

تبخیر و تعرق در سیستم خاک - گیاه - اتمسفر

نویسنده:

ویلیام نواک

مترجمان:

ره‌نا نظری

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

دکتر عباس کاوانی

استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

بهار ۱۳۹۶

نواک، وی	سرشناسه
Novak, V	
تبخیر و تعرق در سیستم خاک، گیاه و اتمسفر / وی نواک؛ مترجمان رستا نظری، عباس کاویانی	عنوان و نام پدیدآور
زنجان: صفیر سیمرغ، ۱۳۹۵	مشخصات نشر
۳۸۶ ص: مصور، جدول، نمودار	مشخصات ظاهری
978-600-96584-2-8: ۲۰۰۰۰۰ ریال	شابک
فیفا	وضعیت فهرست‌نویسی
Evapotranspiration in the soil-plant-atmosphere system, اصلی: عنوان اصلی:	یادداشت
C[2012]	
کتابنامه	موضوع
تبخیر و تعرق	موضوع
Evapotranspiration	موضوع
گیاه و جو (اتمسفر)	موضوع
Plant-atmosphere relationships	موضوع
بهاران - تعریق	موضوع
Plants—Transpiration	موضوع
گیاه و خاک	موضوع
Plant-soil relationships	موضوع
نظری رستا ۱۳۹۵ - ترجم	شناسه افزوده
کاویانی، عباس ۱۳۹۵ - ترجم	شناسه افزوده
Q۸۵۳/ن۹ ۱۳۹۵	رده‌بندی کنگره
۵۵۱/۵۷۲	رده‌بندی دیویی
۴۶۱۰۶۷۴	شماره کتابشناسی ملی

تبخیر و تعرق در سیستم خاک - گیاه - اتمسفر

نویسنده: ویلیام نواک
ترجمه: رستا نظری - عباس کاویانی
امور فنی: نشر صفیر سیمرغ
ناظر چاپ: اسد نصیری
صفحه‌آرایی: لیلا هاشمیان
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۶۵۸۴-۲-۸
چاپ اول، بهار ۹۶، ۵۰۰ نسخه
لیتوگرافی: ولیعصر
۲۰۰۰۰ ریال



زنجان، سعدی وسط،
روبروی پاساژ ایران زمین،
کوچه شهید منتخی،
دفتر انتشارات صفیر سیمرغ
تلفن: ۳۳۳۶۵۱۸۶

فهرست مطالب

الف	سخنی با خوانندگان
ج	پیشگفتار
هـ	نمادها
۱	فصل اول - تبخیر و تفرق: یکی از اجزای چرخه آب
۲	۱-۱- فرآیند تبخیر و خصوصیات اصلی آن
۴	۲-۱- تبخیر و نظریه جنبشی سیالات
۷	۳-۱- بلان و چرخه آب
۱۲	۱-۱- بلان انرژی سطح تبخیر
۱۸	منابع
۱۹	فصل دوم - سیستم خاک - گیاه - اتمسفر
۲۰	۱-۲- آب
۲۱	۲-۲- خاک و سایر بخش‌های سطح زمین
۲۴	۱-۲-۲- خصوصیات اصلی خاک
۲۶	۳-۲- تاج پوشش گیاه
۲۸	۴-۲- اتمسفر
۲۹	۱-۴-۲- بخار آب در اتمسفر
۳۱	۲-۴-۲- اکسیژن
۳۱	۳-۴-۲- دی اکسید کربن
۳۲	۴-۴-۲- محلول آب خاک
۳۳	منابع
۳۵	فصل سوم - تبخیر از سطوح مختلف
۳۶	۱-۳- تبخیر از برگ‌گاب
۳۸	۲-۳- تبخیر از سطح آب‌های آزاد
۳۹	۳-۳- تبخیر از برف و یخ
۴۱	۴-۳- تبخیر از مناطق شهری
۴۱	۵-۳- تفرق
۴۲	۱-۵-۳- انتقال آب در گیاهان در خلال تفرق

