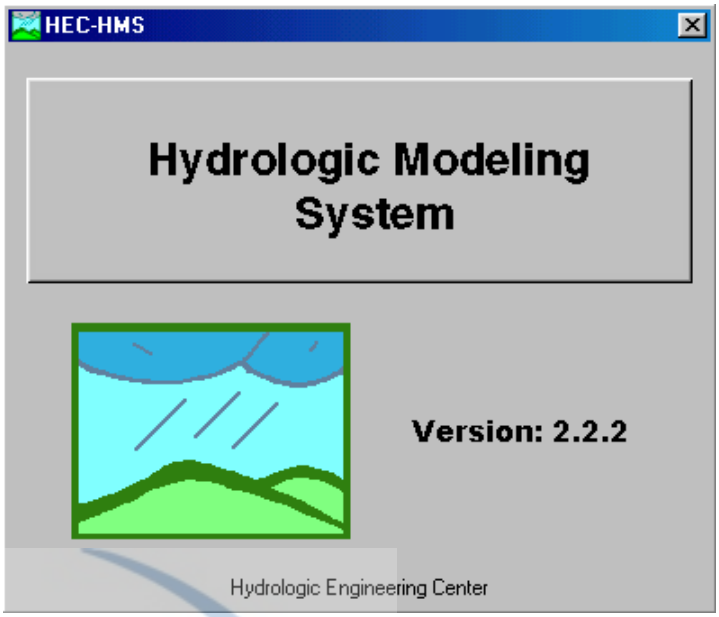
دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

گروه مهندسی آب

راهنمای استفاده از نرم افزار:

Hydrologic Modeling System

HEC-HMS



استاد راهنما:

جناب آقای دکتر نویدجلال کمالی

تهیه کنندگان:

مهدی رضائیان زاده

حسین دیانی

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب

۱۳۹۰

فهرست

معرفی نرم افزار HEC-HMS نسخه ۲،۲،۲ ..... ۵

مدلسازی مولفه های حوضه آبخیز Modeling Basin Components ٦

فصل اول

مولفه های مدل HEC-HMS ۸

اجزاء مختلف مدل حوضه ۸

تلفات ۸

تبدیل بارش به رواناب (Runoff transformation) ۹

جداسازی جریان پایه (Base flow) ۹

روند یابی رودخانه (Channel Routing) ۹

اجزاء مختلف مولفه شاخه های کنترل ۱۰

اجزاء مختلف مولفه مدل هواشناسی ۱۰

تخمین پارامتر (Parameter Estimation) ۱۱

فصل دوم

نظری اجمالی به نرم افزار و نحوه ساخت و اجرای یک پروژه ۱۳

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

فصل سوم

تشریح و معرفی جزئیات مولفه مدل حوضه (Basin Models) ۳۰

عناصر هیدرولوژیکی (Hydrdogic Elements) ۳۰

تشریح عناصر ۳۰

فصل چهارم

رویه واسنجی (Model Calibration) ۳۵

تابع هدف (Objective Function) ۳۶

روشهای جستجو در HMS (Search Methods) ۳۹

Parameter Sensitivity ۴۰

Creating Optimization Runs..... ۴۰

روشهای مقایسه ترسیمی :..... ۴۲

واسنجی و صحت سنجی مدل (Model Calibration Verification)..... ۴۵

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

2.2.2 معرفی نرم افزار HEC-HMS نسخهٔ

نرم افزارHEC-HMSنسخهٔ توسعه یافتهٔHEC-1 ،تحت ویندوزبرای شبیه سازی فرایند بارندگی –رواناب حوزه آبریز طراحی شده است.(برای شبیه سازی پاسخ رواناب سطحی یک حوزهٔ آبخیز نسبت به بارندگی معین می باشد.)

این برنامه به گونه ای طراحی شده است که دامنهٔ گسترده ای از نواحی جغرافیایی را پاسخگو باشد ، بعلاوه این برنامه قابلیت تحلیل رودخانه های حوزه های آبخیز بزرگ ذخایر آبی و هیدرولوژی سیلاب و رواناب حوزه های آبریز طبیعی و شهری را دارا می باشد.

هیدروگراف های حاصل از تحلیل نرم افزار **HEC-HMS** یا مستقیماً در مسائل طراحی بکار برده می شود و یا در ارتباط با دیگر نرم افزارها برای مطالعات تکمیلی آبی ، زهکشی شهری پیش بینی جریان ، طراحی سرریز مخزن ، کاهش آسیب سیلاب و.. مورد استفاده قرار می گیرد.

این مدل حوزه آبخیز را به عنوان یک سیستم یکپارچه **(Lumped)** با مؤلفه های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش میدهد.هر جزء مدل یک جنبه از فرآیند بارش

-رواناب را در داخل بخشی از حوزه که معمولا به عنوان زیر حوزه در نظر گرفته می شود ، شبیه سازی میکند. به عبارت دیگر اجزاء مختلفی برای شبیه سازی سیستم فیزیکی حوزه ترکیب میشوند و هر جزء نمایندهٔ یکی از عوامل تبدیل بارش به رواناب در حوزه می باشد که از ترکیب اثر توام عوامل مذکور هیدروگراف نهایی سیلاب حاصل خواهد شد.

جزوهٔ حاضر جهت آشنایی دانشجویان درس هیدرولوژی آبهای سطحی با نرم افزار مذکور ، انجام یک پروژه آموزشی در عملیات هیدرولوژی تدوین شده است.

نحوهٔ تشریح مطالب در این جزوه به این صورت است که ابتدا چارچوب کلی نرم افزار بحث شده وسپس در فصول جلوتر جزئیات دستورها تشریح گردیده لذا برای استفادهٔ کارا از این جزوه توصیه می گردد که ابتدا کل آن توسط دانشجویان مطالعه شود و سپس با برگشت به ابتدای آن مراحل ساخت و اجرای یک پروژه به طور عملی دنبال شود.

مدلسازی مؤلفه های حوزهٔ آبخیز Modeling Basin Components

هر پروژهٔ کامل در این نرم افزار شامل سه مؤلفهٔ زیر است که هر یک وظیفهٔ خاص در ارتباط با تبدیل بارش به رواناب و روندیابی آن دارند.

۱- «Basin Model»

شمائی از حوضه و نمایش فیزیکی و هندسی آن در مولفهٔ **Basin Model** تعریف می شود.عناصر هیدرولوژیکی در مؤلفهٔ مدل حوزه برای شبیه سازی فرآیند رواناب عبارتند از:

Subbasin–Reach–Junction –Reservoir–Diversion–Source-Sink

عناصر فوق الذکر ، تعریف کنندهٔ اجزاء مختلفی که یک حوضه می تواند داشته باشد هستند.

۲- «**Meterologic Model**»

تحلیل داده های هواشناسی بوسیلهٔ مؤلفهٔ مدل هواشناسی **(Meterologic Model)** انجام می شود این مؤلفه شامل اطلاعات بارندگی و تبخیر-تعرق است. در این مؤلفه نوع اطلاعات بارندگی مشخص شده و در صورت لزوم مقدار بارش وتوزیع زمانی و مکانی آن نیز در صورت لزوم مشخص میشود.

۳- «**Control Specifications**»

در این مؤلفه از پروژه ، تاریخ وزمان شروع و اتمام شبیه سازی برای پروژه معرفی می شود.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

فصل اول

مؤلفه های مدل HEC-HMS

اجزاء مختلف مدل حوضه

تلفات (Losses)

در این قسمت روشهای مختلفی برای محاسبه وشبیه سازی تلفات بارش **(Losses)** وجود دارد ، که این روشها عبارتند از :

Initial and Constant – SCS Curve Number – Gridded SCS Curve Number – Green and Ampt

تبدیل بارش به رواناب (Runoff Transformation)

برای شبیه سازی فرآیند رواناب مستقیم از بارش مازاد در یک حوزه روشهایی مختلف وجود دارد که مدل **HEC-HMS** آنها را تحت عنوان «تبدیل یا انتقال» **(Transformation)** معرفی می کند.

ما در اینجا به بررسی روش **UH** (هیدروگراف واحد) می پردازیم. این روش شامل سه تکنیک **Clark , Snyder , SCS** می شود.

تذکر: رواناب زیر حوضه ها می تواند بصورت یکپارچه **(Lumped)** و یا توزیعی **(Distributed)** محاسبه شود.در مدل یکپارچه بارش و تلفات بصورت میانگین مکانی روی کل زیر حوضه در نظر گرفته می شود.در روش توزیعی حوضه به سطوح کوچکتر تقسیم می گردد و بارش مؤثر در سطح این اجزاء محاسبه شده و تبدیل بارش مؤثر به رواناب مستقیم توسط روش اصلاح شده کلارک **(Modclarck)** صورت می گیرد.

جداسازی جریان پایه (Base Flow)

مدل **HEC-HMS** از چندین روش مختلف برای جداسازی جریان پایه از هیدروگراف سیلاب بهره می برد ، که این روشها عبارتند از :

Constant Monthly – Recession – SMA

روند یابی رود خانه (Channel Routing)

این نرم افزار قادر است هیدروگراف شبیه سازی شده سیلاب را در یک کانال مصنوعی یا طولی از رودخانه **(Reach)** روند یابی نموده و هیدروگراف تغییر یافته را محاسبه و ارائه نماید. روشهای مختلف محاسبه روند یابی در مدل **HEC-HMS** عبارتند از:

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

Lag – Muskingum – Modified Plus – Muskingum Cung STD – Muskingum Cung 8 Point – Kinematic Wave

تئوری و روش محاسبات هریک از روشها نامبرده شده در مرجع فنی نرم افزار **(Technical Manual)** قابل دستیابی هستند.

اجزاء مختلف مؤلفه شاخصهای کنترل

خصوصیات زمانی شبیه سازی بوسیلهٔ **Control Specification** ، کنترل میشود. این مؤلفه شامل تاریخ و زمان شروع/پایان شبیه سازی و بازه زمانی **(Time interval)** آن می باشد.

یک اجرا**(run)** از ترکیب سه مؤلفه مدل حوضه **(Basin Model)** و مدل هواشناسی **(Meteorlogic Model)** و شاخصهای کنترل **(Control Specification)** ساخته می شود. نتایج محاسباتی در شماتیک مدل حوضه **(Basin Model)** نشان داده می شوند. **(Global and element Summery table)** ، شامل اطلاعاتی در مورد اوج و حجم کل جریان شبیه سازی شده می باشد.

