پژوهش های آبخیزداری شماره ۱۰۵، زمستان ۱۳۹۳
(پژوهش و سازندگی)

ارزیابی مدل توزیعی بیلان آبی ماهانه در برآورد رواناب حوضه در مناطق خشک با استفاده از GIS و RS (مطالعه موردی حوزه آبخیز یزد-اردکان)

• جلال برخورداری
سازمان آموزش تحقیقات و ترویج کشاورزی (نویسنده مسئول)
تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۹۱
تلفن تماس نویسنده مسئول:
Email: jbarkhordary@yahoo.com

چکیده

کمبود منابع آب شیرین مهمترین محدودیت در حوزه های آبخیز مناطق خشک می باشد. بهترین راه حل برای این مشکل حفاظت بهتر منابع آب موجود می باشد، از آنجایی که مقدار بارش و تبخیر و تعرق تغییرات زیادی در سطح حوضه دارد، آب قابل استفاده نیز (در قالب رواناب سطحی و زیر سطحی) از نظر زمانی و مکانی با توجه به نوع بافت خاک و نوع پوشش اراضی در سطح حوزه آبخیز متغیر می باشد. در این تحقیق مدل توزیعی بیلان آبی تورنت وایت- ماتر که بر اساس نقشه‌های ماهانه بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل حوضه و نقشه ظرفیت نگهداری آب درخاک است، برای حوضه یزد- اردکان بصورت توزیعی استفاده گردید. نتایج مدل نشان داد که مقدار متوسط ارتفاع رواناب سالانه حوضه ۶۶/۷ میلی‌متر است که نیمی از آن بصورت جریان زیر سطحی می باشد که این رواناب از ارتفاعات به سمت دشت و کویر سیاه کوه جریان می یابد. مقایسه آماری داده‌های دبی محاسبه ومشاهده شده در زیر حوضه پیشکوه نشان داد که ضریب همبستگی بین میانگین دبی محاسبه و مشاهده شده در محدوده فاصله اطمینان ۹۰٪ داده های مشاهده شده قرار دارد، لذا می توان اظهار نمود که نتایج مدل در سطح اطمینان ۹۰٪ قابل قبول می باشد. همچنین با استفاده از این روش می توان ، میزان رواناب ماهانه حوضه های مشابه حوضه مذکور را برآورد نمود.

کلمات کلیدی: بیلان آبی ماهانه، ،مدل توزیعی، حوزه آبخیز یزد-اردکان، روش تورنت وایت - ماتر

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 105 pp: 16-26

Evaluation of a distributed monthly water balance model to determine catchment runoff in arid region using RS and GIS (A case study in Yazd-Ardakan basin)

By: J. Barkhordary, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran (Corresponding Author).

Fresh water is becoming a scarce resource of the arid region. The only option left to manage with this situation is to conserve water resources. Since the amount of rainfall and evapotranspiration rate vary within a watershed, available water for surface and groundwater recharge also varies both on spatial and temporal scales. Moreover, groundwater recharge (and ultimately the total water yield) is directly influenced by the soil texture and land cover in the watershed.

In this study, the distributed Thornthwaite-Mather water balance model for the Yazd-Ardakan catchment in Iran was developed based on monthly precipitation, potential evapotranspiration maps and water holding capacity map. The amount of annual runoff from the catchment predicted by the model is 66.7 mm, which is accumulated in the plain and then salt desert. Half of discharge is contributed by the direct runoff and the groundwater contribution is significant.

A statistical comparison of the estimated and the measured stream flow of Pishkouh show the mean monthly and mean annual estimated and measured stream flows, the correlation coefficient between measured and estimated stream flows, the mean monthly and annual percentage error of estimation and the 90% confidence interval for the mean stream flow. Since the study of water balance using the TM method with the help of remote sensing and GIS was found to be very helpful in determining the amount of monthly runoff in an arid region like the Yazd-Ardakan catchment.

Keywords: Monthly water balance, distributed model, Yazd-Ardakan, TM method

مقدمه

کشـــور ما در یکی از مناطق خشـــک و نیمه خشک جهان قرار گرفته اســـت . تغییرات زیاد مکانـــی و زمانی بارش، میـــزان تبخیر و تعرق پتانسیل بالا ، گســـتردگی حوضه های آبخیز و کمبود داده های دبی در زیر حوضه های کوچک بالا دســـتی از خصوصیات این مناطق می باشـــد. لازم اســـت جهت مدیریت پایدار منابع آب از بیلان آب اطلاع داشـــته باشـــیم تا بتوانیم از آب بهتر اســـتفاده نموده و از هدر رفت منابع آب جلوگیری شـــود. بیلان آب در واقع بررســـی میزان ورود و خـــروج، هدر رفت به صورت های مختلف و ذخیره آب از هنگام ورود به سیســـتم آبخیز به صورت بارش ، رواناب، تبخیر و تعرق و ذخیره آب در خـــاک و اتفاقاتی کـــه در مورد آن رخ می دهـــد را در بر می گیرد و دانســـتن آن از ابزارهای لازم و اساسی مدیریت اصولی حوضه آبخیز اســـت. بیلان آب و خاک با کار شایســـته تورنت وایت در سال ۱۹۵۰ شـــروع و از آن به بعد محققین زیادی از سراسر دنیا سعی در بکارگیری و توســـعه آن بکار بســـته اند. این روش به خاطر سادگی و جنبـــه های مختلف و کاربردی آن در هیدرولوژی حوضه ها، مدیریت آبخیزها، آبیاری اراضی کشـــاورزی، مدیریت منابع آب و موازنه عرضه و تقاضای و پایش تغییرات منابع آب در سطوح مزرعه ای تا قاره ها و کل دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. (1948,Thornth waith) ، (1983,Shiklomonov) ،(1969,Manab)،(19,Mather) ،(1984,Alley)،(78 ،(1985.Willmot etal)) ،Mintez&) (1984,Walter و (1992,Mintez &Serafini) . البتـــه در سال‌های اخیر با کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و جهت گیری بحث توزیعی آن دقت و کارایی مدل بطور چشـــگیری افزایش یافته اســـت. جاســـروتیا و همکاران (۲۰۰۹) در منطقه جامو کشمیر از مدل بیلان آبی ماهانه تورنت وایت- ماتر برای تهیه نقشه نیمه توزیعی پتانســـیل رواناب استفاده نمودند و نقاط مناسب برای اجرای طرح های ذخیره رواناب های مازاد حاصل از بارشـــهای موسمی را با دقت مناسبی برای زیر حوره های مختلف تعیین نمودند. کومار سان و خیسکه (۲۰۰۵) در حوزه آبخیز روکسو در کشور پرتقال با استفاده از مدل بیلان آبی تورنت وایت-ماتر بصورت نیمه توزیعی، مقدار رواناب ماهانه هر محدوده را برآورد نمود و مجموع رواناب ماهانه شبیه سازی شـــده را با تغییرات حجم آب دریاچه ســـد پایین دست ارزیابی کرد که نتایج بدســـت آماده از دقت مناسب برخوردار بوده است. مهدوی و آذرخشـــی (۱۳۸۳) از مدل بیلان آبـــی ماهانه تورنت وایت بصورت یکپارچـــه برای بـــرآورد دبی ماهانه ۱۲ حوضه منطقـــه آذربایجان و

