است (۲ و ۵). مدل فسفر بر اساس طبیعت مدل ANSWERS و همچنین رابطه تعادلی بین فسفر محلول و فسفر قابل استفاده که توسط محققین دیگر نیز اثبات شده است (۴، ۱۶ و ۱۷) صورت گرفته است. مدل جهت شبیه‌سازی دو بارندگی ۱۹۸۰/۹/۴ و ۱۹۸۱/۶/۲۲ در حوضه کشاورزی هوپنر مورد

ارزیابی<sup>۱</sup> قرار گرفته و فسفر محلول که مهمترین ترکیب معدنی فسفر از نظر تأثیرات محیط زیست و آلودگی آن می‌باشد با مقادیر مشاهده شده مقایسه شده‌اند و نتایج حاصله بسیار به هم نزدیک می‌باشند. شبیه‌سازی فسفر چسبیده به ذرات نیز به خوبی صورت گرفته است. بنابراین، این مدل می‌تواند برای پیش بینی انتقال عناصر یا مواد آلوده کننده که نظیر فسفر از رابطه هم‌دمایی بین قسمت محلول و قابل استفاده به نحوی پیروی می‌کنند به کار گرفته شود.

1. Ahuja, L. R., A. N. Sharpley, and O. R. Lehman. 1981a. "Effect of soil slope and rainfall characteristics on Phosphorus in runoff". *J. Environ. Qual.* 11(1): 9-13.
2. Amin Sichani, S. 1982. "Modelling of Phosphorus transport in surface runoff from agricultural watersheds". Ph. D. Dissertation. Agricultural Engineering Department, Prude University West Lafayette, IN, 157 p.
3. Amin Sichani, S., H. Momtahan, and B. A. Engel. 1990. "Application of ANSWERS model for prediction of runoff and sediment from small agricultural watersheds of Iran". *Iran Agric. Res.* 9: 101-120.
4. Amin Sichani, S., Sh. Zand parsa, and D. W. Nelson. 1993. "Relationship between soluble P and Extractable P in some calcareous soil of Iran". *J. Environ. Qual.* 22(3):578-583.
5. Amin Sichani, S., B. A. Engel, and E. J. Monke. 1990. "Prediction of runoff and sediment from agricultural watersheds: III. Sediment-bound and soluble Phosphorus loading". *Iran Agric. Res.* 9:75-99.
6. Amin, S., and H. Momtahan. 1993. "Introducing computer model ANSWERS and its application in soil and water conservation". Proceeding of International Conference on Environmental Management, Geowater and Engineering aspects. Wollongong, New South Wales, Australia. 521-526.
7. Amin Sichani, S., and B. A. Engel. 1990. "Prediction of runoff and sediment from agricultural watersheds". II: Watershed Simulation. *Iran Agric. Res.* 9:1-16.
8. Beasley, D. B. 1977. ANSWERS. "A mathematical model for simulating the effect of land use and management on water quality". Ph.D. Dissertation, Agricultural Engineering Department, Purdue university. West Lafayette, IN, 226p.
9. Beasley, D. B., and L. F. Huggins. "ANSWERS Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation", Users Manual. Agricultural Engineering Department. Purdue university. West Lafayette, IN, 55p.
10. Dorich, R. A., and D. W. Nelson. 1978. "Algal availability of soluble and sediment Phosphorus in drainage water of the Black Creek watershed". Unpublished report. Prude Agric. Expt. Sta., Prude university. West Lafayette, IN.
11. Foy, R. H., and A. E. Watts. 1998. "Observation on the spatial and temporal variation in the phosphorus status of lakes in the British Isles". *Soil Use Manage.* 14:131-138.
12. Gburek, W. J., A. N. Sharpley, L. Heathwaite, and G. J. Folmar. 2000. "Phosphorus management at the watershed scale: A modification of the phosphorus index". *J. Environ. Qual.* 29: 130-144 (this issue).
13. Johnston, A. E., H. Tunney, and R.H. Foy. 1997. "Phosphorus loss from agriculture to water: Synthesis and summary" P. 455-461. *In* H. Tunney et al. (ed.) Phosphorus loss from soil to water. Center for Agric. And Biosci. Int., New York.
14. Menzel, R. G. 1980. "Enrichment ratios for water quality modelling. Chapter 12. *In*: knisel, W. G. (ed): CREAMS. field-scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. USDA conservation research report. No. 26, 640p.
15. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1994. "Fertilizer recommendation for agricultural and horticultural crops". Ref. Book 209. MAFF Publ., London. U.K.
16. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1998. "Code of good agricultural practice for the protection of water". 2<sup>nd</sup> ed. MAFF publ., London. U.K.
17. Momtahan, H., and S. Amin. 1993. "Application of the ANSWERS model for prediction of runoff and sediment from a small agricultural watershed of Iran". Proceeding of International Conference on Environmental Management, Geowater, and Engineering aspects. Wollongong, New South Wales. Australia. 528-593.
18. Mousavizadeh, M. H. 1998. "Integration of a geographic information system and a continuous nonpoint source pollution model to evaluate the hydrogic response of an agricultural watershed". A Ph D. Thesis Agri and Bio sys. Eng. Dept. Megill university Montreal, Ca. 159p.