اجزاء مختلف مؤلفه مدل هواشناسی :

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

مدل بارش (Precipitation Model)

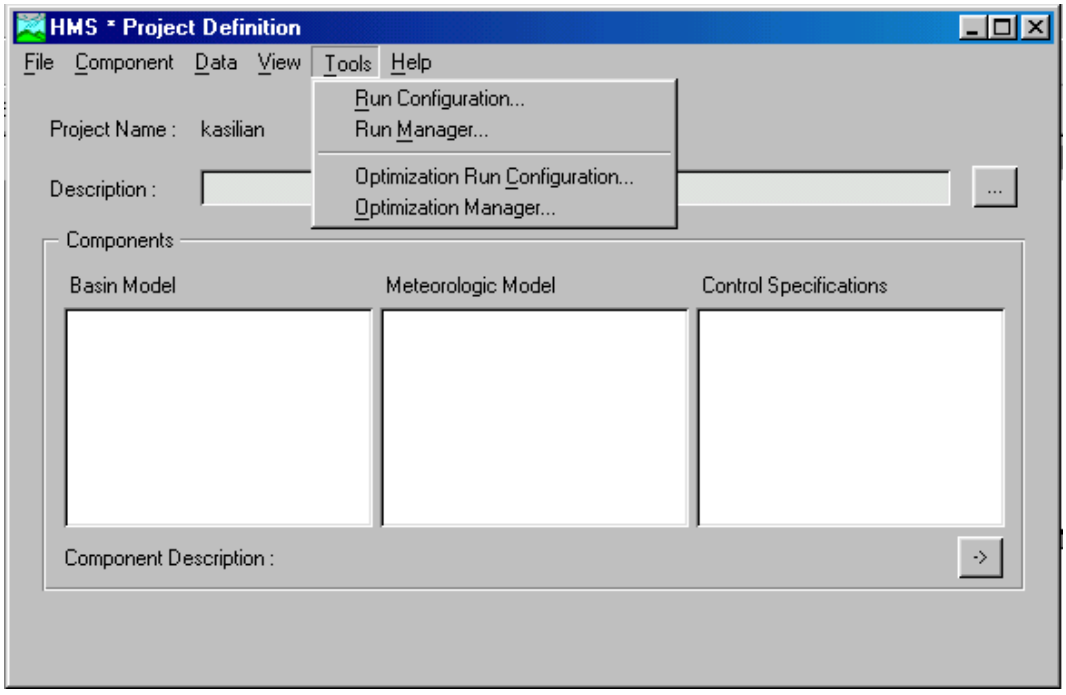
در این بخش مجموعهٔ اطلاعات بارش ثبت شده یا طراحی به مدل معرفی می شود.روشهای معرفی بارش در این مدل شامل:

- روش رگبار استاندارد پروژه و برآورد فراوانی رگبار **(USACE , 1989)**
- روش وزنی مجذور عکس فاصله **(Inverse distance weighting)**
- روش وزنی دلخواه کاربر **(User-Specifid gage weighting)**
- روشهای تعیین سطوح تحت تاثیر ایستگاهها مانند چند ضلعیهای تیسن و تعیین هایتوگراف بارش **(User-Specifid Hyedrogargh)**
- روش بارش سلولی که روش اخیر بصورت یک مدل توزیعی در روش تبدیل بارش به رواناب **(Modclark)** استفاده میشود.**(Grid-Based precipitation)**

تخمین پارامتر (Parameter Estimation)

روشهای محاسباتی معرفی شده در سطور قبل نیاز به ارائهٔ مقادیر عددی یک سری پارامتر دارند.پس از معرفی مقادیر مذکور مدل **HEC-HMS** توانائی بهینه سازی و بهبود بخشیدن به این پارامتر ها را از طریق **Optimization Manager** را دارد.این انتخاب از صفحهٔ اصلی نرم افزار و بخش **(Tools)** در

نوار ابزار صفحهٔ قابل دسترسی است. شکل(۱-۱)



شکل (۱-۱)

فصل دوّم

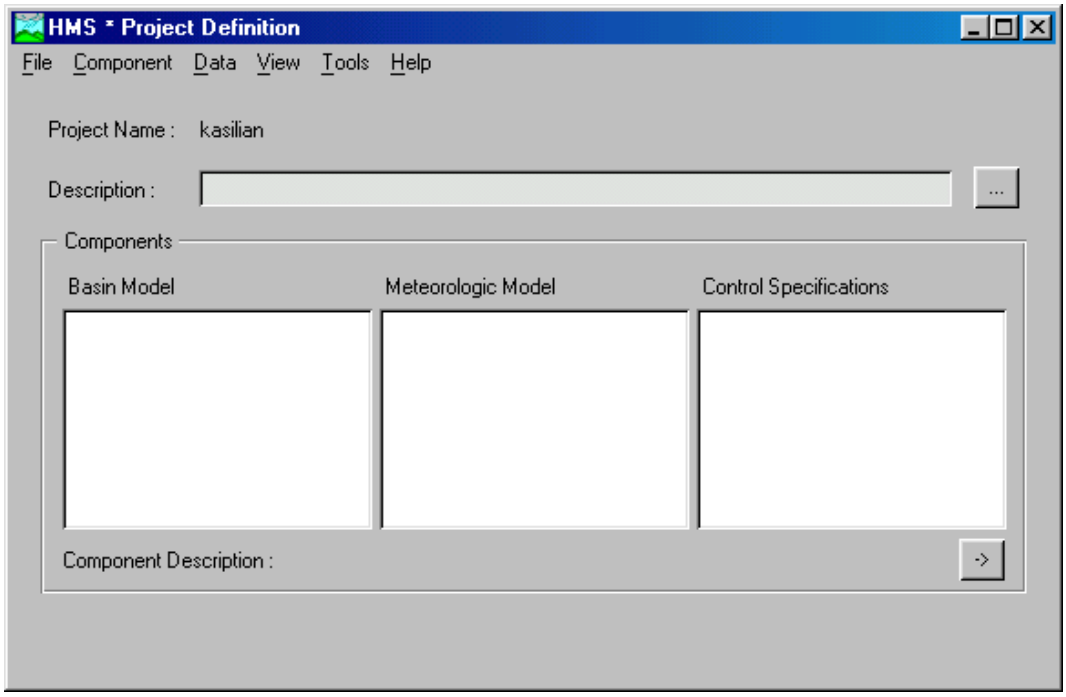
نظری اجمالی به نرم افزار و نحوهٔ ساخت و اجرای یک پروژه

در این قسمت نظری اجمالی به شروع برنامه و ساخت واجرای یک پروژه خواهیم داشت.

یک پروژه از سه مؤلفهٔ مدل حوضه **(Basin Model)** ، مدل هواشناسی **(Meteorological Model)** و شاخصهای کنترل **(Control Specification)** تشکیل شده که اطلاعات زیر اجزای هریک از این مؤلفه ها به طور کامل معرفی شده باشد.

پس از اجرای برنامه مطابق شکل (۲-۱) ، صفحهٔ **(Project Definition)** باز می شود ، در این صفحه ، که صفحهٔ اصلی نرم افزار است ، میتوان به مؤلفه های نرم افزار دسترسی داشت.در این صفحه پروژه ای که آخرین بار بر روی آن کار شده به طور خودکار ، باز می شود.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰



این صفحه یکی از دو مکانی است که می توان عنوان توضیحی پروژه **(Poject Description)** را تغییر داد.در بخش عنوان توضیحی پروژه به طور اختیاری در یک یا چند جمله توضیحاتی در مورد پروژه درج می شود.

مکان دیگری که میتوان عنوان توضیحی پروژه را تغییر داد ، صفحهٔ **(Project Attributes)** می باشدکه از نوار ابزار صفحه **(Project Definition)** ، بخش فایل **(File)** قابل دسترسی است.

مطابق شکل (۲-۱) نوار ابزار صفحهٔ **(Project Definition)** از بخشهای زیر:

File , Component , Data, View , Tools , Help

تشکیل شده است. هر کدام از این قسمت ها نیز،از اجزاء مختلفی تشکیل گردیده.

انجمن تخصصی
مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

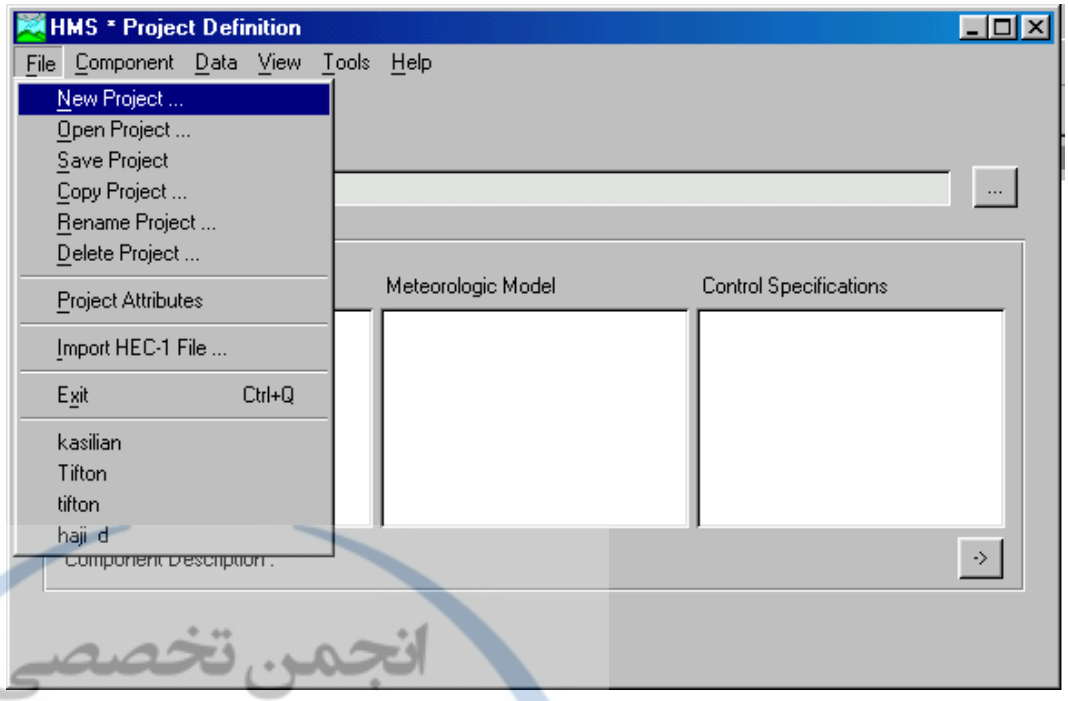
رویه تعریف و اجراء یک پروژه به قرار زیر است:

1. Create a new project

در این بخش یک پروژهٔ جدید با معرفی اسم آن ویک عنوان توضیحی اختیاری ایجاد می شود.نحوهٔ کار از نوار ابزار صفحهٔ **Project Definition** به صورت زیر است:

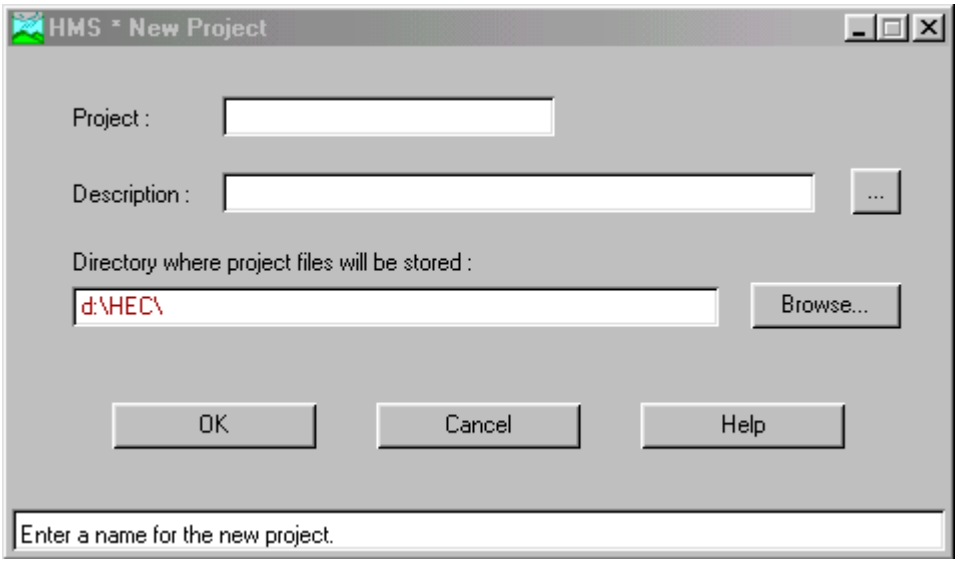
File ⟶ **New Project**

مانند شکلهای زیر (شکل ۲-۲) و (شکل۲-۳)



(شکل ۲-۲)

انجمن تخصصی
مهندسی علوم آب
۱۳۹۰



(شکل ۲-۳)

2- Set project Attributes (Model Selection)

از آنجائی که روشهای متفاوتی را می توان برای محاسبات مختلف نظیر نفوذ ، حجم رواناب و... برگزید (مطابق آنچه درفصل قبل به اختصار تشریح گردید.) ، در ابتدا باید توسط مدل ساز ، روش محاسبات انتخاب و به نرم افزار معرفی شود.نحوهٔ کار به صورت زیر است:

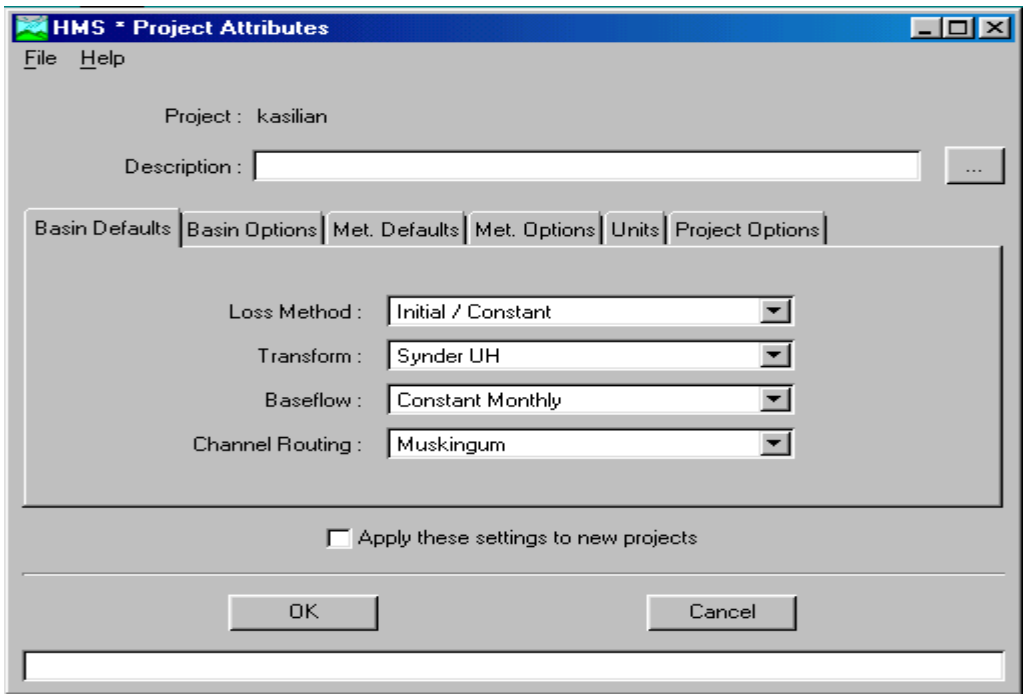
File → Project Attributes

همانطور که در (شکل ۲-٤) مشاهده میشود. این صفحه شامل چند قسمت مختلف است.