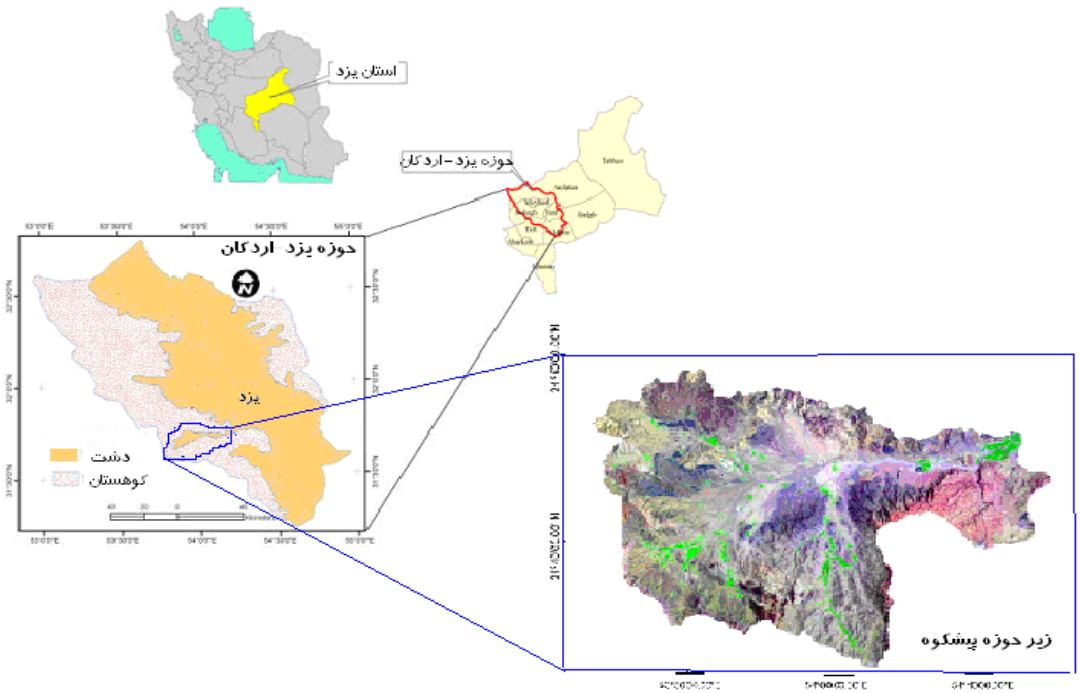
شمال خراسان در اقلیم نیمه خشک استفاده نمود. سپس داده های پیش بینی شده توسط مدل و داده های مشاهده شده با استفاده از آزمون t استیودنت مورد آزمون و تجزیه تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که از نظر آماری در سطح اعتماد ۵ درصد اختلافی بین داده های مشاهده شده و محاسبه شده وجود ندارد. لذا می‌توان استفاده از مدل بیلان آبی ماهانه مذکور را برای برآورد رواناب ماهانه حوضه های فاقد آمار مشابه توصیه نمود. حصاری(۱۳۹۰) در تحقیقی در حوضه نازلو چای ارومیه با روش تورنت وایت- ماتر به صورت توزیعی در محیط نرم افزار ارک جی ای اس بیلان آبی ماهانه دراز مدت حوزه را برآورد نمود و رواناب ماهانه برآورد شده را با آمار مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری مقایسه نمود که نتایج در سطح ۵ معنی دار بوده است. حوزه آبخیز یزد- اردکان با توجه به اهمیت زیاد آن از نظر قرار گرفتن در محدوده شهرهای مهم استان یزد ، تاکنون مطالعات مختلفی جهت برآورد رواناب و بررسی بیلان آبی صورت گرفته است، از آن جمله طرح جامع سیل توسط مهندسین مشاور عمران کویر یزد (۱۳۷۲) که برای هریک از زیر حوضه های هفتگانه حوزه آبخیز یزد- اردکان از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا بصورت یکپارچه میزان رواناب برآورد گردیده است. همچنین اسلامیان و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از روش منطقی ضریب رواناب زیر حوضه های یزد- اردکان را تعیین وحجم کل رواناب موجود را برآورد نمودند و از روی میزان بارش میزان تغذیه طبیعی دشت یزد - اردکان را بطور یکپارچه برآورد نموده اند.

