



اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار
تهران - ۸ اسفندماه ۱۳۹۲



شبیه سازی تغییرات شوری زه آبها در شبکه زهکشی زیرزمینی میانداوب با استفاده از مدل DRAINMOD

سعید سلیمی^۱، صمد دربندی^۲، احد مولوی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم خاک - فیزیک و حفاظت خاک

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه علوم خاک و آب، تبریز، ایران (ssalimi64@yahoo.com)

۲- استادیار و عضو هیئت علمی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه علوم خاک و آب، تبریز، ایران

۳- استادیار و عضو هیئت علمی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه علوم خاک و آب، تبریز، ایران

چکیده

در این تحقیق مدل DRAINMOD برای پیش بینی تغییرات میزان شوری زه آبهای خروجی از لترال های شبکه زهکشی زیرزمینی میانداوب استان آذربایجان غربی مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور یک مزرعه در فازهای B که عملیات سیستم زهکشی احداث نگردیده بود انتخاب شد و سپس اطلاعات مورد نیاز مدل شامل پارامترهای هواشناسی، خاک، سیستم زهکشی، مدیریت آب، گیاه و ورودی های DRAINMOD-S جمع آوری گردید و مدل طی سال های آینده پس از اجرای پروژه، اجرا و شبیه سازی گردید. نتایج شبیه سازی میزان شوری زه آب خروجی از لترال برای مزرعه نشان داد که میزان شوری زه آب برای هر دو مزرعه گندم و یونجه، با گذشت زمان کاهش یافته و در سال هشتم به بعد تقریباً به میزان ثابتی (شوری آب آبیاری) می رسد. این مسئله نشان دهنده آن است که طی این سال ها شوری خاک از لایه سطحی تا عمق نصب زهکش ها شسته شده و رفته رفته کاهش می یابد بنابراین شوری زه آب خروجی هم کاهش می یابد. این میزان املاح خروجی در اثر زهکشی و انتقال آن به آبهای سطحی اثرات زیست محیطی را بوجود می آورد. پس می توان از مدل DRAINMOD به عنوان ابزار مدیریتی برای کاهش آلودگی زیست محیطی در مناطق زهکشی شده، استفاده نمود.

واژه های کلیدی: ۱- مدل DRAINMOD ۲- شبیه سازی ۳- شوری زه آب

مقدمه

ایران از نظر شرایط آب و هوایی جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شود و همانند بسیاری از نقاط جهان تنها راه بهره برداری مفید و مطلوب تر از این اراضی پهناور کشور که اکثراً فاقد سیستم زهکشی و اکثراً شور هستند، با تقویت و احداث سیستم های زهکشی سطحی و زیرزمینی میسر می باشد. روش های طراحی و ارزیابی سیستم های مدیریت آب باید

بتواند تغییرات شرایط جوی را در نظر گرفته و عملکرد سیستم را که در طول دوره های یک شرایط مشابه حاکم است، تشریح کند. به دلیل پیچیدگی سیستم مدیریت آب، مدل های شبیه سازی برای طراحی و تشریح عملکرد این سیستم ها ضروری می باشند (مرلاو و وی لی^۱، ۲۰۰۱).