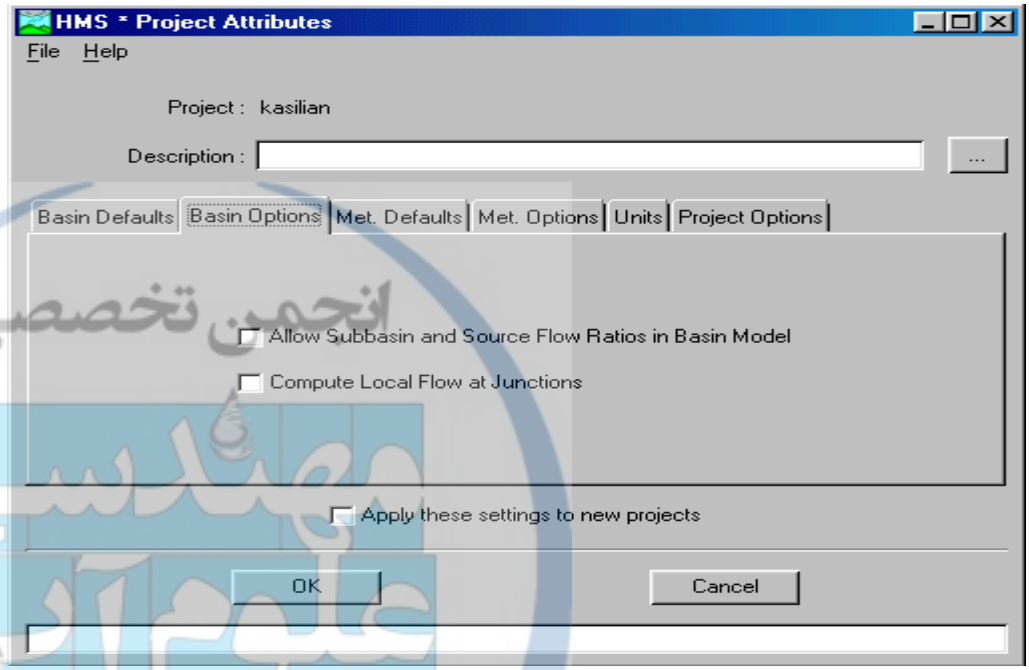
در بخش پیش فرضهای حوضه **(Basin Defaults)** روشهای محاسبات تلفات ، تبدیل بارش به رواناب ، جریان پایه و روندیابی رودخانه تعیین می شود.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

در بخش **(Basin Option)** نحوهٔ ارائهٔ اطلاعات دبی محاسباتی ، توسط نرم افزار مشخص می شود. شکل(۲-۵)

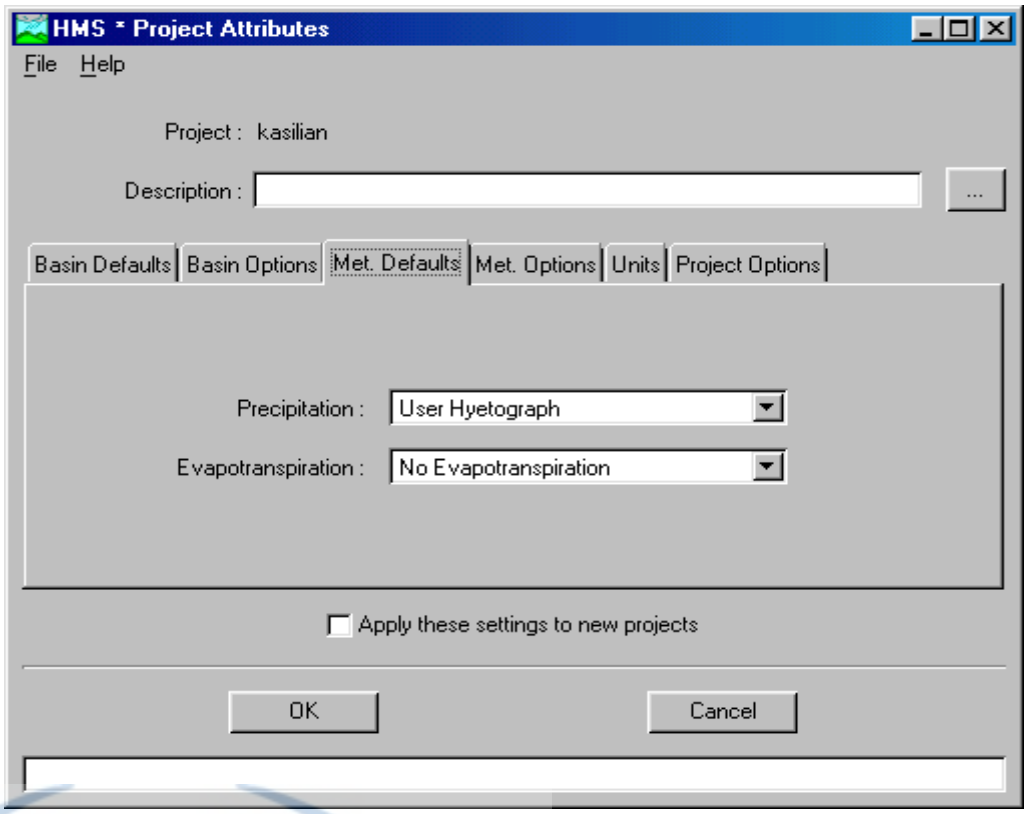


(شکل ۲-٤)



(شکل ۲-۵)

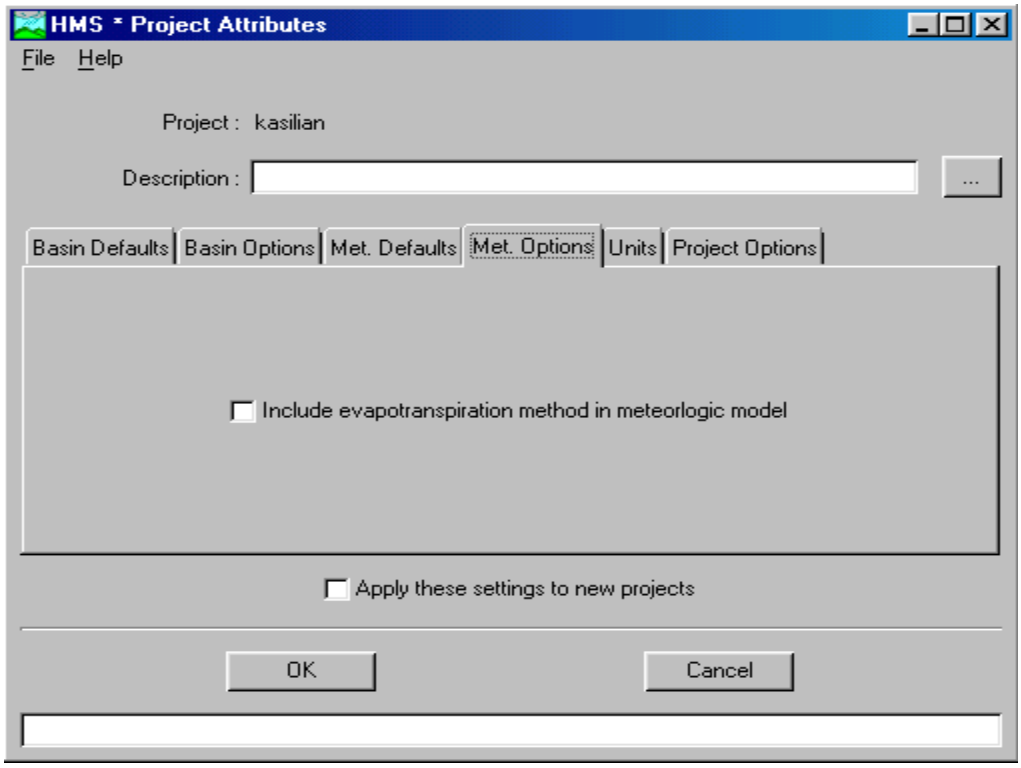
در بخش پیش فرضهای هواشناسی **(Met Defaults)** دو انتخاب **(Perecipition)** و **(Evapotranspiration)** وجود دارند که در اولی نوع اطلاعات بارش تعیین میگردد و در دومی نوع اطلاعات تبخیر و تعرق آورده می شود. (شکل ۲-٦)



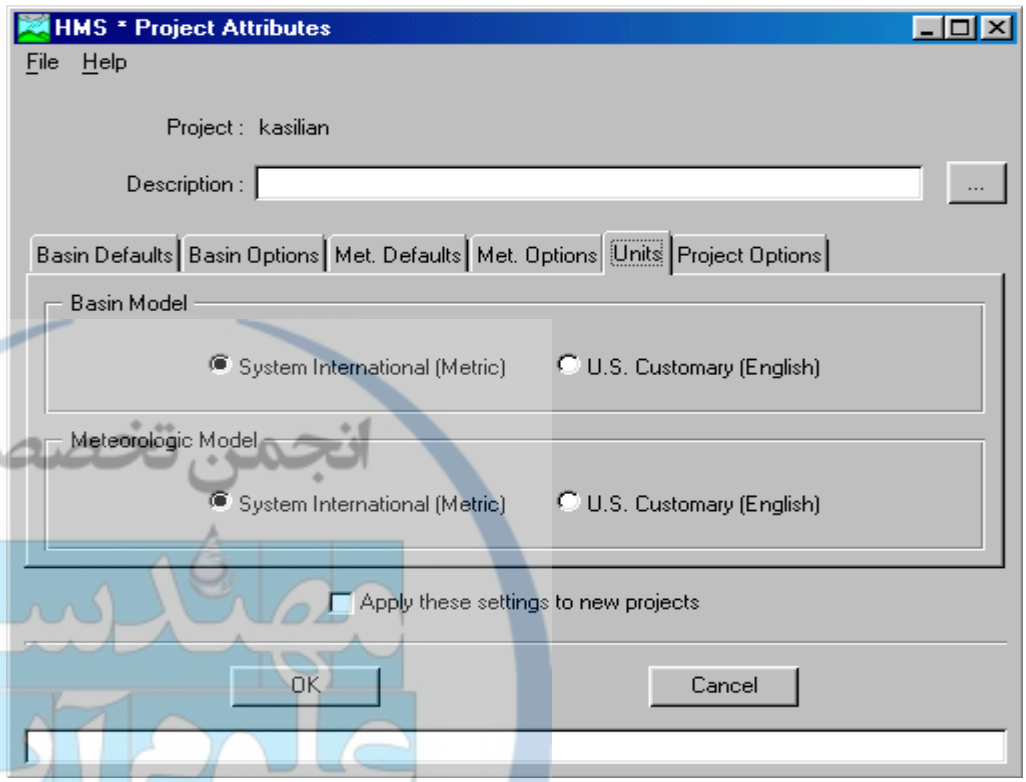
شکل (۲-٦)