در این تحقیق با توجه به کمبود های آماری عوامل بیلان آبی از مدل چهار پارامتره تورنت وایت-ماتر (دما و بارش ماهانه، نقشه کاربری اراضی،نقشه بافت خاک) برای برآورد دبی خروجی از حوضه استفاده گردید. هدف اصلی از این تحقیق تعیین مدلی ساده برای بازسازی و پیش بینی دبی ماهانه در حوضه های مرکزی کشور با استفاده از مدل توزیعی بیلان آبی ماهانه است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی وخصوصیات اقلیمی منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبخیز یزد- اردکان با وسعت ۱۵۹۵۰ کیلومتر مربع بزرگترین حوزه آبخیز استان یزد می باشد. ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متر از سطح دریا و در محدوده جغرافیایی طول '۵۷ °۵۲ تا '۵۹ °۵۴ و عرض '۱۳ °۳۱ تا '۴۸ °۳۲ و اکثریت اراضی منطقه مورد مطالعه دشتی بوده که توسط ارتفاعات احاطه شده و با شیب عمومی از جنوب غرب به شمال شرق گسترده شده است (شکل ۱). اقلیم غالب منطقه با استفاده از روش دومارتن اصلاح شده، خشک و سرد و متوسط بارندگی منطقه از ۴۲۰ میلی‌متر در ارتفاعات شیرکوه تا ۵۰ میلی‌متر در محدوده کویر سیاه کوه متغییر بوده است. منطقه مورد مطالعه دارای زیر حوضه‌های مختلفی بوده که پیشکوه، پشتکوه و خضرآباد مهم‌ترین آنها از نظر تامین رواناب دشت یزد- اردکان می‌باشند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش بررسی

در این تحقیـــق از مدل تورنت وایت - ماتر (۱۹۵۵) ، با اســـتفاده از تصاویر ماهواره ای لندست و نسخه نویسی در محیط نرم افزار الویس بصورت توزیعی برای برآورد بیلان آبی حوزه آبخیز یزد- اردکان توسعه یافته اســـت. داده های ورودی به مدل شامل ۱۲نقشه متوسط بارش ماهانه،۱۲نقشه متوســـط دمای ماهانه و نقشه ظرفیت آب موجود در خاک می باشد.در این تحقیق برای رسیدن به اهداف مورد نظر ، چهار مرحله کاری انجام شد.

۱-تهیه و تنظیم داده های اقلیمی

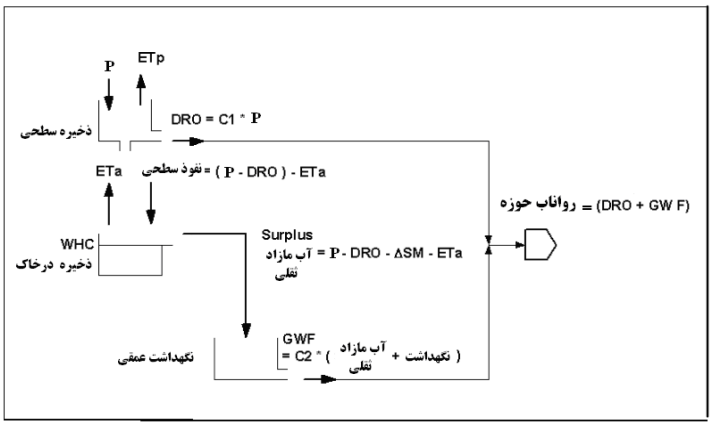
این مرحله شـــامل جمع آوری داده‌ها، کنتـــرل کیفیت آمار به روش آزمون توالی و باز ســـازی آمار به روش نســـبت نرمال بوده اســـت و برای بازســـازی داده هـــای بارش و دمـــا، از روش تفاضل و گرادیان استفاده شده است. سپس با استفاده ازمیانگین ماهانه داده ها وارتفاع ایســـتگاهها از سطح دریا معادله گرادیان ماهانه بارش و دما در حوضه یزد- اردکان برای ماه های مختلف محاسبه گردید که در جداول ۱و۲ آمده است.

جدول ۱ - معادلات گرادیان ماهانه بارش

ماه	معادلات گرادیان بارش	همبستگی	ماه	معادلات گرادیان بارش	همبستگی
مهر	P=0.0016 H-0.48	۰/۷۰۱	فروردین	P=0.0333 H-33.12	۰/۸۷۴
آبان	P=0.0047 H-2.78	۰/۷۷۳	اردیبهشت	P=0.011 H-9.06	۰/۸۰۴
آذر	P=0.016 H-10.84	۰/۹۱۷	خرداد	P=0.003 H-2.78	۰/۷۴۹
دی	P=0.018 H-9.01	۰/۸۸۵	تیر	P=0.0007 H-0.49	۰/۶۰۲
بهمن	P=0.021 H-11.26	۰/۸۸۱	مرداد	P=0.0004 H-0.31	۰/۴۵۶
اسفند	P=0.017 H-0.05	۰/۷۷۲	شهریور	P=0.0002 H-0.21	۰/۵۵۴

جدول ۲- معادلات گرادیان ماهانه دما

ماه	معادلات گرادیان بارش	همبستگی	ماه	معادلات گرادیان بارش	همبستگی
مهر	T=-0.0048H+26.01	-۰/۹۴۲	فروردین	T=-0.0072H+27.35	-۰/۹۴۲
آبان	T=-0.0035H+18.01	-۰/۹۰۴	اردیبهشت	T=-0.0073H+33.06	-۰/۹۶۸
آذر	T=-0.003H+12.31	-۰/۹۴۵	خرداد	T=-0.0079H+39.01	-۰/۹۸۵
دی	T=-0.0029 H+9.68	-۰/۹۶	تیر	T=-0.0076H+41.37	-۰/۹۸۷
بهمن	T=-0.0051H+14.24	-۰/۹۸۸	مرداد	T=-0.0069H+38.97	-۰/۹۷۹
اسفند	T=-0.0057H+18.89	-۰/۸۹۸	شهریور	T=-0.0057H+33.83	-۰/۹۵۷



شکل ۲- نمای شماتیک مدل

۲-تهیه نقشه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه حوضه

نقشـــه‌های ماهانه تبخیر و تعرق ماهانـــه حوضه از روش تورنت وایت با استفاده از معادله زیر در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید .

$$ETP=16.2\ (10Ti/I)^{a}$$

که در این معادله ETP نقشـــه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه حوضه به میلی‌متر، Ti نقشـــه دمای متوســـط ماهانه به ســـانتیگراد که با اســـتفاده از معادلات گرادیان دما و نقشه مدل ارتفاعی در محدوده حوضه تهیه گردید و I شـــاخص حرارتی ســـالانه که عبارتســـت از مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه و مقدار a نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I=\sum_{i=0}^{i=12}\left(\frac{T}{5}\right) \qquad a=(0.5+0.016\ I)$$

۳-تهیه نقشه ظرفیت آب موجود در خاک(AWC)

نقشـــه ظرفیت آب موجود در خاک با اســـتفاده از نقشه بافت خاک ، نقشـــه عمق ریشـــه و اســـتفاده از جداول ارائه شده توسط سازمان حفاظت خـــاک آمریکا(۱۹۶۴) تهیـــه گردید. این جـــداول ظرفیت نگهداری رطوبت قابل دسترس در خاک های با بافت مختلف را نشان می دهد . نقشه عمق ریشه نیز از روی نقشه پوشش اراضی و استفاده از جـــدول (۳) که از روی منابع موجود و کنترل زمینی تهیه گردیده، تعیین گردید.