۴۶ ۶-۳- تبخیر و تعرق پتانسیل

۴۶ ۱-۶-۳- تحلیل فرآیند

۵۰ ۲-۶-۳- شاخص تبخیر و تعرق پتانسیل

۵۱ منابع

۵۵ فصل چهارم - انتقال آب و انرژی در لایه مرزی اتمسفر

۵۶ ۱-۴- توزیع عمودی پارامترهای هواشناسی در لایه مرزی

۵۶ ۱-۱-۴- پروفیل‌های باد

۵۸ ۲-۱-۴- تخمین طول زبری Z_0 و ارتفاع جابه‌جایی صفحه صفر d_e پوشش گیاهان

۶۱ ۱-۱-۱- پروفیل دمای هوا در لایه مرزی اتمسفر

۶۲ ۴-۱-۲- تبخیر عمودی رطوبت هوا

۶۲ ۲-۴- ضرایب انتقال گرما و بخار آب در SPAS

۶۶ ۱-۲-۴- تأثیر وضعیت سطحی بر فرآیندهای انتقال در لایه مرزی اتمسفر در حداصل ارتفاع (Z_0 و Z)

۶۸ ۲-۲-۴- ضرایب انتقال در حداصل ($0, Z$)

۷۲ ۳-۲-۴- ضرایب انتقال لایه‌های ($0, Z_0$) و (Z_0 و Z) در حالت خنثی

۷۲ ۴-۲-۴- تأثیر وضعیت جو بر ضرایب انتقال متلاطم و تبخیر و تعرق پتانسیل

۷۶ منابع

۷۹ فصل پنجم - حرکت آب در خاک در طی فرآیند تبخیر

۸۰ ۱-۵- تبخیر از خاک تحت آیش

۸۶ ۲-۵- پروفیل رطوبت خاک در خلال تبخیر از خاک آیش

۸۶ ۱-۲-۵- پروفیل رطوبت خاک تحت شرایط هم دما

۸۹ ۲-۲-۵- پروفیل رطوبت خاک تحت شرایط غیر هم دما

۹۱ ۳-۲-۵- انتقال آب از سفره آب زیرزمینی به اتمسفر

۹۲ ۳-۵- انتقال آب و گرما در منافذ اشباع نشده

۹۲ ۱-۳-۵- نظریه انتقال آب خاک در شرایط غیر هم دما

۹۳ ۲-۳-۵- معادلات توصیفی انتقال آب و بخار آب در منافذ متخلخل

۹۴ ۳-۳-۵- انتقال بخار آب

۹۶ ۴-۳-۵- انتقال گرمای خاک

۹۹ ۴-۵- تعیین مقدار انتقال آب خاک در شرایط هم دما

۱۰۱ ۵-۵- معادلات توصیفی انتقال گرما و آب در منافذ متخلخل

۱۰۲ ۵-۱- حل معادلات توصیفی انتقال گرما و آب در منافذ متخلخل

۱۰۲ ۵-۲- پروفیل های رطوبت خاک در خلال تبخیر: حل تقریبی معادله انتقال

۱۰۹ منابع

۱۱۳ فصل ششم- حرکت آب در ناحیه ریشه در خلال تفرق

۱۱۴ ۶-۱- آب در ناحیه ریشه

۱۱۵ ۶-۱-۱- جذب آب به وسیله ریشه گیاهان

۱۱۶ ۶-۱-۲- حرکت آب در سیستم خاک - ریشه

۱۱۸ ۶-۲- سیستم ریشه ها

۱۱۹ ۶-۲-۱- رشد ریشه

۱۲۰ ۶-۲-۲- تغییرات مکانی ریشه

۱۲۱ ۶-۲-۳- توزیع مؤثر ریشه

۱۲۹ ۶-۲-۴- اثر مهم ترین خصوصیات خاک بر ریشه

۱۳۰ ۶-۲-۵- سیستم ریشه و آب در خاک

۱۳۲ ۶-۲-۶- تأثیر مواد حل شدنی بر سیستم ریشه

۱۳۳ ۶-۲-۷- تأثیر خصوصیات فیزیکی خاک بر سیستم ریشه

۱۳۴ ۶-۲-۸- تأثیر دمای خاک بر روی رشد ریشه