بخش **(Met Option)** در صورتی انتخاب می گردد که در بخش قبل روشی را جهت محاسبه **(Evapotranspiration)** معرفی کرده باشیم. (شکل ۲-۷)

بخش واحد ها **(Units)** مشخص کنندهٔ واحدهای محاسباتی مورد نظر مدلساز است. (شکل ۲-۸)

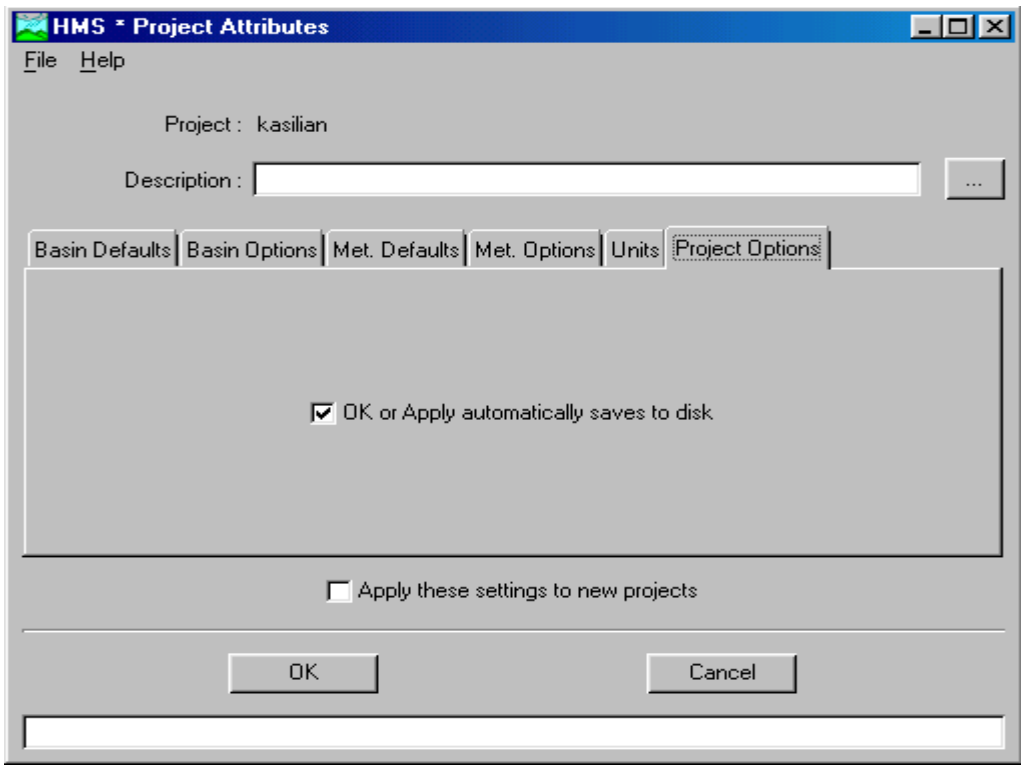

HMS * Project Attributes
File Help
Project : kasilian
Description :
...
Basin Defaults
Basin Options
Met. Defaults
Met. Options
Units
Project Options
Include evapotranspiration method in meteorlogic model
Apply these settings to new projects
OK
Cancel

شکل (۲-۷)


HMS * Project Attributes
File Help
Project : kasilian
Description :
...
Basin Defaults
Basin Options
Met. Defaults
Met. Options
Units
Project Options
Basin Model
System International (Metric)
U.S. Customary (English)
Meteorologic Model
System International (Metric)
U.S. Customary (English)
Apply these settings to new projects
OK
Cancel

شکل (۲-۸)

و نهایتاً بخش انتخابهای پروژه **(Project options)** برای اعمال انتخابهای صورت گرفته در بخشهای قبل بر پروژه تحت بررسی است. (شکل ۲-۹)



شکل (۲-۹)

3- Enter gage data

در این بخش ایستگاههای بارندگی که در مدل هواشناسی مورد نیاز هستند وسپس ایستگاههای دبی معرفی و تولید می شود. نحوهٔ کار از صفحهٔ اصلی **(Project Definition)** به صورت زیر است:

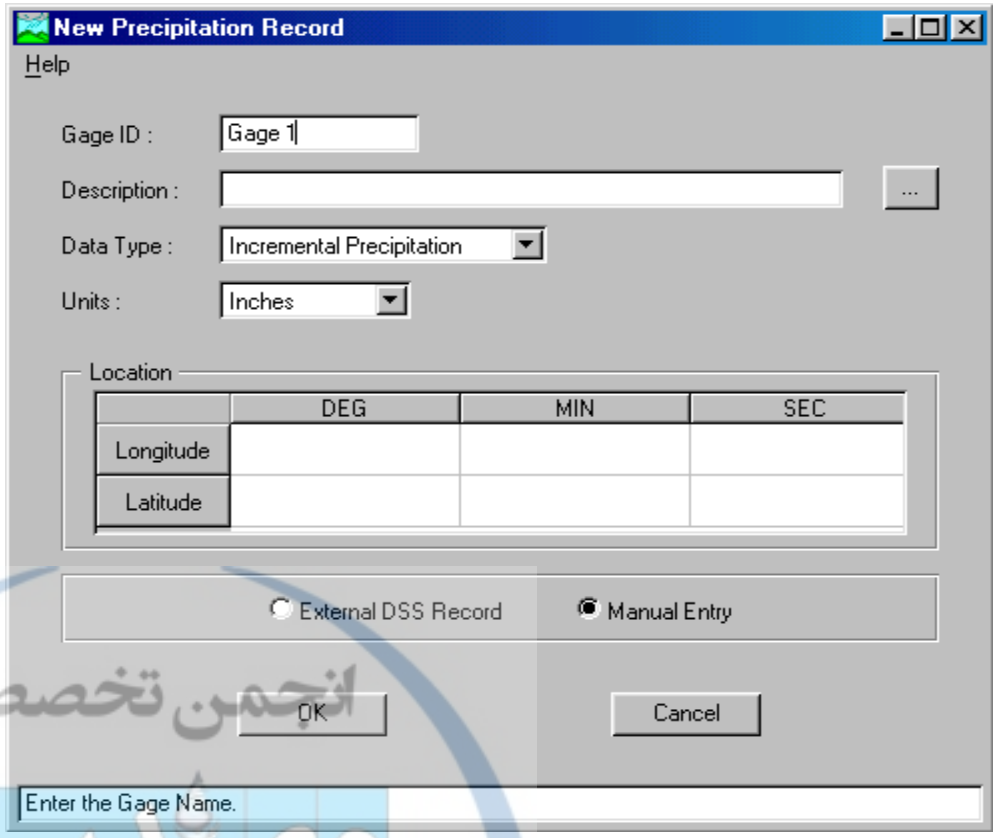
Data → Precipitation gages

Data → Discharge gages

مطابق شکل (۲-۱۰) در صفحات **Precipitation gages** و **Discharge gages**

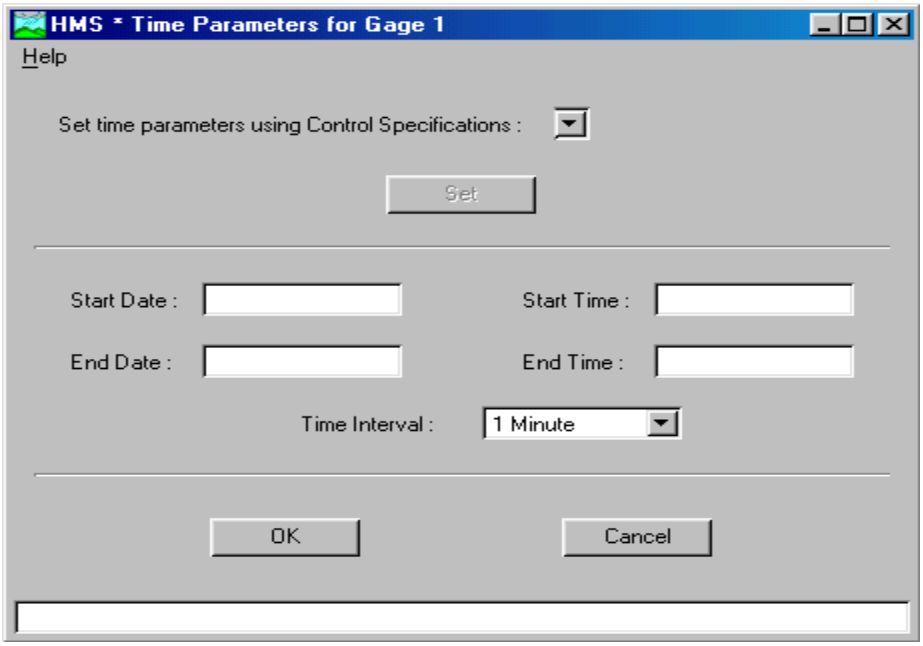
اطلاعات ایستگاههای باران سنجی و دبی سنجی مشتمل بر:اسم ایستگاه ، یک توضیح اختیاری ، واحد سنجش دبی یا بارش ، موقیت جغرافیائی ، وارد می گردد وبا انتخاب گزینه **Ok** به صفحهٔ جدیدی وارد خواهیم شد که در آن باید زمان شروع و پایان اطلاعات و بازهٔ زمانی اندازه گیری آنها وارد گردد. (شکل۲-۱۱)

نهایتاً با انتخاب گزینهٔ **Ok** وارد صفحهٔ**Data Editor** می شویم که در آن اطلاعات بارش یا دبی اندازه گیری شده وارد خواهد شد. (شکل ۲-۱۲)

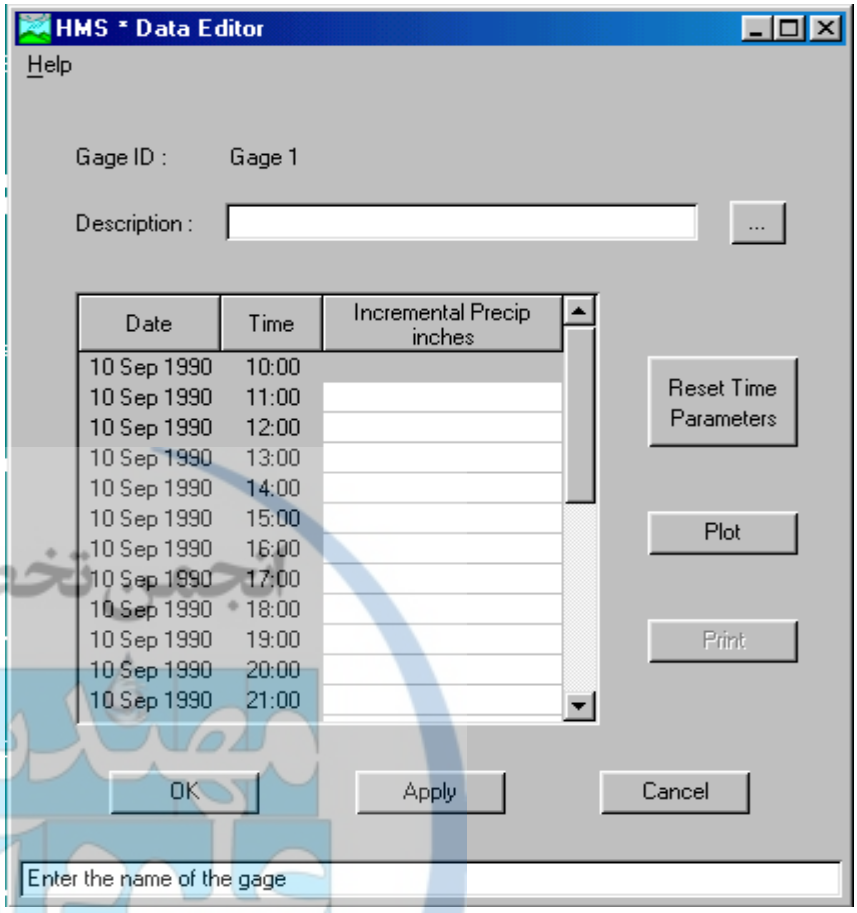


شکل (۲-۱۰)