جدول ۳- تعیین میانگین عمق ریشه بر اساس نوع پوشش اراضی

ردیف	نوع پوشش اراضی	عمق ریشه (متر)
۱	مناطق جنگلکاری شده	۱-۱/۲
۲	اراضی کشاورزی	۱-۰/۴
۳	اراضی بایر	۰/۱-۰/۲
۴	باغات	۱-۰/۱۵
۵	مراتع	۰/۱-۰/۳
۶	مناطق سنگی	۰/۱-۰/۲
۷	اراضی شور و مرطوب	۰/۷۵-۱
۸	اراضی مسکونی	۰/۱۵-۰/۲۵

۴-محاسبات مدل توزیعی بیلان آبی تورنت وایت - ماتر

ســـاخت بیلان ابی اولین گام در فهم رژیم آب در یک ناحیه مشخص اســـت. گام زمانی به صورت دراز مدت سالانه، ســـری زمانی سالانه، متوســـط دراز مدت ماهانه، سری زمانی ماهانه و روزانه مورد استفاده قرار می گیـــرد (Mehta et al., 2006). در زیر ســـاختار و نحوه محاســـبه آورد حوضه در گام ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفته اســـت. شـــکل (۲) نمایی کلـــی از این مدل را ارائه مـــی نماید. پس از وقوع بارندگی قســـمتی از بارش بصورت رواناب مستقیم از منطقه خارج می شـــود که مقدار آن از ضرب میزان بارش P در ضریب رواناب بدست می آید. در این تحقیق نقشه بارش از معادلات گرادیان ماهانه بارش و نقشـــه ضریب رواناب (C1) با اســـتفاده از نقشه های شیب و پوشـــش اراضی تهیه و مورد اســـتفاده قرار گرفته است. سپس نقشه بارش موثر (Peff) از کســـر میزان بارش از میزان رواناب مســـتقیم (DRO) بدست آمد. (ماه‌های سال = i)

$$DRO_i = C1 \times P_i \qquad (۱)$$

$$P_{eff} = P_i - DRO_i \qquad (۲)$$

بخشی از بارش موثر بصورت تبخیر و تعرق به جو باز می گردد و باقی مانده آن بصورت نفوذ سطحی(□□□□□) وارد خاک می شود. اختلاف میزان بارش موثر و تبخیر و تعرق پتانســـیل میزان نفوذ ســـطحی به خاک را تعیین می نماید.(اگر Peff >ETp)

$$SRECH_{(i)} = Peff_{(i)} - ET\,P_{(i)} \qquad (۳)$$

در زمان و محل هایی که میزان نفوذ ســـطحی مثبت اســـت. بارش موثر بیشتر از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل است و ظرفیت نگهداری اب خاک پر نشـــده است، مقداری از نفوذ سطحی صرف اضافه شدن رطوبت خاک (SM) می‌گردد که مقدار آن توسط معادله ذیل بدست می‌آید.

$$SM_{(i)} = SM_{(i-1)} + SRECH_{(i)} \qquad (۴)$$

پس از پر شـــدن ظرفیت نگهداری آب در خاک توســـط رواناب نفوذ یافته سطحی قسمتی از رواناب باقی مانده بصورت رواناب زیر سطحی شـــکل می‌گیرد. محاسبه رواناب زیر سطحی باید از اولین ماه مرطوب

سال صورت پذیرد. در زمان و محل هایی که میزان نفوذ سطحی منفی است. بارش موثر کمتر از مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل است، آبی برای افزایش رطوبت خاک وجود ندارد. در این حالت تخلیه رطوبت خاک توانی انجام می شود که با معادله زیر قابل برآورد است.

$$SM_{(i)} = WHC \times exp^{(APWL\ (i)/\ WHC)} \quad (۵)$$

در اینجا مجموع پتانسیل کاهش آب APWL همیشه مقداری منفی است. که نشان دهنده تغییرات خشکی خاک است. برای ماه‌های خشک(SRECH< 0) مقدار مجموع پتانسیل کاهش آب از معادله زیر بدست می آید.

$$APWL_{(i)} = APWL_{(i-1)} - SRECH_{(i)} \quad (۶)$$

برای ماههای مرطوب (SRECH > 0) مقدار مجموع پتانسیل کاهش آب برابر صفر می‌باشد که نشان دهنده عدم خشکی خاک می باشد. اگر بارش موثر بیشتر از تبخیر و تعرق پتانسیل باشد مقدار تبخیر تعرق واقعی(ETa) را برابر تبخیر و تعرق پتانسیل(ETp) در نظر می‌گیرند و گرنه مقدار تبخیر و تعرق واقعی از معادله زیر بدست می‌آید.

$$ETa = P_{eff} - \Delta SM_{(i)} \quad (۷)$$

در اینجا میزان تغییرات رطوبت خاک(ΔSM) معادل اختلاف میزان رطوبت خاک در این ماه به میزان رطوبت خاک در ماه قبل که از معادله زیر بدست می آید.

$$\Delta SM_{(i)} = SM_{(i)} - SM_{(i-1)} \quad (۸)$$

کسری رطوبت خاک نیز از اختلاف میان مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی در ماههای مشابه از طریق معادله زیر بدست می‌آید.

$$Deficit_{(i)} = ETp_{(i)} - ETa_{(i)} \quad (۹)$$

رواناب اضافی خاک ازحاصل اختلاف میان بارش موثر و مجموع تغییرذخیره رطوبت خاک در هرماه و مقدار تبخیر تعرق واقعی از معادله زیر بدست می آید. آب مازادی است که پس از پر کردن خلل و فرج لایه های خاک بصورت ثقلی بطرف پایین حرکت می کند.