طراحی و اجرای سیستم های آبیاری و زهکشی نیازمند شبیه سازی رژیم جریان آب در پروفیل خاک است. برخی از این مدل ها در دسترس بوده و برای این هدف مورد استفاده قرار می گیرند (اسکگز^۲، ۱۹۹۹). مسلماً با پیچیدگی مشکلات، شبیه سازی مدل ها ابزاری مفید برای دانستن فرآیندهای بهتر، با مقایسه استراتژی های متفاوت، با پیشنهاد راه حل و پیش بینی نتایج منطقی در دراز مدت است (بارین^۳ و همکاران، ۲۰۰۰). این مدل ها در ارزیابی سیستم های زهکشی بسیار مؤثر هستند (بحسسی^۴ و همکاران، ۲۰۰۶). معیارهای رایج طراحی و مدیریت شبکه های زهکشی، کنترل شوری و پایین نگه داشتن سطح ایستابی (جهت تهویه محیط ریشه گیاه) هستند. رهاسازی زه آبهای آلوده به نیترات ها، بقایای علف کش ها و آفت کش ها و عناصری مثل سلنیوم، بر، آرسنیک و انواع نمک ها در محیط، باعث به وجود آمدن مسائل جدی زیست محیطی شده و در نتیجه، معیار دیگری تحت عنوان حفاظت از محیط زیست به معیار های مرسوم افزوده شده است. از این رو ضروری است معیارهای رایج طراحی و مدیریت به گونه ای بازنگری شوند که جنبه های زیست محیطی نیز در آن ها گنجانده شود. مدیریت سیستم هایی که با معیارهای رایج طراحی شده اند و نیز طراحی سیستم های زهکشی جدید، باید به گونه ای باشد که حجم زه آبها و غلظت عناصر و نمک های موجود در آن به حداقل مقدار ممکن برسد (دربندی، ۱۳۸۰). یکی از مدل های شبیه ساز کامپیوتری که توانایی آنالیز پارامترهای کیفیت آب برای زمین های تحت زهکشی زیرزمینی هستند مدل DRAINMOD است (هلوینگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۲).

DRAINMOD برای گستره وسیعی از خاک ها، گیاهان و شرایط اقلیمی متفاوت شامل شرایط گرم یا نیمه خشک (ماریزو و همکاران، ۲۰۰۰؛ یانگ، ۲۰۰۸؛ آله^۶ و همکاران، ۲۰۱۰)، شرایط مرطوب (ایوانس^۷ و اسکگز، ۱۹۹۶) و شرایط آب و هوایی سرد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ دایانی^۸ و همکاران، ۲۰۰۹)، مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفته است. گذشته از عملکرد خوب DRAINMOD به عنوان یک مجموعه مستقل، این مدل قادر است به عنوان جزئی از مطالعات وسیع تر در مورد روابط آب و خاک و گیاه نقش عمده ای را ایفا نماید (گایل^۹ و همکاران، ۱۹۸۷). این مدل اولین بار توسط اسکگز در سال ۱۹۷۸ ارائه سپس توسط وی و دیگر محققین توسعه یافت. در مورد ارزیابی این مدل برای شبیه سازی شوری خاک و زه آبها مطالعات چندانی صورت نگرفته است. یوسف زاده و همکاران (۱۳۹۰) مدل DRAINMOD را برای شبیه سازی تغییرات شوری زه آبها در پروژه شبکه زهکشی زیرزمینی دشت زنگنه واقع در منطقه ماکو آذربایجان غربی مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کردند که این مدل تغییرات شوری زه آبها را با دقت بالایی شبیه سازی می نماید در این تحقیق مقدار MAE، RMSE و CRM بترتیب ۰/۰۹ دسی زیمنس بر متر، ۰/۰۵ دسی زیمنس بر متر و ۰/۱۹- بدست آمد. شیر محمدی (۱۹۹۷) پس از ارائه نتایج به دست آمده از کاربرد این مدل در برخی مناطق آمریکا بر لزوم استفاده از مدل DRAINMOD در ایران تاکید نمود. رهبری و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل DRAINMOD-N غلظت نیترات را در مرکز ترویج و توسعه هراز مازندران شبیه سازی کردند و مقادیر خطای متوسط، کارایی مدل و ضریب همبستگی را بترتیب ۰/۶۱ میلی گرم بر لیتر، ۰/۹۷ و ۰/۹۹ بدست آورده و گزارش کردند که می توان از این مدل به عنوان مدلی توانمند در پیش بینی و ابزاری برای مدیریت آب و آلودگی در ناحیه زهکشی به منظور کاستن از خطرات زیست محیطی اراضی شالیزاری استفاده نمود. لیو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند

-
1. Marlow and Willey
 2. Skaggs
 1. Borin
 2. Bahceci
 3. Helving
 4. Maurizio, Yang, Ale
 5. Evans
 6. Dayyani
 7. Gayle
 8. Luo

ارزیابی اثرات طراحی شبکه های زهکشی زیرزمینی و مدیریت آن بر روی کیفیت آب و هیدرولوژی منطقه مرکزی مینسوتا با مدل DRAINMOD NII نشان می دهد که مدیریت و طراحی شبکه های زهکشی به عنوان یک گزینه می تواند تلفات نیترا را بدون کاهش معنی دار در میزان محصول کاهش دهد.