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰



شکل (۲-۱۱)

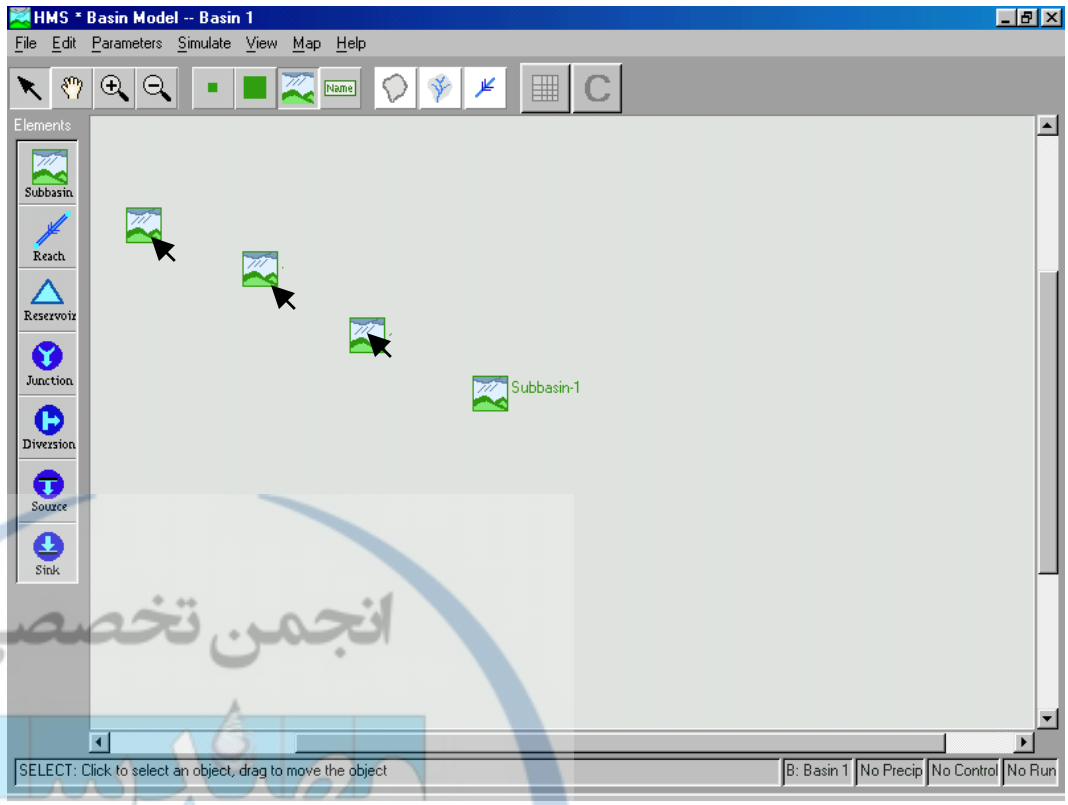


شکل (۲-۱۲)

4- Create a basin Model

در این قسمت ، مدل حوضه تعریف خواهد شد.برای مدل حوضه، باید یک نام و یک توضیح اختیاری اختصاص داد.به علاوه در صورت نیاز ، می توان پیش فرضها را به صورت دلخواه پروژه تغییر داد. (از طریق **Basin Model Attributes**)

سپس عناصر مختلف حوضه که قبلاً به آنها اشاره شده ، را به صورت شماتیک در صفحهٔ مورد نظر می آوریم. عناصر مذکور در نوار سمت چپ شکل (۲-۱۳) ذیل کلمه **Elements** نشان داده شده اند.



(شکل ۲-۱۳)

برای انتخاب هر کدام و آوردن آن به صفحهٔ اصلی روی عنصر مورد نظر کلیک کرده و بدون رها کردن دکمهٔ موس آن را به صفحهٔ اصلی منتقل می کنیم.

نحوهٔ اتصال این عناصر به یکدیگر به صورت زیراست:

روی عنصر بالا دست کلیک راست کرده و **Connect Downstearm** را انتخاب کنید. سپس نشانگر موس را روی عنصر پائین دست برده و روی آن کلیک می نمائیم. به این ترتیب دو عنصر مذکور به یکدیگر متصل می شوند.در ادامه عناصر مدل هیدرولوژیکی بیشتر تشریح شده اند.نحوهٔ رفتن به صفحهٔ شکل **Basin Model** به صورت زیر است:

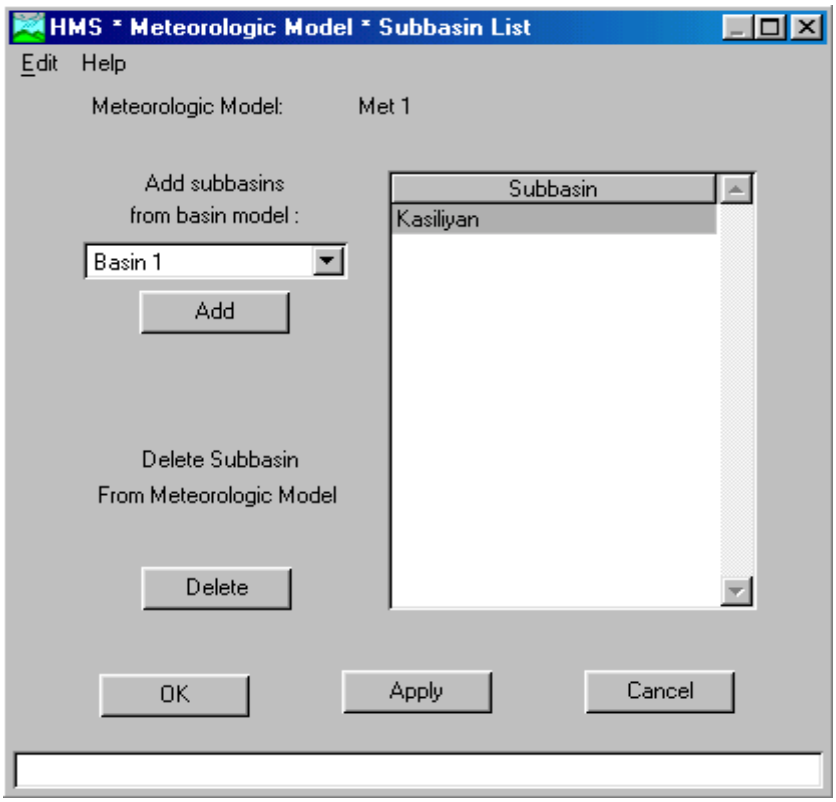
Component ⟶ **Basin Model** ⟶ **New**

پس از انتقال عناصر مورد نیاز و تشکیل شمائی از زیر حوضه ها همراه با متعلقات آنها ، با کلیک راست روی هرعنصر و انتخاب **Edit** اطلاعات عددی مورد نیاز هر عنصر به نرم افزار معرفی می گردد.

5- Create a Meteorologic Model

در این گام ، مدل هواشناسی ایجاد خواهد شد که ابتدا باید به آن یک اسم و یک توضیح اختیاری اختصاص داد.باید زیر حوضه های مورد نظر در این مرحله انتخاب کرد.این عمل از طریق انتخاب نام مدل حوضه که قبلاً تعریف شده است ، انجام می شود.(هر زمان که لیست خالی باشد ، **Subbasin List Screen** اتوماتیک باز می

شود.) شکل (۲-۱٤) و (شکل ۲-۱۵)



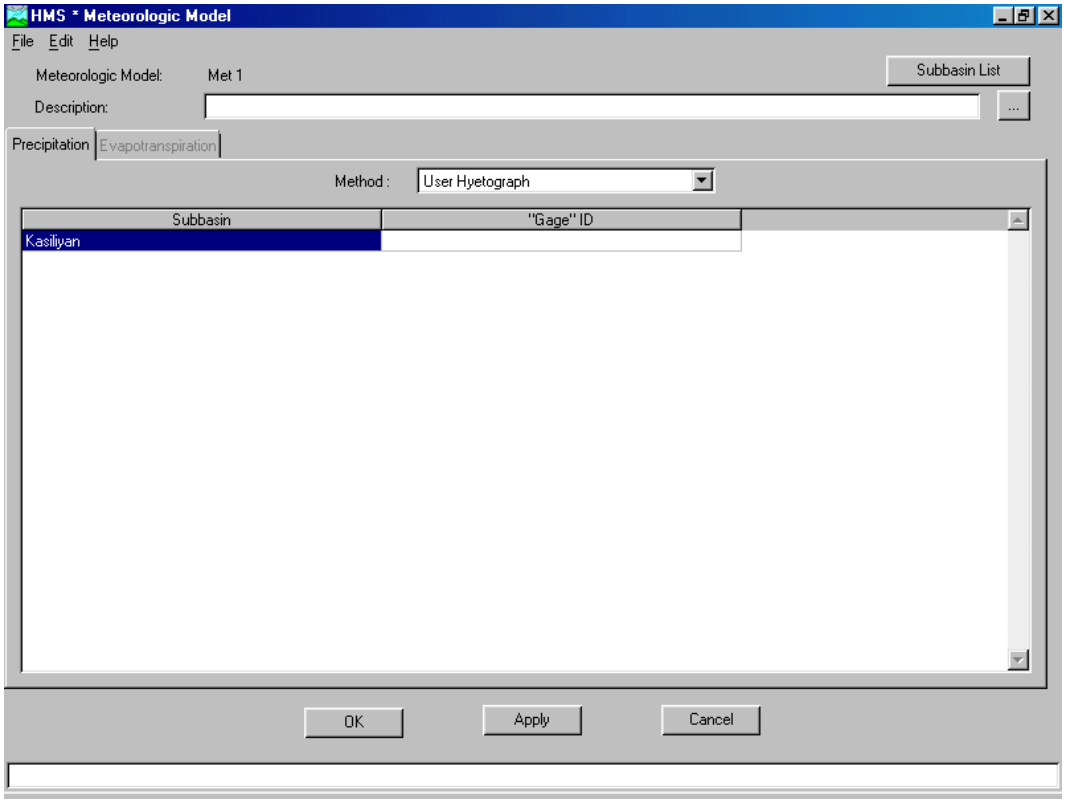
(شکل ۲-۱٤)

نحوهٔ ایجاد مدل هواشناسی به صورت زیر است:

Component → Meteorologic Model → New

به علاوه نوع اطلاعات موجود در ارتباط با بارش هر زیر حوضه در این قسمت به نرم افزار معرفی می گردد.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰



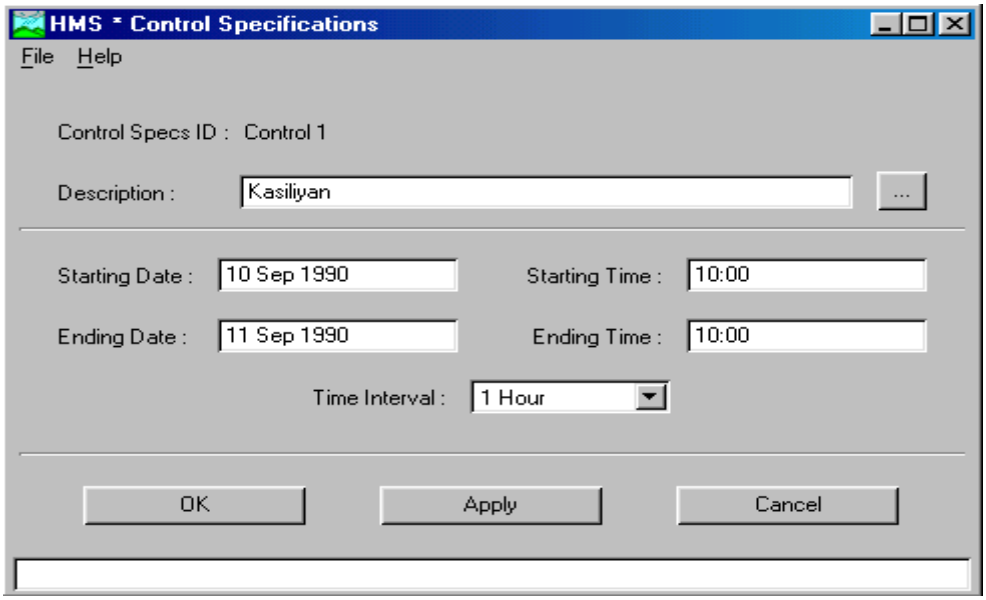
(شکل ۲-۱۵)