$$Surplus_{(i)} = Peff_{(i)} - [\Delta SM_{(i)} + ETa_{(i-1)}] \quad (۱۰)$$

آب مازاد نفوذ کرده از لایه های بالایی خاک اضافه می شود به رطوبت نگهداشته شده از ماه قبل در خاک و مجموع آب قابل دسترس (TARO) هرماه است که جریان زیر سطحی را ایجاد می نماید و از معادله زیر بدست می‌آید.

$$TARO_{(i)} = Surplus_{(i)} + Detention_{(i-1)} \quad (۱۱)$$

ذخیره زیر سطحی رواناب(TARO) مهمترین نقش را در شکل دادن جریان زیر سطحی دارد. قسمتی از ذخیره زیر سطحی آب بصورت جریان زیر سطحی خارج می شود و مقداری از ان نگهداشته می شود تا ماههای بعد. درصدی از آب ذخیره شده که بصورت جریان زیر قشری از منطقه خارج می شود متغییر بوده که در منابع مختلف معمولا ۵۰ درصد در نظر گرفته می شود (عصاری،۱۳۹۰) و (2005, Sen and Gieske). و مابقی آب بصورت نگهداشت در خاک باقی می ماند که به رواناب مازاد ماه قبل اضافه می گردد و هر ماه به همین منوال ادامه می یابد. در نهایت مجموع رواناب مستقیم (DRO) و رواناب زیر سطحی(GWF) هرماه، میزان کل رواناب حوضه را مشخص می نماید.

$$\text{رواناب حوضه} = DRO + GWF \quad (۱۲)$$

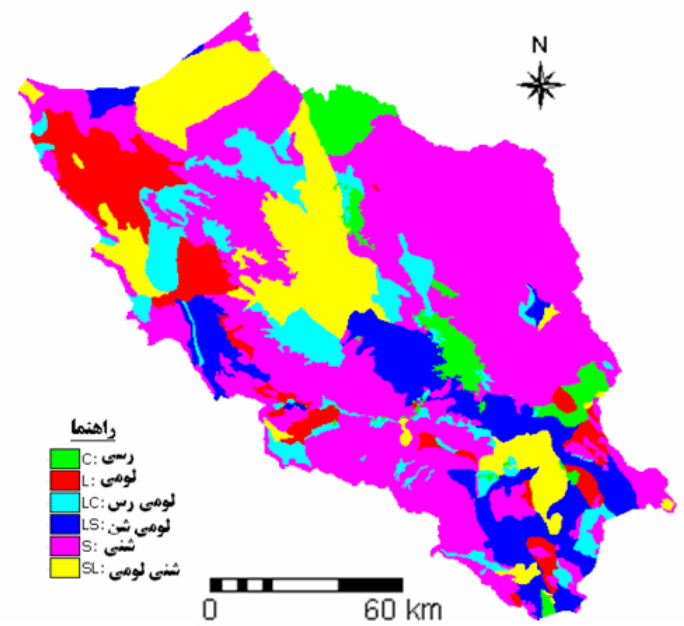
نتایج

نقشه بافت خاک و حجم ذخیره رطوبت

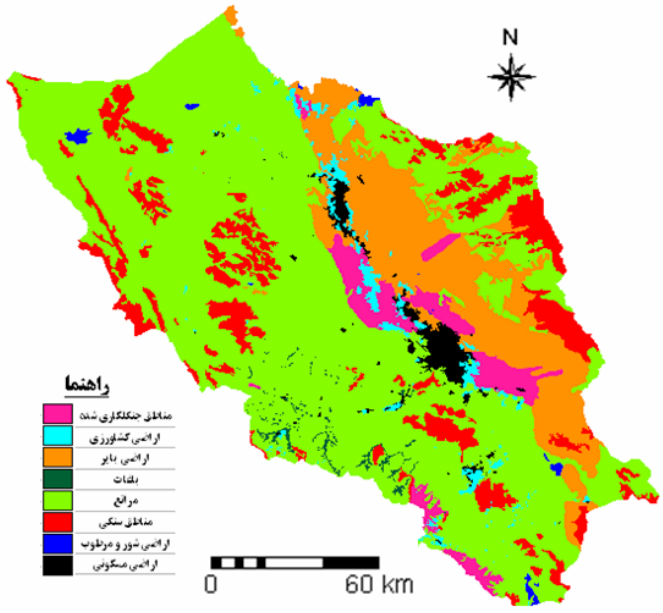
بر اساس نقشه طبقه بندی خاک استان نوع خاک های موجود در محدوده مورد مطالعه شامل لپتوسل ،رگوسل و کمبیسل می باشد. خاک های لپتوسل دارای بافت های شنی و شنی لومی و عمق کم بوده که می تواند ۱۰۰ میلیمتر بر متر توان ذخیره رطوبت (TAM) داشته باشد. این خاک ها در مناطق شرق و جنوب غرب منطقه گسترش دارد. خاک های رگوسل که غالب منطقه را پوشش می دهد از جنوب غرب تا شمال غرب دیده می شود. عمق این خاک ها متوسط و بافت لومی رسی و لومی ودارای توان ذخیره رطوبت ۲۰۰ میلی‌متر بر متر هستند. خاک‌های کمبیسل که بیشتر در مناطق شور مرکزی و شمال حوضه گسترش دارد. عمق این خاک‌ها زیاد و دارای توان ذخیره رطوبت بالای ۲۵۰ میلیمتر بر متر هستند (Doorenbos & Kassam, 1986). شکل (۳) نقشه تغییرات مکانی بافت خاک حوضه مورد مطالعه را نشان می دهد.

نقشه پوشش اراضی و عمق ریشه

نقشه پوشش اراضی حوضه (شکل ۴) با استفاده از تصاویر لندست تاریخ جولای ۲۰۰۷ و جمع آوری داده های زمینی با استفاده از روش ترکیبی طبقه بندی تهیه گردید. عمق ریشه در انواع پوشش اراضی حوضه ، رابطه مستقیمی با مقدار آب موجود در خاک دارد. مراتع،اراضی بایر و مسکونی دارای عمق ریشه بسیار کمی (بین ۰/۱ تا ۰/۴ متر) هستند و مقدار آبی که می توانند در داخل خود ذخیره نمایند کم است. از سوی دیگر مناطق جنگلکاری شده، اراضی کشاورزی و باغات دارای عمق ریشه نسبتا زیاد (بین ۱ تا ۱/۵ متر) هستند که مقدار آب ذخیره شده در آنها هم زیاد است (شکل ۵).