هدف از این تحقیق پیش بینی تغییرات شوری زه آبها در شبکه زهکشی زیرزمینی میاندوآب با استفاده از مدل DRAINMOD است تا بتوان از آن بعنوان راهکاری برای کاهش خطرات زیست محیطی رودخانه ها ناشی از انتقال زه آبها، استفاده نمود.

تشریح مدل DRAINMOD

DRAINMOD به منظور شبیه سازی سطح ایستابی، زه آب خروجی، تعداد روزهای آمادگی زمین جهت کار، شوری خاک و زه آب خروجی از زهکش ها در مناطقی که سطح ایستابی در عمق کم قرار گرفته است به کار می رود. بیلان بندی در این مدل به دو بخش تقسیم می شود:

الف) بیلان بندی سطحی

مدل بیلان بندی آب سطحی به منظور برآورد نفوذپذیری، رواناب و نگهداشت سطحی انجام می دهد بیلان آب سطحی در هر فاصله زمانی Δt به صورت زیر می باشد:

$$(1) \quad P = f + \Delta s + Ro$$

در رابطه بالا: P : مقدار بارندگی (cm)، f : میزان نفوذ (cm)، Δs : تغییرات نگهداشت سطحی (cm) و Ro : رواناب سطحی (cm) می باشد.

ب) بیلان بندی زیر سطحی

مدل، بیلان آبی را برای مقطع نازکی از خاک که بین دو زهکش قرار گرفته است محاسبه می کند. بیلان آب زیرسطحی در هر فاصله زمانی Δt به صورت زیر می باشد:

$$(2) \quad \Delta V_a = D + ET + D_s - F$$

در رابطه بالا: ΔV_a : تغییرات میزان خلل و فرج خالی از آب (cm)، D : عمق آب زهکشی و یا عمق آبی که از طریق آبیاری زیرزمینی تأمین می گردد (cm)، ET : تبخیر و تعرق (cm)، D_s : نشست عمقی (cm) و F : نفوذ تجمعی (cm) می باشد (یانگ^۱، ۲۰۰۸).

مدل DRAINMOD-S یکی از زیر مدل های DRAINMOD است که برای شبیه سازی نمک در زه آب ها و خاک توسط کاندیل^۲ و همکاران در سال ۱۹۹۲ ارائه شده است. آن ها برای این منظور، معادله انتقال و پراکنش پذیری^۳ نمک ها را که به صورت زیر می باشد با روش اجزاء محدود حل نمودند:

$$(3) \quad \frac{\partial \theta C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(\theta D_{hz} \frac{\partial C}{\partial Z} \right) - q_z \frac{\partial C}{\partial Z} + r_c$$

در رابطه بالا: θ میزان رطوبت حجمی خاک، t زمان (day)، C غلظت نمک ها در فاز مایع (gr/m^3)، D_{hz} ضریب پراکنش پذیری (m^2/day)، Z محور رو به پایین (m)، q_z شدت جریان آب (m/day)، r_c تغذیه یا تخلیه نمک ($\text{gr}/\text{m}^3/\text{day}$). کاندیل و همکاران برای حل معادله انتقال نمک از ورودی های مربوط به رطوبت داخل مدل DRAINMOD استفاده نمودند (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴)

مواد و روشها

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه و شرح آزمایشات

1 Yang

2 Kandil

3 Advective-Dispersive

محل پروژه در استان آذربایجان غربی و سمت جنوب شرقی دریاچه ارومیه و در مجاورت شهرستان میاندوآب قرار گرفته و در عمل تقاطع جاده اصلی کرمانشاه - تبریز و کرمانشاه - ارومیه قرار دارد. فاصله پروژه تا مرکز استان آذربایجان غربی ۱۵۵ کیلومتر و تا مرکز استان آذربایجان شرقی ۱۸۰ کیلومتر می باشد. این تحقیق در موقعیت جغرافیایی بین 36° تا $37,15^{\circ}$ عرض شمالی و $45,50^{\circ}$ تا $46,15^{\circ}$ طول شرقی قرار گرفته اند. شهرستان میاندوآب در مرکز این دشت واقع شده است. برای انجام این تحقیق یک مزرعه که عملیات زهکشی آن در دست اقدام بود انتخاب گردید و پارامترهای مورد نیاز مدل جمع آوری گردید.

