دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

رساله

برای دریافت درجه دکتری در رشته مهندسی آب

**عنوان**

# کاربرد معادلات سنت - ونانت برای شبیه سازی هیدرولیکی بارش - رواناب (مطالعه موردی: حوضه کمانج علیا)

**استادان راهنما**

**دکتر احمد فاخری فرد**

**دکتر علی حسین زاده دلیر**

**استادان مشاور**

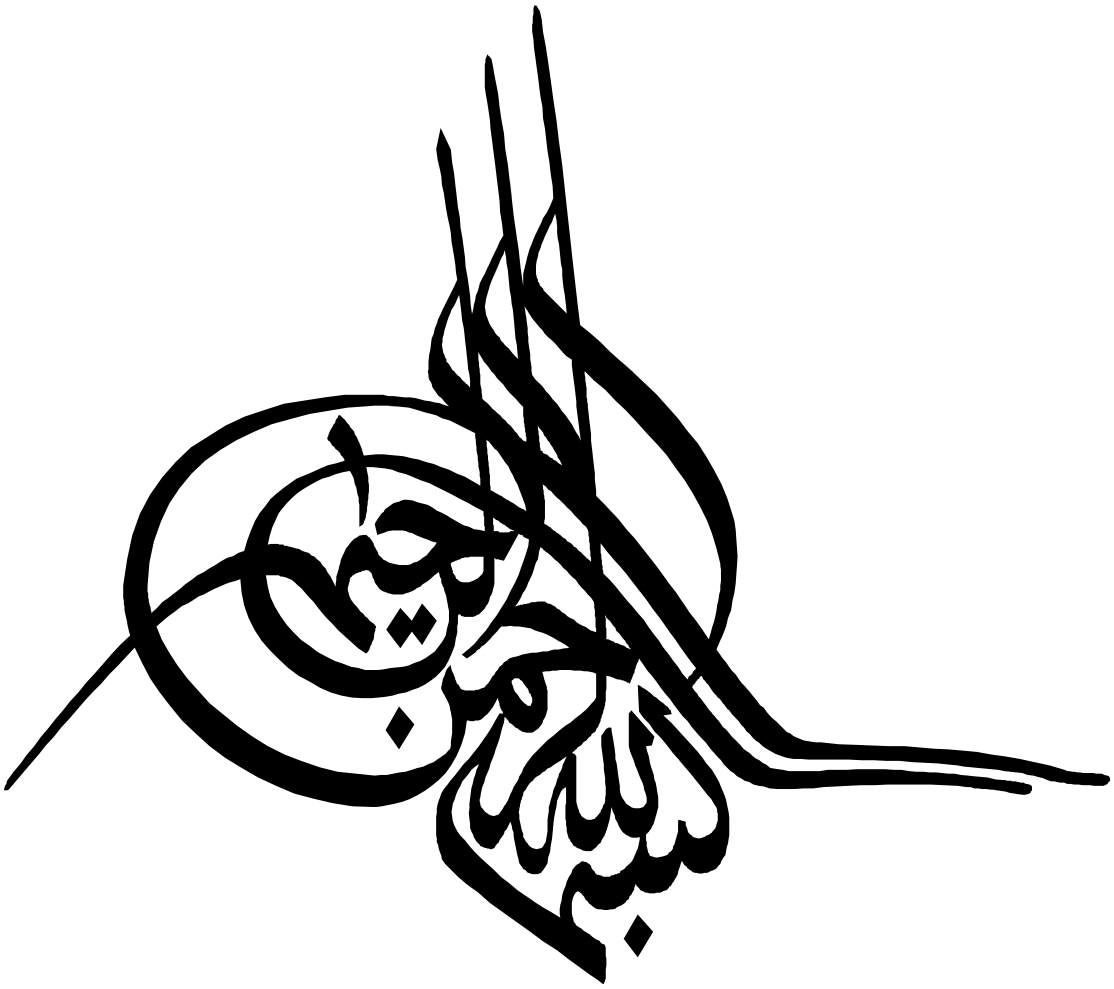
**دکتر داود فرسادی زاده**

**دکتر سید علی اشرف صدرالدینی**

**پژوهشگر**

**صابره دربندی**

مهرماه 1387 شماره 9


بسم الله الرحمن الرحيم

**تقدیم به:**

**پدر و مادر مهربانم**

**و**

**برادر عزیزم**

# تقدیم به:

دوست بزرگوارم

خانم مهندس لیلا آقایی

تا سپاسی از محبت هایش باشد.

# تقدیر و تشکر

**اگر تنهاترین تنها شوم باز هم خدا هست او جانشین تمام نداشته هاست.**

اکنون که به یاری خداوند متعال این تحقیق به پایان رسیده است بر خود لازم می دانم از اساتید محترم و تمام کسانی که در تدوین این پایان نامه بنده را یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم.