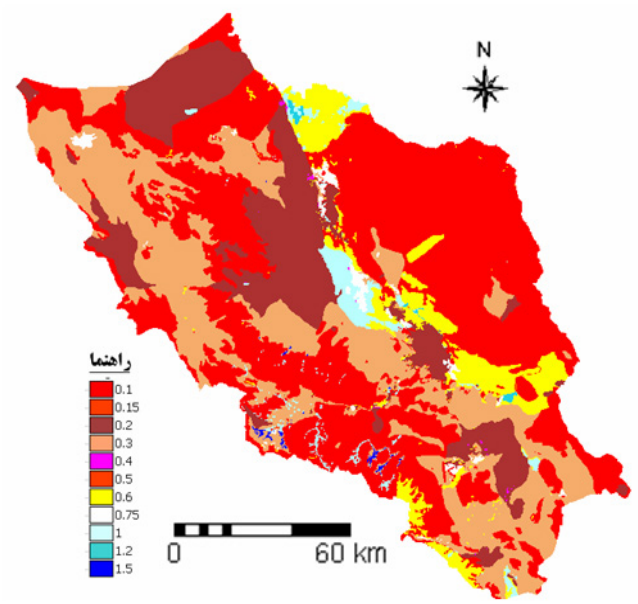
شکل ۳- نقشه بافت خاک در حوضه یزد- اردکان



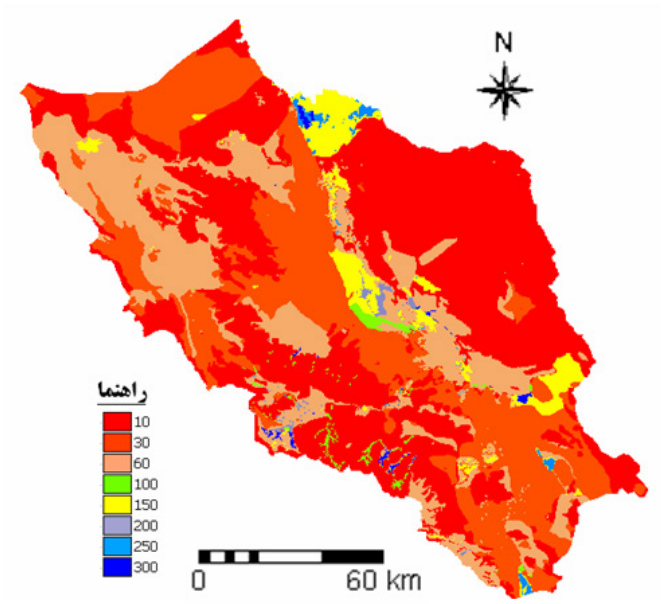
شکل ۴- نقشه پوشش اراضی در حوضه یزد- اردکان

نقشه ظرفیت آب موجود در خاک

ظرفیت آب موجود در خاک بستگی به بافت خاک و نوع پوشش اراضی دارد. بافت های متفاوت خاک دارای توان ذخیره آب متفاوت در واحد عمق هستند. در شرایط مشابه، پوشش های اراضی مختلف دارای عمق ریشه متفاوت هستند که می توانند آب را در خود ذخیره کنند. از اینرو ظرفیت آب موجود در خاک(WHC) می‌تواند از حاصل ضرب کل ذخیره آب خاک(TAM) در عمق ریشه که با نوع پوشش اراضی هر محدوده تعیین شود (شکل ۶).



شکل ۵- نقشه عمق ریشه در حوضه یزد- اردکان(به متر)



شکل ۶- نقشه پوشش اراضی در حوضه یزد- اردکان

بیلان آبی حوضه

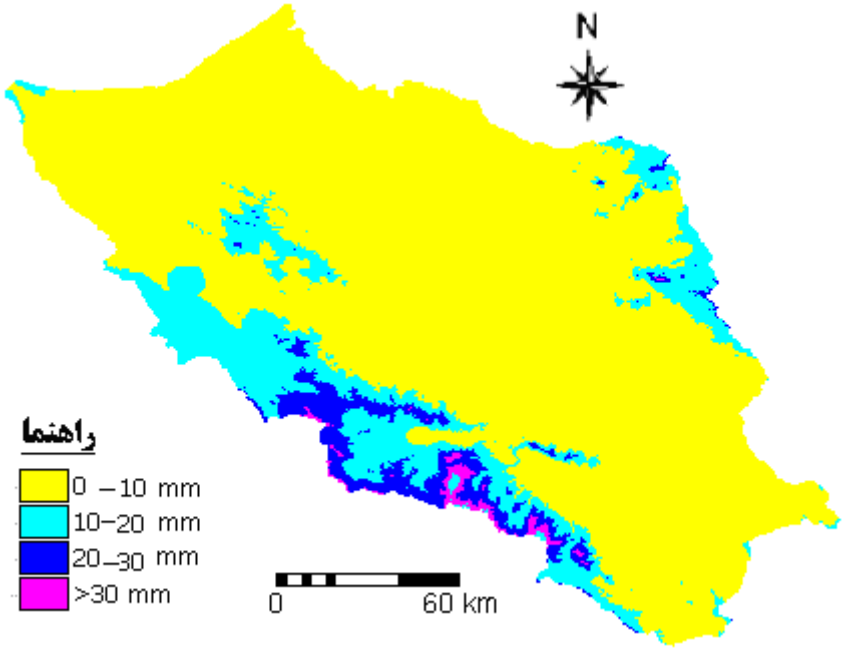
مقدار پارامتر های بیلان آبی حوضه برای هر یک از سلول های ۶۰×۶۰ متر داخل محدوده مورد مطالعه تعیین که بصورت نقشه های توزیعی ارائه گردید. در نهایت میانگین اعداد نقشه برای تعیین پارامتر های هیدرولوژیکی حوضه بصورت خلاصه در جدول (۴) ارائه گردید. میزان ماهانه رواناب سطحی، زیرسطحی و کل رواناب خروجی حوضه مهمترین نتایج مدل بوده است. به منظور محاسبه رواناب سطحی از نقشه ضریب رواناب(C1) که از نقشه شیب و کاربری اراضی استفاده گردید و متوسط ضریب رواناب حوضه یزد- اردکان در این روش ۰/۳۱ بدست آمده که با نتایج مطالعه اسلامیان و همکاران (۱۳۸۶) تقریبا نزدیک است، علاوه بر این که تاثیر تغییرات مکانی مقدار ضریب رواناب را در محاسبات لحاظ و دقت محاسبات را افزایش میدهد.