۱۳۵ ۶-۳- اندازه گیری های مزرعه ای

۱۳۵ ۶-۳-۱- تخمین الگوی مصرف آب به کمک پروفیل رطوبت خاک

۱۳۸ ۶-۳-۲- محاسبات الگوی جذب آب با استفاده از نتایج اندازه گیری های صحرایی

۱۴۲ ۶-۳-۳- توزیع عمودی میزان آب جذب شده توسط ریشه ها در خلال فصل رشد

۱۴۵ ۶-۴- روش های محاسبه الگوهای جذب آب از خاک

۱۵۱ ۶-۴-۱- روش پیشنهادی محاسبه جذب آب توسط ریشه ها

۱۵۲ ۶-۴-۲- محاسبه $S(Z)$ در خلال تفرق پتانسیل

۱۵۷ ۶-۴-۳- محاسبه $S(Z)$ در خلال تفرق با محدودیت پتانسیل رطوبت خاک

۱۶۰ ۶-۵- شیوه مزوسکوپی جذب آب توسط ریشه گیاه

۱۶۴ منابع

۱۷۱ فصل هفتم - نقش گیاهان در فرآیندهای انتقال در سیستم خاک - گیاه - اتمسفر

۱۷۳ ۷-۱- انتقال آب از خاک به سمت گیاهان و در نهایت اتمسفر و معرفی آن ها

- ۱۷۵ ۱-۱-۷- انتقال آب در گیاهان
- ۱۷۷ ۲-۱-۷- انتقال بخار آب، دی اکسید کربن و گرما از برگ ها به اتمسفر
- ۱۷۹ ۲-۷- کنترل تفرق توسط روزنه ها
- ۱۸۳ ۳-۷- قابلیت هدایت روزنه ها و تاج پوشش گیاهان در طول تفرق
- ۱۸۶ ۱-۳-۷- مقاومت روزنه تحت تأثیر محیط زیست
- ۱۹۰ ۲-۳-۷- روابط کلی میان مقاومت روزنه ها و خصوصیات محیطی
- ۱۹۱ ۳-۳-۷- مقاومت برگ و پوشش گیاهی در برابر حرکت بخار آب به اتمسفر
- ۱۹۱ ۱-۳-۳-۷- تخمین مقاومت برگ
- ۱۹۲ ۲-۳-۳-۷- مقاومت پوشش گیاهی

منابع

فصل هشتم - تبخیر و تفرق و طوبیت خاک

- ۲۰۰ ۱-۸- تبخیر و تفرق و مقدار رطوبت خاک
- ۲۱۱ ۲-۸- تبخیر و تفرق و پتانسیل آب خاک
- ۲۲۰ ۳-۸- تفرق و آب جذب شده توسط ریشه ها در بروز تنش شوری و خشکی

منابع

فصل نهم - روش های برآورد تبخیر و تفرق

- ۲۲۸ ۱-۹- اندازه گیری تبخیر و تفرق
- ۲۲۸ ۱-۱-۹- اندازه گیری تبخیر و تفرق به وسیله لایب رها
- ۲۳۱ ۲-۹- روش های محاسبه تبخیر و تفرق
- ۲۳۱ ۱-۲-۹- محاسبه تبخیر و تفرق با روش بیلان آبی در مزرعه
- ۲۳۳ ۳-۹- روش های تخمین تبخیر و تفرق در میکروکلیم
- ۲۳۳ ۱-۳-۹- روش پخشیدگی متلاطم
- ۲۳۴ ۲-۳-۹- تخمین تبخیر و تفرق با روش بیلان انرژی
- ۲۳۵ ۱-۲-۳-۹- اندازه گیری خصوصیات سیستم خاک - گیاه - اتمسفر
- ۲۳۷ روش اندازه گیری
- ۲۳۹ ۲-۲-۳-۹- خصوصیات مکانی مورد نیاز برای اندازه گیری
- ۲۴۰ ۳-۲-۳-۹- محاسبه ضریب زیری (Z_o) و جابه جایی سطح صفر پوشش گیاهی (d_e)
- ۲۴۰ ۴-۲-۳-۹- محاسبه بیلان انرژی روی سطح تبخیر
- ۲۴۳ ۵-۲-۳-۹- دقت روش های برآورد تبخیر و تفرق