از اساتید راهنمای این پایان نامه آقایان دکتر احمد فاخری فرد و دکتر علی حسین زاده دلیر که همواره از راهنماییهای علمی شان بهره جسته ام و زحمات فراوانی در انجام این تحقیق متحمل شده اند کمال تشکر و سپاس را دارم.

از اساتید مشاور ارجمندم آقایان دکتر داود فرسادی زاده و دکتر سید علی اشرف صدرالدینی به جهت زحمات و راهنماییهای شایسته شان نهایت تشکر را دارم.

از دوست عزیزم خانم مهندس لیلا آقایی که در تمامی مراحل این تحقیق نهایت همکاری را داشته اند تشکر و قدردانی می کنم.

از دوستان عزیزم خانم ها مهندس عباسپور و مهندس نسرین صادقیان سپاسگزاری می نمایم.

از آقایان مهندس یحیی آقایی، مهندس مولوی، مهندس ارونقی، مهندس اسدی، مهندس دلیر حسن نیا ، مهندس ملک پور و مهندس مهتابی کمال تشکر را دارم.

از داوران محترم این پایان نامه آقایان دکتر امیر حسین ناظمی، دکتر مجید منتصری و دکتر محمد تقی اعلمی سپاسگزاری می نمایم.

از برادر عزیزم دکتر صمد دربندی که همواره مشوق تحصیلی ام بوده است تشکر و قدردانی می نمایم.از پدر و مادر عزیزم که وجود پرمهرشان مایه دلگرمی و تلاشم بوده است کمال تشکر را دارم.

| |
|---|
| **نام خانوادگی دانشجو**: دربندی **نام**: صابره |
| **عنوان رساله**: کاربرد معادلات سنت- ونانت برای شبیه سازی هیدرولیکی بارش- رواناب (مطالعه موردی: حوضه کمانج علیا) |
| **استادان راهنما**: دکتر احمد فاخری فرد- دکتر علی حسین زاده دلیر<br>**استادان مشاور**: دکتر داود فرسادی زاده- دکتر سید علی اشرف صدرالدینی |
| **مقطع تحصیلی**: دکتری **رشته**: مهندسی آب **گرایش**: منابع آب **دانشگاه**: تبریز<br>**دانشکده**: کشاورزی **تاریخ فارغ التحصیلی**: مهرماه 1387 **تعداد صفحه**:135 |
| **کلید واژه ها**: بارش- رواناب، سطوح ایزوکرونال، مدل پخشیدگی، معادلات سنت - ونانت |

**چکیده:**

در این تحقیق تبدیل بارش به رواناب با استفاده از حل عددی معادلات دو بعدی سنت- ونانت در حوضه کمانج علیا، یکی از زیر حوضه های رودخانه آجی چای واقع در استان آذربایجان شرقی، مورد بررسی قرار گرفت. رواناب ناشی از بارش بر مبنای مدل موج پخشیدگی با لحاظ نمودن سرعت نفوذ لحظه ای برای تحلیل زمانی و مکانی شبیه سازی گردید. پس از تعریف شرایط اولیه و مرزی، حل معادلات با استفاده از تکنیک عددی تفاضلات محدود با روش صریح به انجام رسید. ابتدا سطح حوضه مورد مطالعه در محیط GIS به سلول هایی با ابعاد 250×250 متر تقسیم بندی و سپس نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه شد. معادله نفوذ کاستیاکف بر مبنای تحلیل اطلاعات میدانی با توجه به تطابق مطلوب آن برای بیان مؤلفه نفوذ در معادلات سنت - ونانت انتخاب گردید. قابلیت مدل در شبیه سازی جریان حاصل از بارش به دلیل تطابق مطلوب هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده مورد تأیید قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می دهد که مدل تهیه شده می تواند برای تعیین رواناب به ازای بارش‌های لحظه‌ای و با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی نفوذ در حوضه‌ها به کار رود. با استفاده از این مدل می توان دبی پیک و زمان پیک را در خروجی حوضه پیش بینی نمود.

به ازاء رویدادهای مختلف بارش زمان تعادل برای کلیه سلول های حوضه به طور جداگانه محاسبه شده و نقشه ایزوکرونال برای هر رویداد ترسیم گردید. رابطه زمان تمرکز با شدت بارش همچنین سطح زهکشی با شدت بارش بسط داده شده است. زمان تمرکز نسبت به شدت های مختلف بارش

در حوضه مورد مطالعه محاسبه گردید. با تغییر اندازه سلول ها از 250×250 به 300 ×300 و 350 ×350 متر به علت حذف عوامل توپوگرافیکی و تغییر پارامترهای هیدرولیکی زمان تعادل افزایش نشان داد.