جدول ۳- تعیین میانگین عمق ریشه بر اساس نوع پوشش اراضی

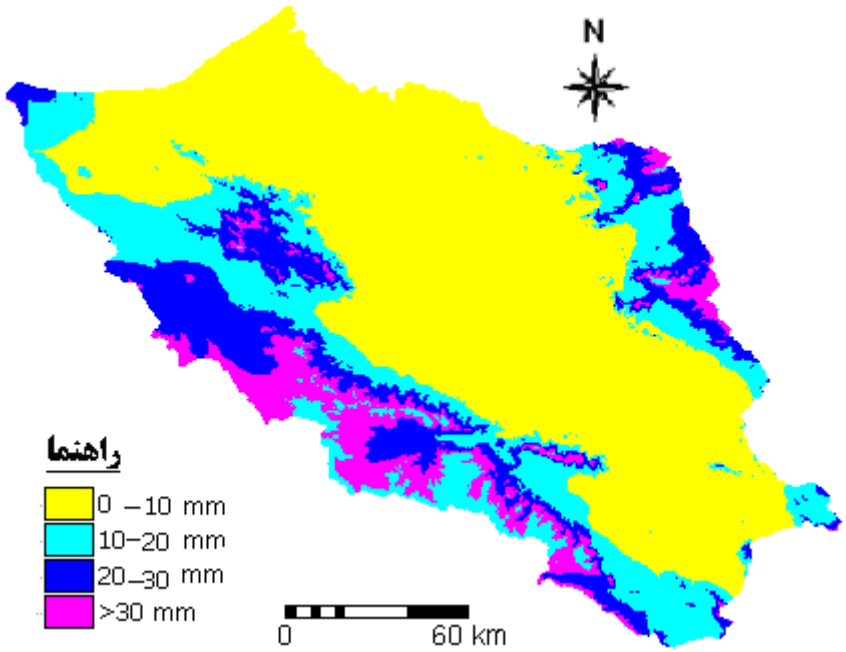
ماهها	P	DRO	ETp	SRECH	APWL	⊿SM	ETa	Deficit	Surplus	WGL	TRO
دی	۳۴/۹	۵/۲۳۵	۷/۴۲	۱۸/۰۱	۰	۹۶/۷۸	۳/۱	۱۱/۷۳	۱۷/۰۲	۵/۲۲	۱۰/۴۵
بهمن	۳۹/۷	۵/۹۵۵	۱۲/۱۱	۱۸/۸	-۱۱/۴۱	۶/۴۴	۱۹/۱	۶/۰۳	۱۵/۶۸	۵/۹۴	۱۱/۸۹
اسفند	۴۱/۵	۶/۲۲۵	۲۱/۰۵	۱۰/۸۶	-۲۹/۷۸	۶/۲۷	۲۵/۶۲	۱۵/۲۹	۷/۹۹	۶/۲۲	۱۲/۴۴
فروردین	۴۲/۹	۶/۴۳۵	۴۳/۴۷	-۱۷/۷	-۶۸/۰۶	-۴/۴۴	۳۱/۸۸	۴۶/۲۵	۰	۶/۲۰	۱۲/۶۳
اردیبهشت	۱۷/۹	۲/۶۸۵	۷۵/۹	-۶۶/۰۶	-۱۵۵/۷۷	-۲۸/۹۵	۳۳/۳۵	۷۹/۹۴	۰	۲/۴۴	۵/۱۲
خرداد	۴/۷	۰/۷۰۵	۱۱۱/۴۶	-۱۰۹/۱۶	-۲۸۴/۷	-۲۵/۲۷	۲۵/۹۲	۱۳۰/۹۴	۰	۰/۶۱	۱/۳۱
تیر	۱/۳	۰/۱۹۵	۱۳۳/۵۵	-۱۳۲/۱۹	-۴۳۶/۷۱	-۱۸/۴۴	۱۸/۷۳	۱۵۷/۶۴	۰	۰/۱۷	۰/۳۶
مرداد	۰/۷	۰/۱۰۵	۱۲۰/۷۲	-۱۲۰/۱	-۵۱۷/۲۸	-۱۱/۸	۱۱/۸۴	۱۴۳/۶۷	۰	۰/۰۹	۰/۱۹
شهریور	۰/۳	۰/۰۴۵	۹۷/۴۷	-۹۷/۱۶	-۶۷۶/۰۵	-۷/۳۷	۷/۳۷	۱۱۴/۶۱	۰	۰/۰۴	۰/۰۸
مهر	۳/۵	۰/۵۲۵	۵۴/۴۳	-۵۲/۰۹	-۷۳۰/۶۹	-۳/۷۴	۴/۹۴	۶۳/۲۵	۰	۰/۴۸	۱
آبان	۸/۹	۱/۳۳۵	۴۴۲۸	-۲۲/۶۱	-۷۵۷/۰۲	-۱/۴۸	۵/۵۷	۲۹/۲	۰	۱/۱۸	۲/۵۱
آذر	۲۸/۷	۴/۳۰۵	۱۱/۵۵	۸/۲۲	-۱۰۱۱/۲	۱۴/۱۳	۸/۲۷	۱۳/۶۳	۸/۵۳	۴/۲۹	۸/۵۹
سالانه	۲۲۵	۳۳/۷۵	۷۱۷/۵۷	-۵۶۱/۱۸	-۴۷۳۲/۷	۲۲/۱۳	۱۹۵/۷	۸۱۲/۱۸	۴۹/۲۲	۳۲/۸۲	۶۶/۵۷

مناطق تغذیه آب زیر زمینی دشت

در منطقـــه مورد مطالعـــه در دوره فروردین تا آبان ماه معمولا رواناب اضافـــی وجود ندارد. در این ماه ها میزان بارش کمتر از تبخیر و تعرق پتانســـیل است. از ماه آذر تا اسفند ماه مقدار تغذیه آب زیر زمینی در مناطق جنوب غرب و غرب حوضه وجود دارد که می توان با حفاظت بهتر، بهـــره وری آنها را افزایش داد. میـــزان و مناطق تغذیه آب زیر زمینی حوضه در ماه های مختلف متغیر بوده که بین ۲۰ تا ۵۰ درصد از سطح حوضه تغییر می نماید. شکل (۷ و۸) محدوده و میزان رواناب اضافـــی در ماه های آذر و بهمن که صـــرف تغذیه آب زیر زمینی می گردد را نشـــان می دهد. تغذیه آب زیر زمینی تنها در ماههای آذر تا اسفند اتفاق می افتد که مقدار آن بین ۸/۵ میلیمتر در آذر ماه تا ۱۷ میلیمتر در دی ماه متغیر می باشد.