۳-۲- ورودی های مدل

ورودی های مورد نیاز برای اجرای مدل DRAINMOD شامل:

۳-۲-۱- پارامترهای هواشناسی

شامل ارتفاع بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل به صورت روزانه می باشد. در صورتی که داده های تبخیر و تعرق موجود نباشد مدل حداکثر و حداقل دمای روزانه را از کاربر دریافت و با روش ترنت وایت^{۱۴} مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل را برآورد می کند (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴). این پارامترها از ایستگاه هواشناسی میاندوآب نزدیکترین ایستگاه به پروژه جمع آوری گردید.

۳-۲-۲- خصوصیات خاک

شامل هدایت هیدرولیکی خاک و منحنی مشخصه رطوبتی (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴). بدین منظور با حفر پرفیل استاندارد خاکشناسی در مزرعه اطلاعات مربوط به خصوصیات خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه تعیین شد. از مدل RETC روش وان گنوختن- معلم^{۱۵} برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع و منحنی مشخصه رطوبتی استفاده گردید.

مدل وان گنوختن بصورت زیر است (وان گنوختن، ۱۹۸۰):

$$(۴) \quad \theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^{1-1/n}}$$

$$(۵) \quad S_e = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = [1 + (\alpha h)^n]^{1/n-1}$$

$$(۶) \quad K(S_e) = K_o S_e^L \left\{ 1 - [1 - S_e^{n/(n-1)}]^{1-1/n} \right\}^2$$

در روابط بالا: S_e اشباع نسبی، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/day)، 1 پارامتر مربوط به پیوستگی خلل و فرج، h مکش (cm)، $K(S_e)$ هدایت هیدرولیکی (cm/day) در S_e و α ، m و n پارامترهای شکل هستند. مشخصات خاک مزرعه و ضرایب مدل وان گنوختن در جداول (۱) و (۲) آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک

عمق (cm)	شن (/.)	سیلت (/.)	رس (/.)	بافت خاک	ρ_b (gr/cm ³)	EC (dS/m)	درصد رطوبت ظرفیت مزرعه ای
۰-۳۰	۶	۵۰	۴۴	سیلتی رسی	۱/۳۱	۹/۷۷	۳۶/۹
۳۰-۶۰	۸	۵۴	۳۸	سیلتی رسی	۱/۲۴	۱۲/۹	۳۵/۱

1- Thorntwaite

2. Van Genuchten-Mualem

۳۶/۶	۱۹/۵	۱/۲۸	رسی	۵۲	۳۶	۱۲	۶۰-۹۰
------	------	------	-----	----	----	----	-------

جدول ۲- پارامترهای مدل ون گنوختن - خاک

Θ_r (cm ³ /cm ³)	Θ_s (cm ³ /cm ³)	α	Ks (cm/hr)	n	i	عمق (cm)
۰/۰۹۴۴	۰/۴۸۷۰	۰/۰۱۳۳	۰/۵۹	۱/۳۲۸۰	۰/۵	۰-۳۰
۰/۰۸۸۲	۰/۴۹۴۶	۰/۰۱۱۹	۰/۹۱	۱/۳۷۰۵	۰/۵	۳۰-۶۰
۰/۰۹۵۹	۰/۴۹۷۲	۰/۰۱۹۶	۰/۹۷	۱/۲۵۷۸	۰/۵	۶۰-۹۰

۳-۲-۳- پارامترهای سیستم زهکشی

شامل عمق و فاصله زهکش ها، شعاع لوله زهکش، نوع مدیریت زهکش ها، شیب کارگذاری زهکش ها، حداکثر عمق نگهداشت سطحی، عمق سطح ایستابی اولیه و عمق معادل (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴). این پارامترها از گزارشات برنامه ریزی شده استخراج گردید که در جدول (۳) درج گردیده است.