- ۲۴۴ ۳-۳-۹- روش ترکیبی محاسبه تبخیر پتانسیل
- ۲۴۵ ۱-۳-۳-۹- روش پنمن در محاسبه تبخیر پتانسیل
- ۲۵۳ ۲-۳-۳-۹- روش پرستلی - تیلور در محاسبه تبخیر پتانسیل
- ۲۵۳ ۳-۳-۳-۹- روش فانو در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع
- ۲۵۷ ۴-۳-۹- محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با حل معادلات توصیفی انتقال آب و انرژی در یک پوشش گیاهی
- ۲۶۰ ۱-۴-۳-۹- معادلات حرکت گرما و بخار آب در یک پوشش گیاهی
- ۲۶۳ ۵-۳-۹- اجزای تبخیر و تعرق پتانسیل
- ۲۶۸ ۱-۵-۳-۹- محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل با معادلات تجربی
- ۲۷۴ ۶-۳-۹- محاسبه تبخیر و تعرق با روش‌های ترکیبی
- ۲۷۴ ۱-۵-۳-۹- محاسبه تبخیر و تعرق با روش بوون
- ۲۷۵ ۲-۳-۹- محاسبه تبخیر و تعرق مطابق با نتایج بودیکو و زوینوک
- ۲۷۷ ۱-۶-۳-۹- محاسبه تبخیر و تعرق یک پوشش ایده آل با روش ترکیبی (معادله پنمن - مانتیث)
- ۲۷۹ ۴-۶-۳-۹- تعرق پوشش گیاهی متراکم
- ۲۸۰ ۵-۶-۳-۹- تعرق پوشش گیاهی غیر متراکم (پراکنده)
- ۲۸۳ ۷-۳-۹- تخمین تبخیر و تعرق با روش همبستگی گردابی
- ۲۸۵ ۴-۹- اندازه‌گیری و ارزیابی جریان شیره گیاهی در بخش به منظور تعیین نرخ تعرق
- ۲۸۶ ۱-۴-۹- روش‌های اصلی اندازه‌گیری جریان شیره گیاهی
- ۲۸۸ ۲-۴-۹- روش بیلان حرارتی تنه
- ۲۹۲ ۳-۴-۹- افزایش مقیاس اندازه‌گیری تعرق از یک گیاه به یک توده

منابع

فصل دهم- ساختار اجزاء تبخیر و تعرق

- ۳۰۱ ۱-۱۰- ساختار مؤلفه‌های تبخیر و تعرق پتانسیل
- ۳۰۳ ۲-۱۰- تغییرات روزانه و فصلی مؤلفه‌های تبخیر و تعرق
- ۳۰۷ ۱-۲-۱۰- تغییرات روزانه مؤلفه‌های تبخیر و تعرق
- ۳۰۷ ۲-۲-۱۰- تغییرات فصلی مؤلفه‌های تبخیر و تعرق

منابع

- ۳۱۲ فصل یازدهم - روش ترکیبی محاسبه تبخیر و تعرق روزانه
- ۳۱۵

۳۱۷	۱-۱۱- طبقه‌بندی زمین بر طبق نوع سطح تبخیر
۳۱۷	۲-۱۱- تابش خالص از سطوح تبخیرکننده
۳۱۷	۱-۲-۱۱- آلیدو، طول زبری و شاخص سطح برگ سطوح تبخیرکننده
۳۲۳	۱-۲-۱۱- تخمین ارتفاع سطح جابه‌جایی صفر
۳۲۳	۲-۱-۲-۱۱- محاسبه تابش خالص روی سطوح تبخیرکننده
۳۲۳	۳-۱-۲-۱۱- محاسبه تابش خالص طول موج کوتاه
۳۲۴	۴-۱-۲-۱۱- محاسبه تابش خالص طول موج بلند
۳۲۵	۵-۱-۲-۱۱- برآورد تابش طول موج بلند در شرایطی که دمای سطح تبخیرکننده مجهول است
۳۲۷	۳-۱۱- تبخیر و تعرق پتانسیل سطوح همگن
۳۲۸	۴-۱۱- مولفه‌های تبخیر و تعرق پتانسیل
۳۲۹	۵-۱۱- محاسبه تبخیر و تعرق واقعی
۳۳۰	منابع
۳۳۳	فصل دوازدهم- تخمین تبخیر و تعرق منطقه‌ای با استفاده از داده‌های سنجش از دور
۳۳۵	۱-۱۲- روش بیلان انرژی
۳۳۸	۱-۱-۱۲- روش ساده شده بیلان انرژی
۳۴۰	۲-۱۲- برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از روابط تکمیلی
۳۴۱	منابع
۳۴۵	نمایه اشخاص
۳۵۳	نمایه علمی