6- Creat Control Specifications

در این گام ، تاریخ شروع ، زمان شروع و تاریخ و زمان اتمام شبیه سازی برای پروژه معرفی می شود. به علاوه یک بازهٔ زمانی **(Time interval)** نیز باید در این جزء باید انتخاب شود.در این مرحله نیز یک اسم و توضیح اختیاری را وارد می کنیم (شکل ۲-۱۶) . نحوهٔ رفتن به صفحهٔ مذکور به صورت زیر است:

Component → Control Specification → New

انجمن تخصصی
مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

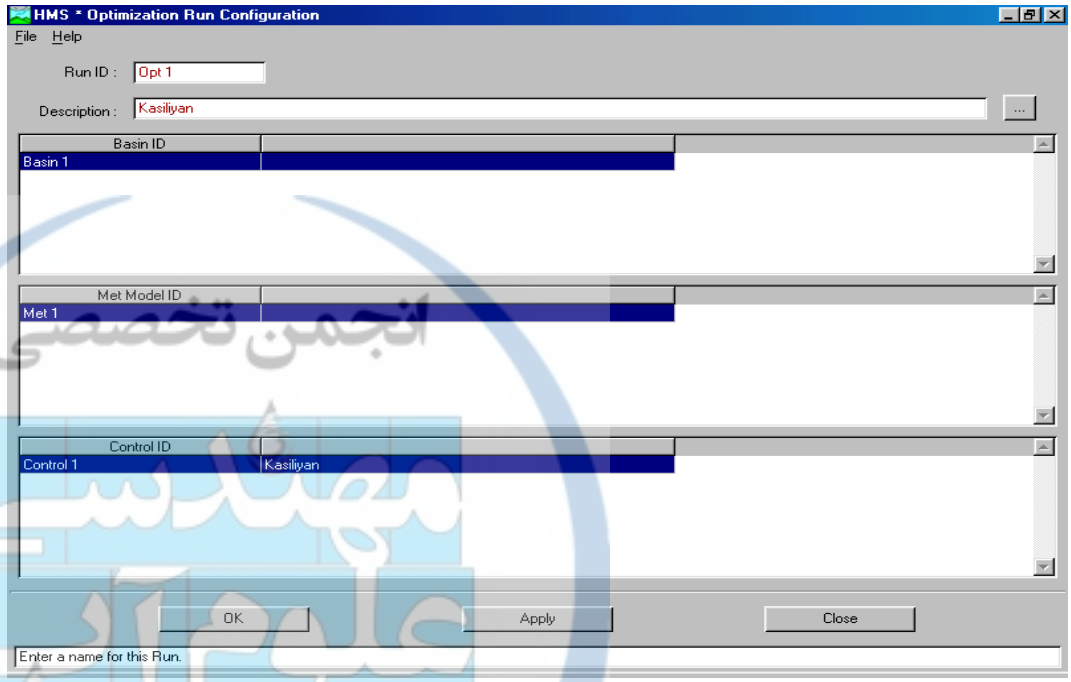


(شکل ۲-۱۶)

7- Simulate and View results

در این گام یک اجرای جدید از صفحهٔ **Project Definition** تولید می شود.

شکل (۲-۱۷)



شکل (۲-۱۷)

نحوهٔ رفتن به صفحهٔ مذکور به صورت زیر است:

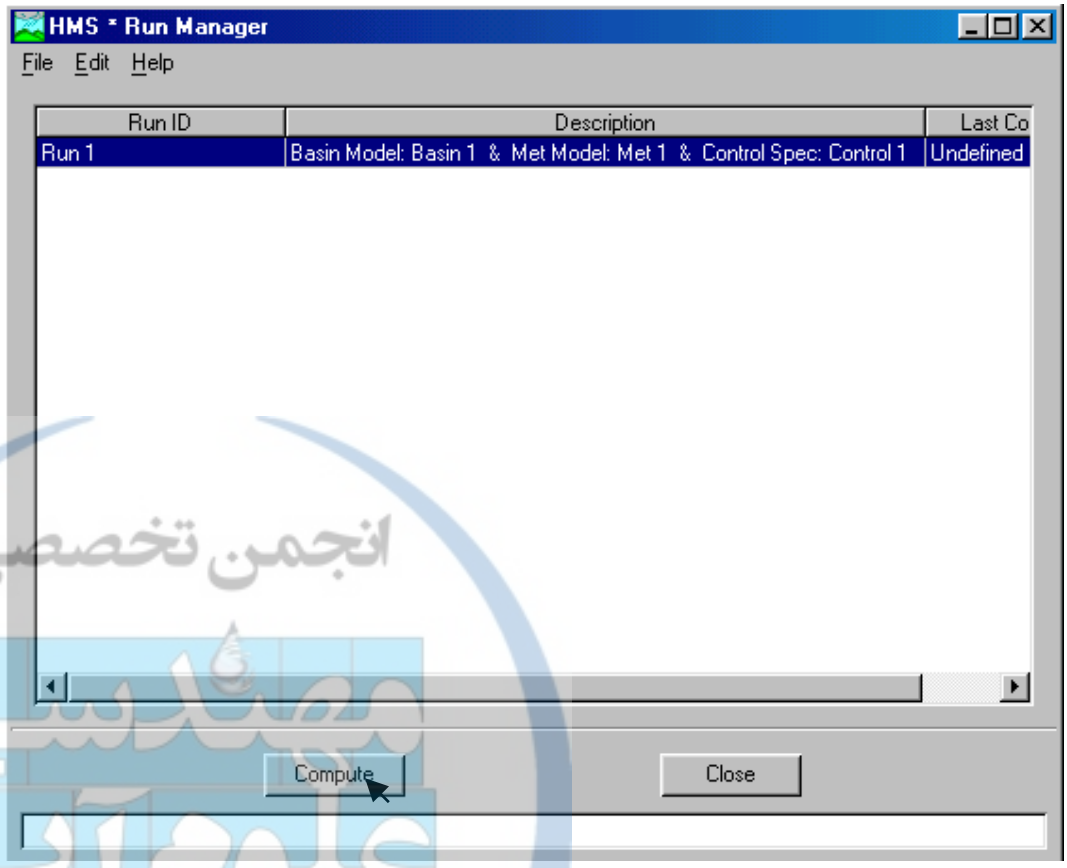
Tools ⟶ Run Configuration

در این قسمت باید یک مدل حوضه ، یک مدل هواشناسی و یک **Control Specification** انتخاب شود.به علاوه باید یک توضیح اختیاری نیز وارد شود.

(شکل ۲-۱۷) سپس در قسمت:

Tools ⟶ Run Manager

از صفحهٔ اصلی رفته و یک اجرا را انتخاب می کنیم. در این مرحله با کلیک **Compute** پروژه اجرا خواهد شد. شکل (۲-۱۸)



(شکل ۲-۱۸)

مشاهدهٔ نتایج اجرا از مؤلفهٔ **Basin Model** خواهد بود.با رفتن به صفحهٔ **Basin Model** و با کلیک سمت راست روی هر عنصر می توان نتایج مربوط به آن عنصر را از طریق **View Result** ملاحظه کرد.

8- Exiting the Program

ذخیرهٔ پروژه از طریق:

File ⟶ Save Project

از صفحهٔ اصلی و در نهایت خروج از برنامه به صورت:

File ⟶ Exit

انجام می گردد.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

فصل سوّم

تشریح و معرفی جزئیات مؤلفه مدل حوضه (Basin Model)

عناصر هیدرولوژیکی (Hydrologic Elements)

عناصر هیدرولوژیکی اساس ساختار یک مدل حوضه را تشکیل می دهند.هر عنصر بخشی از پاسخ کل حوضه آبخیز به بارندگی را نشان می دهد.این بخش شامل هفت عنصر مختلف می باشد.

Subbasin – reach – reservoir – junction - diversion – source – sink

یک عنصر از یک مدل ریاضی برای توصیف مکانیزم جریان استفاده می کند.برای اینکه این برنامه **(HMS)** برای شرایط مختلف محیطی قابل کاربرد باشد. بیشتر عناصر از بیش از یک روش یا مدل برای تخمین مکانیزم جریان بهره می برند. برای مثال :سه روش مختلف برای تعیین داده های ورودی به یک مخزن وجود دارد.

تشریح عناصر

زیرحوضه (Subbasin)

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

عنصری است که معمولاً ورودی ندارد و تنها یک خروجی دارد.خروجی با محاسبهٔ بارش مازاد و استفاده از یک روش تبدیل بارش مازاد به رواناب و نهایتاً افزودن جریان پایه محاسبه خواهد شد.**Subbasin** می تواند برای مدلسازی دامنه گسترده ای از اندازه های حوضهٔ آبریز استفاده شود.

بازهٔ رودخانه (reach)

عنصری است با یک یا بیشتر ورودی و تنها یک خروجی.ورودی ، از دیگر عناصر موجود در مدل حوضه می آید.اگر بیش از یک ورودی وجود داشته باشد ، همهٔ ورودی ها با همدیگر به **reach** افزوده می شوند ، قبل از اینکه خروجی محاسبه شود.خروجی با استفاده از یکی از چند روش موجود برای روندیابی جریان در کانالهای روباز ، محاسبه می شود.**reach** می تواند برای مدلسازی رودخانه ها و انهار استفاده شود.

این عنصر برای نشان دادن جریان آب در کانالهای باز استفاده می شود.آب به زمان معینی برای پیمودن مسیر و رسیدن به پائین **reach** احتیاج دارد.یک موج سیل **(Flood Wave)** بوسیلهٔ اصطکاک **(Friction)** وذخیرهٔ آبراهه **(Channel Storage)** در هنگام عبور از **reach** فروکش می کند.

مراحل محاسبهٔ زمان پیمایش **(Travel time)** و پائین افتادگی (فروکش دبی اوج) آب در حال جریان در **reach** ، روند یابی نامیده می شود.

خصوصیات زمان پیمایش و فروکش دبی اوج به طور گسترده ای در آبراهه های مختلف ، متفاوت است. زمان پیمایش به خصوصیاتی مثل طول ، شیب ، اصطکاک و عمق جریان وابسته است.فروکش دبی اوج به علاوه خصوصیات دیگری نظیر ذخیرهٔ آبراهه و اصطکاک نیز بستگی دارد. مدلهای مختلفی با فرضهای متفاوت و برای انواع آبراهه ها توسعه داده شده اند.**(HMS)** از ٦ روش مختلف برای روند یابی بازهٔ رودخانه استفاده می کنند.روشهای مذکور عبارتند از :

Kinematic wave – Lag – Modified Plus – Muskingum (Muskingum Cunge 8 –Point Section) and (muskingum Cunge Standard Section)

مخزن (reservoir)

عنصری است با یک یا بیشتر ورودی و یک خروجی محاسبه شده. ورودی ، از دیگر عناصر موجود در مدل حوضه می آید. اگر بیش از یک ورودی وجود داشته باشد ، همهٔ ورودی ها با هم افزوده می شوند ، قبل از اینکه خروجی محاسبه شود. این عنصر می تواند برای مدلسازی مخازن **(reservoirs)** دریاچه **(Lakes)** و حوضچه ها**(ponds)** بکار رود.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

محل اتصال آبراهه ها(Junction)

عنصری است با یک یا بیشتر ورودی تنها یک خروجی. همهٔ ورودی ها با هم افزوده می شوند تا با فرض ذخیرهٔ صفر ، خروجی را در **Junction** تولید کنند. این عنصر معمولاً برای نشان داده محل تلاقی دو رودخانه و یا نهر استفاده می شود.

محل انحراف آب(diversion)

عنصری است با دو خروجی (اصلی و فرعی) و یک یا بیشتر ورودی. ورودی ها از دیگر عناصر موجود در مدل حوضه می آیند. اگر بیش از یک ورودی وجود داشته باشد ، همهٔ ورودی ها با هم افزوده می شوند ، قبل از اینکه خروجی محاسبه شود. **diversion** می تواند برای نشان دادن سرریزهایی که جریان را به کانالهای فرعی منحرف می کنند ، استفاده شوند.