19. Nur, A. 1999. "The study of extractable and soluble phosphorus on an agricultural watershed in Quebec". A M.Sc. Thesis Agri and Bio sys. Eng. Dept. McGill university Montreal, Ca. 87p.
20. Novotny, V. H. Trans., G. V. Simsiman, and G. Cheaters. 1978. "Mathematical modeling of land runoff contaminated by phosphorus". *J. Water pollutes. Control. Fed.* 50 (1): 101-112.
21. Romkens, M. J. M., and D. W. Nelson. 1974. "Phosphorus relationship in runoff from fertilized soil". *J. Environ. Qual.* 13(1): 10-13.
22. Ryden, J. C., J. K. syers, and R. F. Harris. 1973. "Phosphorus in runoff and stream". *Advance in agronomy.* 25:1-45.
23. Ryding, S.O., and W. Rast. 1989. "The control of eutrophication of lakes and reservoirs". *Man and Biosphere Series.* Vol. 1. Unesco. Paris: The Parthenon Publ. Group, Carnforth, UK, and Park Ridge, NJ.
24. Sharpley, A. N., L. R. Ahuja, and R. G. Menzel. 1981. "The kinetics of Phosphorus desorption from soil". *Soil Sci. Am. J.* 45:493-496.
25. Sharpley, A. N. 1980. "The enrichment of soil Phosphorus in runoff sediments". *J. Environ. Qual.* 9:521-526.
26. Sharpley, A. N., R. H. Foy, and P. J. A. Withers. 2000. "Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: An overview." *J. Environ. Qual.* 29:1-9 (this issue)
27. Sharpley, A. N., T. C. Daniel, J. T. Sims, and D. H. Pote. 1996. "Determining environmentally sound soil phosphorus levels". *J. Soil water Conserve.* 51:160-166.
28. Tunny, H. A., P. J. Breeuwsma, A. Withers, and P. A. I. Ehlert. 1997. "Phosphorus fertilizer strategies: Present and future". *In* H. Tunney et al. (ed.) phosphorus loss from soil to water. Center for Agric, and Biosci. Int., New York. P. 177-203.
29. Whither, P. J. A., L. A. Dawidson, and R. H. Foy. 2000. Prospects for controlling nonpoint phosphorus loss to water: A UK. Perspective. *J. Environ. Qual.* 29: 167- 175.



---

## Modelling of Phosphorus transport from watersheds to receiving waters (Case study: St. Esprit Watershed, Quebec, Canada)

Amin<sup>1</sup>, S., A. A. Nur<sup>2</sup>, C. A. Madramootoo, and M. H. Mousavizadeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irrigation Engineering Department, Shiraz Univ., Shieaz, IRAN; <sup>2</sup> Agriculture and Abstract Biosystems Engineering McDonald Campus Mc Gill Univ., Montral, Canada.

---

### Abstract

Organic and commercial phosphorus fertilizers are used in today's agriculture to maintain a high level production of agricultural crops, while in most watersheds controlling of phosphorus is a very important issue. Because of the contribution of phosphorus to water quality deterioration, the environmental scientists are very concerned about the increasing of phosphorus concentration in standing waters. The blossom of the algae and other aquatic plants is related to different nutrient concentration e.g. phosphorus in their media, however, the role of phosphorus as a key element in eutrophication of the surface water and lakes is well documented. Four soil groups and sediment samples from the St. Esprit watershed of Quebec, Canada were amended with 50, 100, and 500 mg P kg<sup>-1</sup> soil as KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. The relationship between water-extractable P, WEP, (soluble phosphorus) and available P, MH<sub>III</sub>, (Mehlich #3) was determined for water:soil ratios of 100:1, 200:1, and 500:1. Soluble P for these water:soil ratios were measured by method of Murphy and Riley after 4 hours shaking. The 4 hours shaking of the samples were based on the laboratory experience that more than 90% of the water-extracted phosphorus was released after 3 hours shaking for all the samples. Therefore, the shaking time for release of soluble P was set at 4 hours. Mehlich#3 extractable P was also determined in soil and sediment samples. There was a linear relationship (linear isotherm) between the logarithm of soluble and Mehlich#3 extractable P at different water:soil ratios for all soil and sediment samples from the watershed. Therefore, the equation of these isotherms could be used in mathematical models such as ANSWERS, an event based model, for prediction of soluble P transport from this watershed.

**Keywords:** Soluble phosphorous; Phosphorus transport modeling; Available phosphorus; Isotherm.

19.