شکل ۷- میزان و محدوده تغذیه آب زیر زمینی حوضه در آذر ماه



شکل ۸- میزان و محدوده تغذیه آب زیر زمینی حوضه در بهمن ماه

بحث و نتیجه گیری

پژوهندگان دیگری، با بهره گیری از مدلهای مختلف سعی بر شبیه‌سازی بارش - رواناب نموده اند.در این خصوص بیش از ۱۰ روش در ادبیات فنی ذکر شده که به تناسب هرمنطقه، یکی از روش های مورد اشاره دارای قابلیت کاربردی است(ناصری و زهرایی، ۱۳۹۰). ولی محدودیت داده آماری مورد نیاز مدل ها و گستردگی حوزه‌های مناطق خشک استفاده از این مدلها را محدود کرده است. در این تحقیق با استفاده از حداقل داده های ورودی شامل بارش ، تبخیر و تعرق پتانسیل و ظرفیت نگهداری آب در خاک، بیلان آبی ماهیانه دراز مدت حوزه آبخیز یزد-اردکان با حدود ۱۶۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت بر اساس روش تورنت وایت- ماتر بصورت توزیعی در محیط GIS تهیه گردیده است.ارزیابی نتایج نشان داد که داده های شبیه سازی شده توسط مدل، تطابق خوبی با داده های ماهانه اندازه گیری شده در ایستگاه اسلامیه در خروجی زیر حوزه پیشکوه داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق ، متوسط ارتفاع رواناب سالانه حوضه یزد- اردکان ۶۶/۷ میلیمتر می باشد که از نتایج ارائه شده در مطالعات اسلامیان(۱۳۸۶) و طرح جامع سیل استان(۱۳۷۲) بیشتر است. از آنجایی که در روش های قبلی از روش یکپارچه استفاده شده و تنها رواناب سطحی برآورد گردیده و رواناب زیر سطحی در نظر گرفته نشده که می تواند این اختلاف را موجه نماید. مطالعه بیلان آبی با استفاده از مدل تورنت وایت - ماتر بصورت توزیعی و نیمه توزیعی که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور انجام گرفته ،نشان داد که نتایج رضایت بخشی بدست خواهد آمد که با نتایج به دست آمده از مهدوی و آذرخشی (۱۳۸۳)،جاسروتیا و همکاران (۲۰۰۹)و کومار و خیسکه (۲۰۰۵) تشابه دارد وجه تمایز این تحقیق با تحقیقات انجام شده توسط حصاری (۱۳۹۰) در خصوصیات و محدویت های اقلیمی حوزه یزد-اردکان در منطه خشک مرکزی کشور، استفاده از روش نسخه نویسی در محیط نرم افزار الویس و استفاده از سلول‌های کوچکتر برای بالا بردن دقت محاسبات بوده است.

با توجه به این که مدل قابلیت شبیه سازی رواناب در تمام شبکه سلولی حوزه را دارد، این قابلیت مدل برای مدیران و کارشناسان این امکان را فراهم می نماید که قبل از اجرای هر گونه عملیات، مناطق مختلف را از نظر پتانسیل ایجاد رواناب شناسایی نمایند. مدل مورد استفاده در این پژوهش را می توان برای سایر آبخیزهای با وضعیت هیدرولوژیک مشابه مورد استفاده قرار داد. همچنین پیشنهاد میشود در مطالعات آینده این مدل را در گام های زمانی کوتاهتر به کار برد تا توانایی مدل بهتر مورد بررسی قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱-اسلامیان سعید ، خاتون آبادی احمد و حوضی حسین، ۱۳۸۶،برآورد تغذیه طبیعی آبخوان در دشت یزد-اردکان، مجموعه مقالات نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲-حصاری بهزاد،۱۳۹۱، بررسی تهیه مدل بیلان آب خاک با استفاده از □□□(مطالعه موردی حوزه آبریز نازلو چای)، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی ،شماره ۳۹۴۱۴، موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی

۳-مهدوی محمد و آذرخشی مریم ،۱۳۸۳، تعیین مدل بیلان آبی مناسب ماهانه در حوزه های آبخیز کوچک کشور(مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی و شمال خراسان)، مجله منابع طبیعی ایران ، ج۵۷، ش۳

۴- مهندسین مشاور عمران کویر یزد،۱۳۷۲، طرح جامع سیل استان یزد، جلد اول حوزه آبریز دشت یزد اردکان، ۸۶ صفحه
۵- ناصری محســـن، زهرایی بنفشـــه،۱۳۹۰، ارزیابی عـــدم قطعیت مدل بیلان آبی ماهانه با استفاده از روش خودســـازمانده در حوضه آبریز، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
6- Doorenbos, J. and Kassam, A. H., 1986, Yield Response to Water, FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy.
7-Jasrotia,A.S. Majhi,A. and Singh, S. 2009.Water Balance Approach for Rainwater Harvesting using Remote Sensing and GIS Techniques, Jammu Himalaya, India. Water Resource Manage, DOI: 10.1007/s-11269 5-9422-009,p
8- Kumar Sen, P and Gieske, Ambro, 2005. Use of GIS and remote sensing in identifying recharge zones in an arid catchment: a case study of Roxo River basin, Portugal. Journal of Nepal Geological Society, Vol. 31, pp. 32–25
9- Mehta V. K., M. Todd Walter and S. D. DeGloria. 2006. A simple water balance model.Arghyam/Cornell University. http://www.indiawaterportal.org/node/1043. Visit: 2010.