منبع (چشمه)(Source)

عنصری است بدون ورودی و یک خروجی ، یک **Source** می تواند برای نشان دادن شرایط مرزی در مدل حوضه ، شبیه اندازه گیری خروجی از مخازن یا نواحی مدلسازی نشده قسمت بالا دست رود خانه در محل سرچشمهٔ آن ، استفاده شود.

(شرایط مرزی همچنین می تواند نواحی مشارکت کنندهٔ مدلسازی نشده در یک محیط

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

حوضهٔ جداگانه را نیز نشان دهد.)

زهکش(یا چشمهٔ منفی)(Sink)

عنصری است با یک یا چندین ورودی ، امّا بدون خروجی است. ورودی ها متعدد با هم افزوده می شوند تا مقدار کل آب ورودی به عنصر مشخص شود.**Sink** ها می توانند برای نشان دادن پائین ترین نقطهٔ یک ناحیهٔ زهکش داخلی (درونی) یا خروجی یک مدل حوضه استفاده شوند.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

فصل چهارم

رویهٔ واسنجی Model Calibration

در این فصل واسنجی **(Calibration)** را با استفاده از دبی مشاهداتی توصیف می کنیم. فرآیند واسنجی عبارت است از تغییر دادن پارامتر های مدل تا آنجا که انطباق قابل قبولی بین نتایج مدل و مشاهدات اندازه گیری شده حاصل شود.

همان طور ذکر شد واسنجی روندی است ، برای تنظیم پارامترها تا اینکه نتایج مدل با داده های قدیمی سازگار شود.

معیار بهترین برازش یک تابع هدف خطی است. تابع هدف خطی مذکور **Objective Function** تفاوت بین هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی (شبیه سازی شده) را در نقاط مختلف محاسبه می کند.لذا اگر هیدوگراف ها دقیقاً بر هم منطبق باشند ، این مقدار برابر با صفر می باشد.

واسنجی اتوماتیک مدل ، یک روش جستجو **(Search Method)** می باشد ، تا با تنظیم پارامترها مقدار تابع هدف خطی را به حداقل رسانده و مقادیر پارامتر را در حالت مطلوب **(Optimal)** پیدا کند.

لذا بهینه سازی **(Optimization)** پارامترها یک روند تکراری است. در این روند

ابتدا مقادیر اولیه ای برای پارامترها فرض می شود و تابع هدف محاسبه می گردد.

سپس در تکرارهای بعدی مقادیر پارامترها در دامنه مجاز خود آنقدر توسط کاربر تغییر داده می شود تا تابع هدف به کمترین مقدار خود برسد. مقدار حداقل تابع هدف نشان دهندهٔ کوچکترین اختلاف بین هیدروگرافهای مشاهداتی و محاسباتی بوده و لذا پارامترهای نظیر ، پارامتر های بهینه شده **(Optimized Values)** می باشند.در شروع **(Optimization)** مقادیر اولیه برای همهٔ پارامترها مورد نیاز می باشد.

تابع هدف Objective Function

به منظور مقایسهٔ یک هیدروگراف محاسبه شده با هیدروگراف مشاهده شده ، مدل **HEC-HMS** یک شاخص برای سنجش خوبی برازش محاسبه می کند. الگوریتمهای که در مدل برای جستجوی بهترین مقدار شاخص مذکور موجود است بنام تابع هدف **(Objective Function)** شناخته می شود.در **HEC-HMS V.2** چهار تابع هدف مختلف تعریف شده است.

تذکر:مقدار دو تابع هدف خطی متفاوت را نمی توان با هم مقایسه کرد ، زیرا هر تابع به طور متفاوتی تعریف می شود.تابع هدف پیش فرض **Peak-Weighted Root Mean Square Error (RMS)** می باشد.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

Peak-Weighted Root Mean Square Error

این تابع وزن بیشتری به خطاهای بزرگ و وزن کمتری به خطاهای کوچک می دهد ، بعلاوه بزرگترین وزن به خطاهای نزدیک به دبی اوج داده می شود. وزن مذکور بر پایهٔ جریان متوسط بنا شده است.این ضریب وقتی که جریان از متوسط بیشتر باشد ، بزرگتری از یک و وقتی که کمتری از میانگین باشد بین (۱-۰/۵) است.

$$\mathbf{Z} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} (Qo(t) - Qs(t))^2 * \frac{Qo(t) + Qa}{Qa}}{n}} \qquad Qa = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} Qo$$

Z :مقدار تابع هدف

Qo(t): دبی مشاهداتی در زمان t

Qs(t): دبی محاسباتی در زمان t

Qa: متوسط جریان مشاهداتی

n : تعداد کل مختصات بکاربرده شده برای تعیین تابع هدف

مجموع مربعات مانده ها (Sum of Squared Resisduals)

این تابع هدف ، رایج ترین تابعی است که برای واسنجی مدل بکار می رود و به صورت زیر نشان داده می شود:

$$\mathbf{Z} = \sum_{t=1}^{n} [Qo(t) - Qs(t)]^2$$

Z: تابع هدف

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

Qo(t):دبی مشاهداتی در زمان t

Qs(t):دبی محاسباتی در زمان t

این تابع نیز وزن بیشتری را به خطاهای بزرگتر و وزن کمتری را به خطا های کوچک می دهد. این تابع ، مجموع مربعات تفاوت بین جریان مشاهداتی و محاسباتی است. دراین معیار نیز تمام مختصات در نظر گرفته می شود و مربع اختلافات را برای اندازه برازش بکار می برد. بنابر این یک اختلاف ۱۰ متر مکعب بر ثانیه ۱۰۰ برابر بیشتر از اختلاف ۱ متر مکعب بر ثانیه نمره می گیرد.

مجموع قدر مطلق مانده ها (Sum of Absoulute Residuals)

این تابع وزنی مساوی به تفاوت های بزرگ و کوچک بین هیدروگرافهای مشاهداتی و محاسباتی می دهد.این معیار عبارتست از ، مجموع قدر مطلق تفاوت های موجود بین دبی مشاهداتی و محاسباتی است. تابع اینچنین تعریف می شود:

$$\mathbf{Z} = \sum_{t=1}^{n} |Qo(t) - Qs(t)|$$

Z: تابع هدف

Qo(t): دبی مشاهداتی در زمان t

Qs(t): دبی محاسباتی در زمان t

درصد خطا در جریان پیک (Percent Error in Peak Flow)

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب ۱۳۹۰

این تابع تنها دبی پیک محاسباتی را در نظر می گیرد و حجم کل و زمان پیک را محاسبه نمی کند.این معیار برابر در صد تفاوت بین دبی پیک محاسباتی و مشاهداتی است. و اینچنین تعریف می شود:

$$\mathbf{Z} = 100\left|\frac{Qo(Peak) - Qs(Peak)}{Qo(Peak)}\right|$$

Z: تابع هدف

Qo(Peak): دبی پیک هیدروگراف مشاهداتی

Qs(Peak): دبی پیک هیدروگراف محاسباتی

این معیار یک انتخاب منطقی است اگر اطلاعات مورد نیاز برای طراحی یا برنامه ریزی محدود به جریان پیک و ارتفاع پیک باشد.

روشهای جستجو (Search Methods) درHMS

HEC-HMS دو روش برای تطبیق پارامترهای انتخاب شده به منظور کسب برازش بهینه دارد:

روش **Univariate Gradient (UG)** ابعاد یک پارامتر در طول زمان شبیه سازی تغییر می دهد در حالیکه ابعاد سایر پارامترها ثابت نگه می دارد.

روش **Nelder and Mead (N&M)** ابعاد تمام پارامترهای انتخاب شده را در هر تکرار تغییر می دهد. در نتیجه فرآیند جستجو در این روش نسبت به روش **(UG)**

طولانی تر است ، امًا ممکن است برازش بهینه بهتری را تولید کند.

روش پیش فرض ، **Univariate Gradient** می باشد. این روش بطور اتوماتیک زمانی که تنها یک پارامتر ارزیابی می شود ، استفاده می گردد.

Parameter Sensitivity

روشهای جستجو ، مقادیر پارامتر را در حالت مطلوب ، تخمین می زنند امًا اینکه پارامتر تاثیر بیشتری در حل داشته است را نشان می دهند. در پایان **Optimization** حساسیت هر پارامتر با رجوع به تابع هدف تخمین زده شده است.

مقادیر تابع هدف ، برای مقادیر ۰/۹۹۵ و ۱/۰۰۵ زمان مقدار مطلوب محاسبه شده است. با استفاده از این معادله:

$$\mathbf{S}=\frac{obj(0/995X)-obj(1/005X)}{obj(X)}$$

S: میزان حساسیت

X: مقدار نهایی پارامتر در پایان **Optimization**

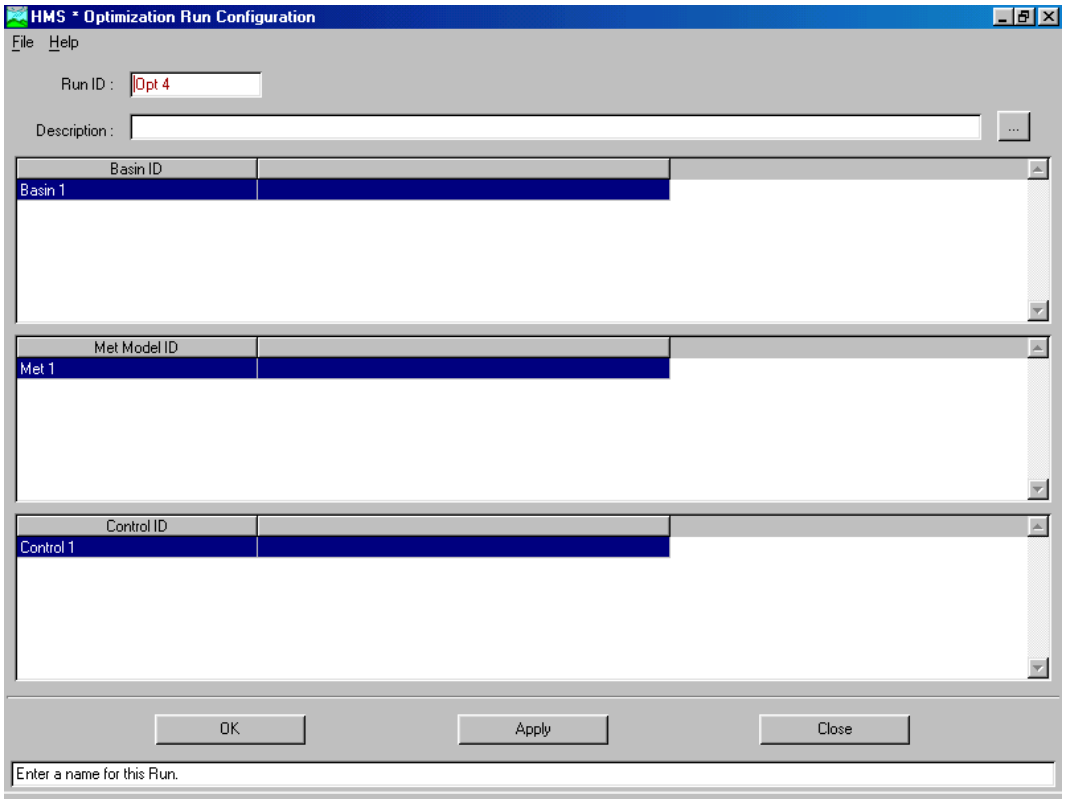
مقدار حساسیت ، درصد تغییر در مقدار تابع هدف می باشد که ازیک درصد(۰/۰۱) افزایش در مقدار پارامتر نتیجه می شود.

Createing Optimization Runs

برای اجرای رویهٔ **Optimization** از صفحهٔ **Optinization Manager** به ترتیب

زیر عمل می کنیم: (شکل ٤-١)

Simulate ⟶ Optimization Run Configuration



(شکل ٤-١)

همچنین می توان به طور اختیاری نام پیش فرض **Optimization Run** را تغییر داده و توصیفی دلخواه را وارد کنیم. سپس از هر **Component** یکی را انتخاب کرده و **Ok** یا **Apply** را کلیک می کنیم تا یک **Optimization Run** جدید ساخته شود.