جدول ۳- پارامترهای سیستم زهکشی

۲۵۰	عمق نصب زهکش ها (cm)
۱۰۰۰۰	فاصله زهکش ها (cm)
۳۵۰	عمق لایه غیر قابل نفوذ (cm)
۱۰	ضریب زهکشی (cm/day)
۱۲/۸۳	ضریب کرکهام
۱۰۰	عمق سطح ایستابی اولیه (cm)

۳-۲-۴- مدیریت آبیاری

شامل عمق آب آبیاری، روز و ماه شروع آبیاری، دور آبیاری، ساعت شروع و پایان آبیاری در هر روز و عمق بارش احتمالی در طول آبیاری و کیفیت آب (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴). مدیریت آبیاری با توجه به نیاز آبی گیاه یونجه و گندم در نظر گرفته شد.

۳-۲-۵- پارامترهای گیاهی

در این قسمت عمق توسعه ریشه (عمقی است که رطوبت آن توسط ریشه یا تبخیر از سطح خاک تخلیه می شود) با توجه به الگوی کشت منطقه در نظر گرفته شد. چون فرآیند شبیه سازی یک فرایند پیوسته است یک عمق مؤثر برای تمام طول دوره شبیه سازی تعریف می شود (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴).

۳-۲-۶- ورودی های مورد نیاز برای اجرای مدل DRAINMOD-S

علاوه بر پارامترهای ورودی ذکر شده برای مدل DRAINMOD پارامترهای زیر نیز برای مدل DRAINMOD-S مورد نیاز است:

ضرایب پخشیدگی در خاک، عمق خشک اولیه، بازه زمانی (Δz)، عمق متوسط نمک و غلظت نمک در اعماق مختلف خاک (لیاقت و کاویانی، ۱۳۸۴).

این پارامترها برای پروفیل خاک در نظر گرفته شد که در جدول (۴) به آن‌ها اشاره می‌شود. لازم به ذکر است این مقادیر از کالیبراسیون مدل حاصل شده است.

جدول ۴- ضرایب معادله انتقال- انتشار خاک

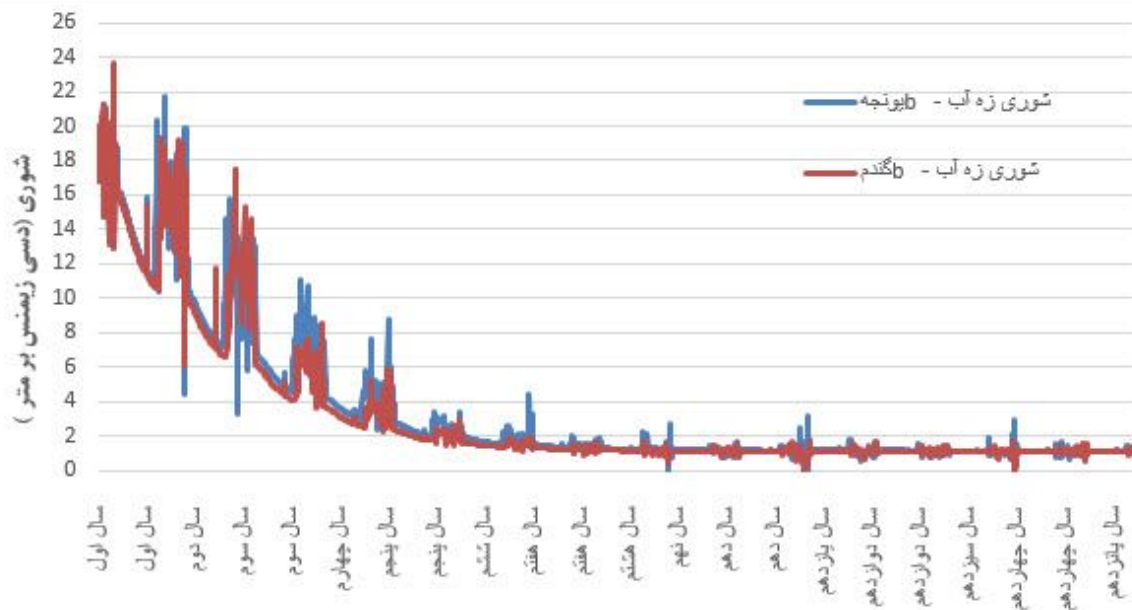
۰/۰۵	ضریب پراکنش پذیری (cm^2/day)
۰/۸۴۴	فاکتور اعوجاج
۱	ضریب پخشیدگی مولکولی