سخنی با خوانندگان:

آب حیات و حلقه را در رگ ما روانه کن
آینه‌ی صبح را ترجمه‌ی شبانه کن

فرآیند تخلیه بخار آب به اتمسفر از سطح خاک، تبخیر و خروج آب از قسمت‌های هوایی گیاه به صورت بخار آب، تعرق نامیده می‌شود. به این دلیل که در حوضه‌های آبریز دو پدیده تبخیر از سطح مرطوب خاک و تعرق از سطح گیاهان را نمی‌توان از همدیگر مجزا ساخت، غالباً این دو فرآیند توأم با یکدیگر و به نام تبخیر و تعرق تبیین می‌شوند. واژه‌ی تبخیر و تعرق ابتدا در سال ۱۹۴۸ توسط تورنت وایت و سپس پنمن به کار گرفته شد. به طور کلی منظور از تعیین تبخیر و تعرق: مقدار آبی است که باید به یک پوشش زراعی داده شود، تا در طول دوره‌ی رویش صرف تبخیر و تعرق نموده و حداکثر مقدار محصول را تولید کند. برای مناسب‌سازی برآورد مقدار تبخیر و تعرق، روش‌های زیادی ابداع و توسعه داده شده است. در هشت فصل ابتدایی این کتاب به شرح بیلان آبی و چرخه آب، سیستم خاک - گیاه - اتمسفر، تبخیر از سطوح متفاوت انتقال آب و انرژی در لایه مرزی اتمسفر، حرکت آب در خاک در طول تبخیر، حرکت آب در گیاه، ریشه در طول تعرق، نقش گیاهان در فرآیندهای انتقال در سیستم خاک - گیاه - اتمسفر و تبخیر و تعرق و رطوبت خاک پرداخته شده است و از فصل نهم به پایان کتاب روش‌های تخمین تبخیر و تعرق، ساختار مؤلفه‌های تبخیر و تعرق، روش ترکیبی محاسبه تبخیر و تعرق روزانه و تخمین تبخیر و تعرق منطقه‌ای با استفاده از داده‌های سنجش از دور مورد بحث قرار گرفته‌اند.

مجموعه‌ی حاضر، ترجمه‌ی کتاب جدیدی در زمینه‌ی تبخیر و تعرق است که با نگاهی جامع و یکپارچه به این مبحث مهم در سیستم آب، خاک و گیاه توانسته است به اهم مطالب مورد نیاز دانشجویان، محققان و علاقه‌مندان مرتبط با این رشته اشاره نموده و راهنمای خوبی در ایجاد انگیزه برای انجام پژوهش‌های گوناگون در این زمینه باشد.

در ترجمه‌ی این مجموعه سعی گردیده که از رسالت نویسنده در رساندن مفاهیم علمی با رعایت امانت حفاظت شده و حتی المقدور از معانی و واژگان معادل فارسی برای تفهیم هرچه بهتر جملات استفاده شود.

در پایان از مسئول محترم انتشارات صغیر سیمرغ جهت انجام مساعدت‌های لازم در راستای چاپ این کتاب قدردانی می‌شود.

"امید است که مطالب و نکات این کتاب یاری‌گر خوانندگان علاقه‌مند به این رشته از رشته‌ی علوم و مهندسی آب واقع گردد و نتایج حاصله از آن در باز شدن دریچه‌های جدیدی از علم و دانش روشن‌گر آیندگان باشد."