تذکُر: یک **Optimization Run** جدید را می توان به روش دیگری از صفحهٔ اصلی

Project Definition نیز ساخت.

Tools ⟶ Optimization Run Configuration

روشهای مقایسهٔ ترسیمی:

علاوه بر اندازه های عددی یاد شده برای سنجش خوبی برازش **HEC-HMS** می تواند مقایسهٔ ترسیمی برای خوبی برازش مدل را نیز نشان دهد. مدل **HEC-HMS** همچنین می تواند مقادیر باقیماندهٔ یک سری زمانی از جریانات محاسبه و پیاده نماید. این پلات چگونگی خطاهای پیش بینی را ، که در طول مدت شبیه سازی توزیع می شوند ، نشان می دهد. بطور مثال اگر بزرگترین مانده ها در آغاز رویداد رواناب مشاهده شود بیانگر این نکته است که پارامتر تلفات اولیه **(Initial Loss)** ضعیف انتخاب شده است.

Scatter Graph

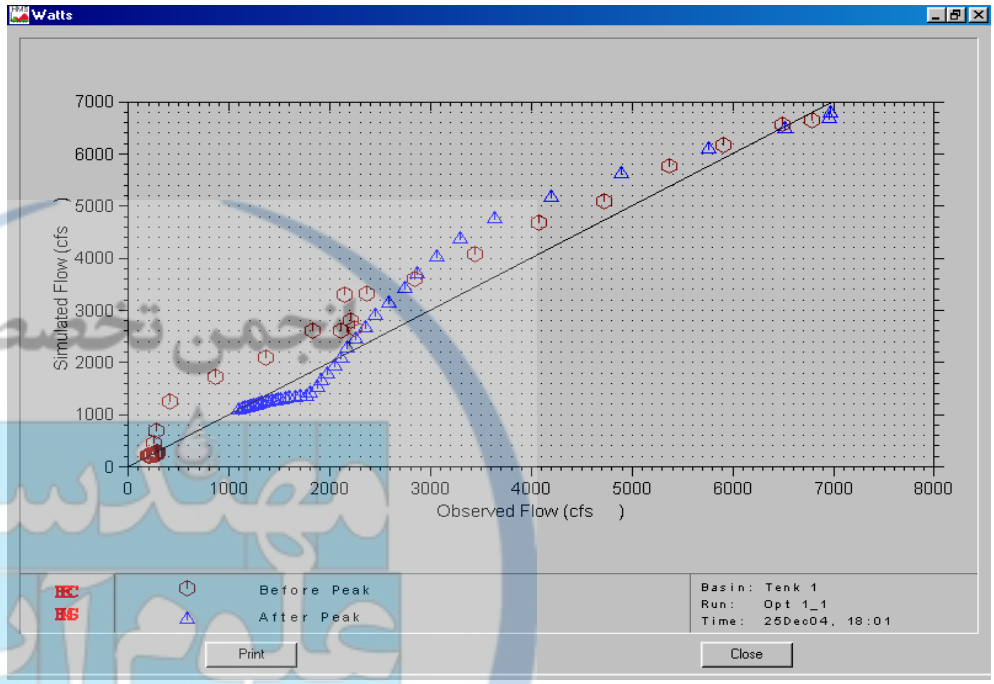
با پیاده کردن جریانات مشاهداتی و محاسباتی در روی محور طولها و عرضها می توان بر این نقاط ، یک خط مستقیم برازاند. خط مستقیم روی پلات نشان دهندهٔ کیفیت جریان محاسبه شده نسبت به مشاهده ای است. اگر نقاط پلات شده دقیقاً روی خط قرار گیرند ، یعنی مدل با پارامترهای انتخاب شده به طور دقیق مختصات مشاهداتی را پیش بینی کرده است.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰

چنانچه نقاط در زیر خط قرار گیرند ، مدل همیشه مقادیر پیش بینی را کمتر از مقدار واقعی نشان خواهد داد و بر عکس اگر نقاط در بالای خط قرار گیرند مدل همیشه مقادیر محاسبه شده را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می کند. پراکنش نقاط نیز می تواند به عنوان یک مشخصه برازش محسوب گردد . چنانچه نقاط بطور گسترده قرار گیرند یعنی مدل نمی تواند با این مشاهدات بخوبی تطابق داشته باشد. چنانچه پراکندگی نقاط کمتر باشد مدل با پارامتر های در نظر گرفته شده برازش بهتری را نشان می دهد. این گراف را با انتخاب :

View ⟶ Scatter Plot

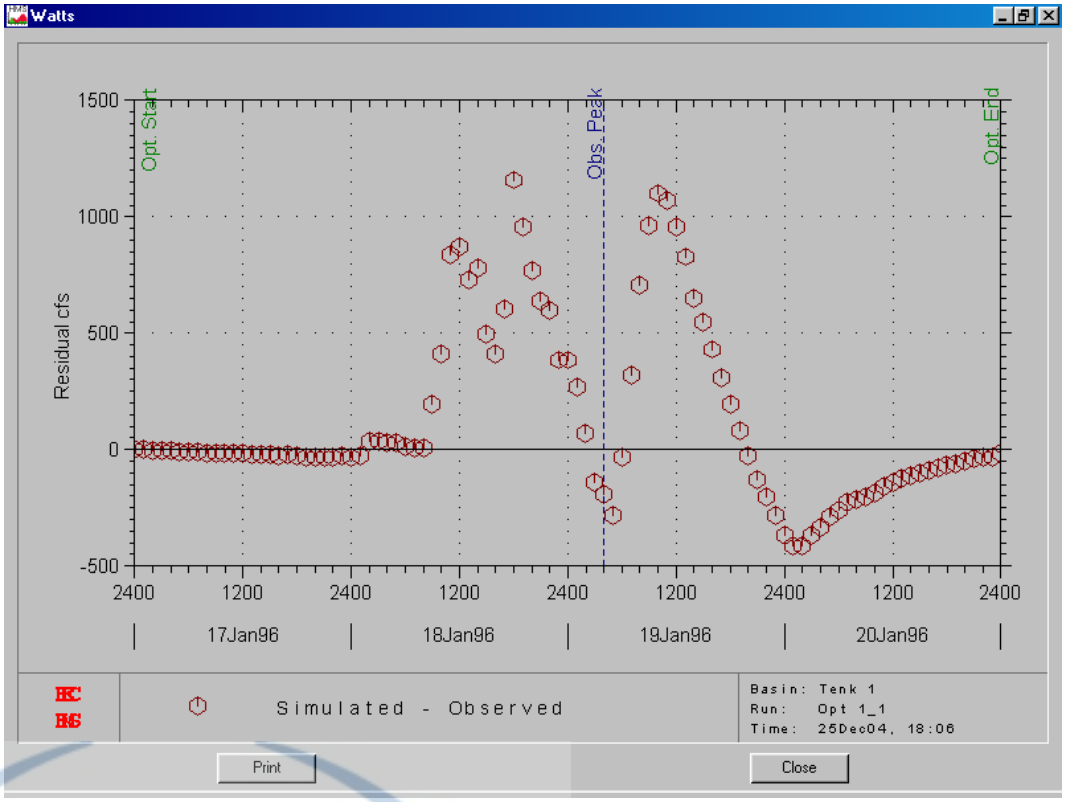
از صفحهٔ **Optimization Maneger** می توان مشاهده کرد.(شکل ٤-٢)



(شکل ۴-۲)

Residual Graph

این گراف مانده ها در هر گام زمانی نشان می دهد. مانده ها **(Residuals)** از تفاضل دبی محاسباتی و مشاهداتی به دست می آید. این گراف شامل خطوطی عمودی می باشد که زمانهای شروع و خاتمهٔ تابع را نشان می دهند. (شکل ٤-٣)



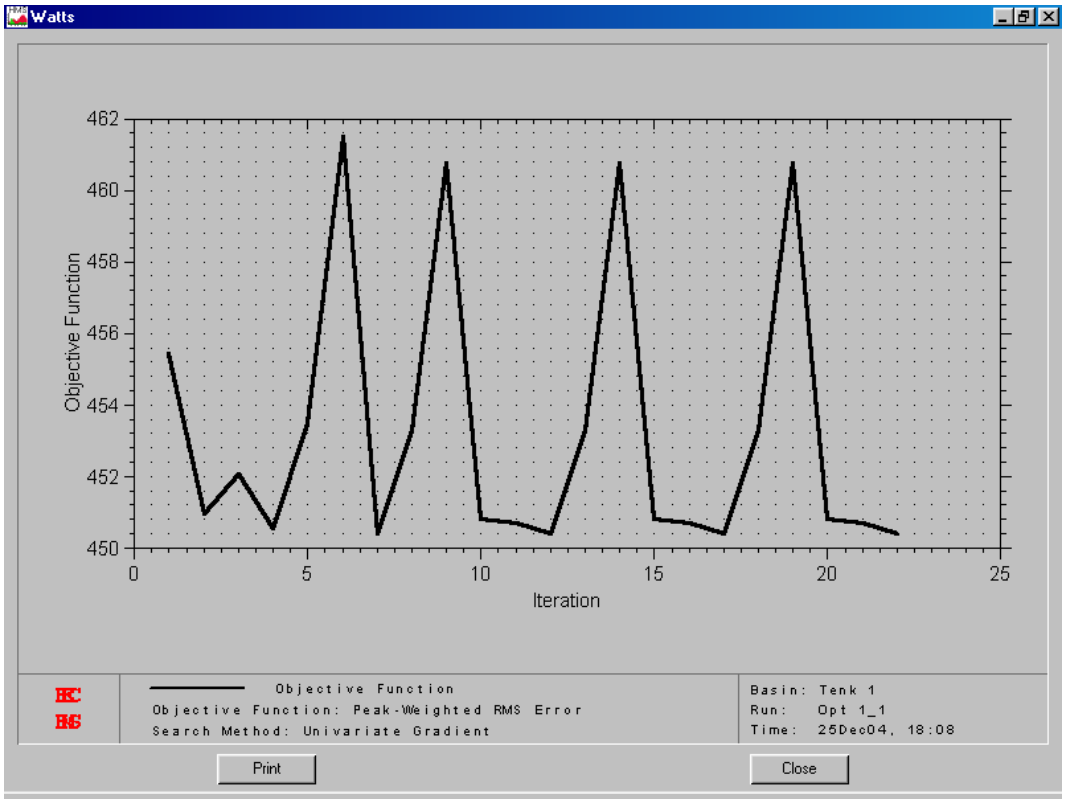
(شکل ٤-٣)

Objective Function Graph

این گراف ، مقدار تابع هدف خطی در پایان هر تکرار نشان می دهد.از این گراف برای ارزیابی تشابه و نزدیکی جواب استفاده می شود. این گراف را می توان با انتخاب :

View → Objective Function Plot

از صفحهٔ **Optimization Manager** مشاهده نمود. (شکل ٤-٤)



(شکل ٤-٤)

واسنجی و صحت سنجی مدل (Model Calibration & Verification)

از آنجا که نتایج حاصل از مدلهای در تصمیم گیریها و طراحی منابع آب و خاک و همچنین مسائل مربوط به سیل و امثال آن کاربرد فراوانی دارد. همواره درجهٔ اعتبار آنها مورد سؤال است. البته از هیچ مدل کامپیوتری نمی توان پیش بینی های کامل و دقیقی را انتظار داشت و همیشه بصورت نسبی مطرح است.

بنابر این برای رسیدن به نتایج مورد انتظار و اینکه آیا رضایت بخش است یا خیر ، روشهای توسعه و بهبود ارزیابی دقت مدل ضروری است و این مرحله از آزمون مدل ، به عنوان اعتبار یابی شناخته می شود. در این قسمت با یک سری اطلاعات جدید ، مستقل از اطلاعات استفاده شده در مرحله واسنجی ، شبیه سازی جریان انجام می شود ، به میزان نزدیکی جریان محاسباتی به جریان مشاهداتی حاکی از معتبر بودن مدل است و در غیر اینصورت صحت و اعتبار مدل زیر سؤال خواهد بود.

انجمن تخصصی مهندسی علوم آب
۱۳۹۰