شبیه سازی تغییرات شوری زه آب

اطلاعات مورد نیاز مدل جمع آوری و مدل اجرا شد. مدل DRAINMOD طی ۱۵ سال آینده پس از احداث پروژه شبیه سازی گردید.

نتیجه گیری

در شکل (۱) میزان شوری زه آب و لترال B طی ۱۵ سال پس از اجرای پروژه برای مزارع گندم و یونجه نشان داده شده است.



شکل (۱): پیش بینی تغییرات شوری زه آب لترال B طی ۱۵ سال پس از اجرای پروژه برای مزرعه گندم و یونجه.

طبق شکل (۱) میزان شوری زه آب برای هر دو مزرعه گندم و یونجه، با گذشت زمان کاهش یافته و در سال هشتم به بعد تقریباً به میزان ثابتی (شوری آب آبیاری) می‌رسد. دلیل این است که با افزایش آب آبیاری، منافذ خاک زودتر از آب پر شده (به علت بافت خاک) و خاک توانایی انتقال بیشتر املاح را ممکن می‌سازد بنابراین شوری بیشتری از خاک، شسته شده به دنبال آن شوری و بار املاح بیشتری از لترال خارج می‌شود که حاکی از عملکرد خوب زهکش‌ها در این مزارع می‌باشد. این مسئله نشان دهنده آن است که طی این سال‌ها شوری خاک از لایه سطحی تا عمق نصب زهکش‌ها شسته شده و رفته رفته کاهش می‌یابد بنابراین شوری زه آب خروجی هم کاهش می‌یابد. از سال هشتم به بعد با زهکشی کامل خاک دیگر شوری در خاک باقی نمی‌ماند پس میزان بار املاح برابر با میزان املاح موجود در آب آبیاری خواهد بود در نتیجه همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود سیر ثابتی بخود می‌گیرد.

این میزان شوری با انتقال به رودخانه های اطراف منطقه موجب خطراتی نظیر سلامت عمومی و بهداشت افراد مقیم منطقه، افزایش حشرات ناقل بیماری، آلودگی آبهای زیرزمینی و آب شرب، بوم سازگان آبی و انتقال این میزان در نهایت به پشت سد رودخانه ها و غیره گردد.

بنابراین درست است که زهکشی باعث کاهش شوری خاک و استفاده از زمین های کشاورزی را فراهم می سازد ولی بایستی اثرات و خطرات ناشی از آن ها هم در دستور کار پروژه های زهکشی در نظر گرفته شود. به همین منظور همان طوری که مشاهده شد، می توان از مدل DRAINMOD برای برنامه ریزی های مدیریتی در کاهش کیفیت زه آب خروجی از زه آبها استفاده نمود.

تقدیر و تشکر

از استاد بزرگوارم جناب آقای مهندس منوچهر یوسف زاده عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماکو بخاطر زحمات بسیار زیاد و مساعدتشان در انجام مراحل آزمایشگاهی و علمی، تنظیم این مقاله که لحظه به لحظه در کنار ایشان و راهنمایی های ارزنده شان بهره بردم، بی نهایت و از صمیم قلب متشکرم.