رستا نظری

عباس کاویانی

زمستان ۱۳۹۵

پیشگفتار:

تبخیر و تفرق در سیستم خاک - گیاه - اتمسفر

تبخیر و تفرق فرآیند انتقال آب از سطوح تبخیر به اتمسفر می‌باشد. سطوح تبخیر می‌تواند سطوح گیاهی (سطح تنفس شده گیاه)، فضای خالی روزنه‌های زیرین و بافت کوتیکول (تفرق)، خاک، سطح ایستابی یا سطح غیر قابل نفوذ باشد. تفرق فرآیند بسیار مهمی است که در آن حرکت آب از خاک به گیاه و در ادامه به اتمسفر انجام می‌پذیرد. این فرآیند بخشی از مسیر تولید توده زنده را در بر می‌گیرد.

به‌طور متوسط حدوداً ۶۰ درصد از باران رسیده به سطح زمین بخار می‌شود. در مناطق خشک این نرخ بالاتر و نزدیک به ۹۰ درصد بارش سالانه است.

تبخیر و تفرق فرآیند نامرئی و پیچیده‌ای است و البته به علل و تحقیق در مورد آن مشکل می‌باشد. تعریف تبخیر و تفرق شاخه‌های بسیاری از علوم مانند آب و خاک‌شناسی، هیدرولوژی خاک، فیزیولوژی گیاهی و هواشناسی به خود وابسته می‌سازد. این فرآیند تبخیر و تفرق بخصوص از جهت تولید توده زنده باعث شده است تا مطالعه و تحقیق در مورد آن بر روی آن انجام شود. هرچند که کتاب‌های اندکی این فرآیند را توصیف می‌کنند اما در میان آن‌ها کتاب‌هایی دیده می‌شود که به شدت توجه متخصصان را به خود جلب کرده است. از آن جمله تبخیر در طبیعت نوشته بوداگوسکیج^۱ (۱۹۶۴) برای کسانی که به زبان روسی آشنا هستند و کتاب تبخیر به سمت

اتمسفر نوشته بروتسائرت^۲ (۱۹۸۲) برای کسانی که به زبان انگلیسی مسلط هستند، خواندنی و قابل توجه می‌باشد. در همین راستا مقالات شاخصی در مجلات هیدرولوژی (۲۰۰۷) و تبخیر (گش و شاتلورث^۳ و غیره) به دلیل تشریح مفاهیم پایه‌ای تبخیر تجدید چاپ شده‌اند.

در این مقالات تبخیر و ترق به عنوان فرآیند حرکت آب از سطوح تبخیر به اتمسفر مورد تحلیل قرار گرفته است. باین حال، به حرکت آب از خاک به سمت سطح تبخیر کننده و حرکت آب از ریشه‌ها و بیرون کشیده شدن آب خاک توسط ریشه‌ها و حرکت آب به سمت برگ‌های گیاه به عنوان یک مطلب حاشیه‌ای اشاره شده است.

به‌طور کلی تعداد زیادی از مقالات در ارتباط با روش‌های محاسبه تبخیر و ترق به چاپ رسیده‌اند که تنوع آن‌ها را دلیل اجزاء تشکیل دهنده ساختار تبخیر و ترق می‌باشد.

در این کتاب توجه ویژه‌ای به حرکت آب خاک در ناحیه اطراف ریشه و همچنین جذب آب خاک توسط ریشه شده است. در بخش‌های دیگری از کتاب تلاش شده است که در زمینه‌ی مطالعه و تحقیق در حوزه فیزیک خاک نیز کمک‌ها، گردد.

در پایان، از کمک‌ها و همراهی دانشجویانم که در نگارش و به اتمام رساندن این کتاب راهنمای میان‌رشته‌ای صبر و تلاش زیادی نمودند، سپاسگزار می‌شوم.

وiliam نوواک^۴

مؤسسه هیدرولوژی دانشکده علوم اسلواک^۵

براتیسلاوا^۶، اسلواکی

2. Brutsaert

3. Gash and Shuttleworth

4. Viliam Novak

5. Slovak

6. Bratislava