منابع

۱. رهبری، پ، جبلی، س.ج. و لیاقت، ع.، (۱۳۸۵)، "شبه سازی انتقال نیترات توسط مدل DRAINMOD-N"، مجله کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱، ص ۳۲-۲۱.
۲. دربندی، ص.، (۱۳۸۰)، "ملاحظات زیست محیطی در طراحی و مدیریت شبکه های زهکشی"، دومین کارگاه فنی و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۷۹-۲۵۵.
۳. لیاقت، ع.، کاویانی، ع.، (۱۳۸۴)، "شبه سازی حرکت آب و املاح به طرف زهکش ها با استفاده از نرم افزار DRAINMOD"، کارگاه آموزشی مدلسازی در آبیاری و زهکشی، ۱۰۸-۸۳.
۴. یوسف زاده، م.، دربندی، ص.، صباغ، ا.، (۱۳۹۰)، "شبه سازی تغییرات شوری خاک و زه آبها در شبکه زهکشی زیرزمینی دشت زنگنه با استفاده از مدل DRAINMOD"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز.
5. Ale, S., L.C. Bowling, J.R. Franken Berger, S.M. Brooder and E.J. Kladviko. (2010). "Climate Variability and Drain Spacing Influence on Drainage Water Management System Operation". VA dose Zone J. 9:43-52.
6. Bahceci I., Din N., Tara A.F., Agar A.I., and Sonnies B. (2006). "Water and salt balance studies using Salt Mod, to improve subsurface drainage design in the Konya-Kumar Plain", Turkey. Agricultural Water Management, 85(3): 261-271.
7. Burin, M., Morari, F., Bonaiti, G., Paasch, M., Skaggs, R.W., (2000). "Analysis of DRAINMOD performances with different detail of soil input data in the Veneto region of Italy". Agric. Water Manage. 42 (3), 259-272.
8. Dayyani, S., C.A. Madramootoo, P. Enright, G. Simard, A. Gullamudi, S.O. Prasher and A. Madani. (2009). "Field evaluation of DRAINMOD 5.1 under a cold climate: Simulation of daily midspan water table depths and drain outflows". Journal of the American Water Resources Association. 45(3):779-792.
9. Evans, R. and R.W. Skaggs, (1996). "Operating controlled drainage and subirrigation systems, North Carolina Cooperative Service". Publication Number: AG356.
10. Gayle, G.A., Skaggs, R.W. and Carter, C.E. (1987). "Effects of Excessive soil water condition on Sugercan Yield". Transactions of the ASAE. 30(4): 993-997.
11. Helving, T.G., Chandra A. Madramootoo and Georges T. Doodads. (2002). "Modelling nitrate losses in drainage water using DRAINMOD 5.0". Agricultural Water Management 56: 153-168.
12. Lou, W., G.R. Sands, M. Youssef, J.S. Strock, I. Song, D. Canelon. (2010). "Modeling the impact of alternative drainage practices in the northern Corn-belt with DRAINMOD-NII". Agricultural Water Management 97: 389-398.
13. Marlow, R. L. and P. H. Willey, (2001). "Water Management (Drainage), Part 650 Engineering Field Handbook", National Engineering Handbook, USDA, NRCS, P. 192.
14. Maurizio, B., Francesco, M., Gabriele, B., Mary, P., Skaggs, R.W. (2000). "Analysis of DRAINMOD Performance With Different Detail of Soil Input Data in the Veneto region of Italy", Agr. Water Management, Vol. (42), pp. 254 - 272.
15. Shirmohammadi, A. (1997), "Design guidelines for drainage systems and Use of drainage". Proceedings of the Second national congress on Soil & water Issues, Tehran -IRAN pp.19-29.

16. Skaggs, R.W., (1999). "Drainage simulation models". In: Skaggs, R.W., van Schilfgaarde, J. (Eds.), *Agricultural Drainage. Agron. Monogr. 38*, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, USA, pp. 469–500.
17. Yang, C.-C., S.O. Prasher, S. Wang, S.H. Kim, C.S. Tan, C. Drury and R.M. Patel. (2007). "Simulation of nitrate-N movement in southern Ontario, Canada with DRAINMOD-N". *Agricultural Water Management* 87: 299–306.
18. Yang, X. (2008). "Evaluation and application of DRAINMOD in an Australian sugarcane field". *Agricultural water management* 95: 439–446.
19. Van Genuchten, M.Th. (1980). "A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892–898.