اثر تغییر ضریب زبری مانینگ بر روی تمام رویدادها (واسنجی و صحت سنجی) به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می دهد که تغییرات پارامترهای جریان در محدوده 10%+ و 10%- می باشد و حساسیت پارامترهای جریان به تغییر ضریب زبری مانینگ رابطه مستقیم با شدت رگبار دارد.

## فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه.....1

## فصل اول

1- بررسی منابع

1-1- مروری بر تحقیقات انجام یافته.....2

1-2- مدل های ریاضی- عددی در هیدرولوژی.....10

1-2-1- مدل های گرده ای در مقابل مدل های توزیعی.....12

1-2-2- مدل های تک واقعه ای در مقابل مدل های پیوسته.....15

1-2-3- شرایط عمومی مدل تک واقعه ای.....16

1-3- مدل هیدرولوژیکی.....17

1-3-1- مدل های بارش- رواناب.....18

1-3-1-1- مدل HEC-1.....18

1-3-1-2- مدل HEC-HMS.....19

1-3-1-3- مدل TR- 55.....19

1-3-1-4- مدل MILHY.....20

1-3-1-5- مدل SWAT.....21

1-4- مدل‌های نفوذ آب در خاک.....21
1-4-1- مدل شاخص φ.....21
1-4-2- مدل کاستیاکف.....22
1-4-3- مدل کاستیاکف تعدیل شده.....22
1-4-4- مدل هورتون.....23
1-4-5- مدل گرین- امپت.....23
1-4-6- مدل فیلیپ.....24
1-4-7- مدل مورل- سیتوکس.....25
1-4-8- مدل سرویس حفاظت خاک (SCS).....27
1-4- 9- مدل هولتان.....28
1-5- عوامل موثر در مقدار نفوذ.....29
1-6- تلفیق GIS با مدل های ریاضی.....30
1-7- کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) در مدل سازی بارش- رواناب.....31
1-7-1- شبکه جهت جریان.....32
1-7-2- شبکه انباشت جریان.....33
1-7-3- شبکه آبراهه ها.....33
1-7-4- محدوده حوضه و آبراهه ها.....34
1-8- بررسی قابلیت GIS در روندیابی جریان.....34
1-8-1- الگوریتم D8.....35

1-8-2- الگوریتم Rho8.....36
1-8-3- الگوریتم لی.....37
1-8-4- الگوریتم دمون.....38
1-8-5- الگوریتم D∞.....39
1-9- زمان پیمایش.....39
1-9-1- روش سرعت های مساوی.....41
1-9-2- روش های مبتنی بر کاربرد GIS.....42
1-9-2-1- روش میدمنت.....42
1-9-2-2- روش جامع ثقفیان و جولیان.....43
1-9-3- روش های تجربی.....44
1-9-3-1- معادله ایزارد.....44
1-9-3-2- معادله کرپیچ.....45
1-9-3-3- معادله کربای.....45
1-9-3-4- روش SCS.....46
1-9-3-5- معادله برانس بای- ویلیامز.....47
1-9-3- 6- معادله موج سینماتیک.....47
1-10- نمودار زمان- مساحت.....47
1-11- هیدرولیک جریان آب های کم عمق.....48
1-12- مدل روندیابی هیدرولیکی سنت- ونانت.....50

1-12-1- مدل سینماتیک.....51

1-12-2- مدل دینامیک.....53

1-13- واسنجی و صحت سنجی مدل.....54

## فصل دوم

2- مواد و روش ها

2-1- اطلاعات کلی حوضه مورد مطالعه.....58

2-1-1- موقعیت جغرافیایی حوضه.....58

2-1-2- مشخصات فیزیوگرافی.....58

2-1-3- مشخصات و موقعیت تجهیزات هیدروکلیماتولوژی.....61

2-1-4- اطلاعات بارندگی حوضه.....63

2-2- استخراج اطلاعات از داده های ماهواره ای .....65

2-2-1- نقشه DEM حوضه در روندیابی جریان.....66

2-2-2- شبکه بندی نقشه DEM.....67

2-2-3- شیب سلول شبکه.....70

2-3- اطلاعات ورودی.....72

2-3-1- معرفی لایه مرز حوضه.....72

2-3-2- شدت بارش خالص و محاسبه نفوذ.....72

2-3-3- تعیین ضرایب مدل های نفوذ.....73

2-4- تعیین بافت و رطوبت اولیه خاک منطقه مورد مطالعه.....75

2-5- اجزای روندیابی جریان.....77

2-5-1- بارش.....77

2-5-2- گیرش.....78

2-5-3- جریان پایه و ذخیره سطحی.....79

2-5-4- ضریب زبری مانینگ (n).....79

2-6- مدل روندیابی هیدرولیکی.....79

2-6-1- معادلات سنت – ونانت.....79

2-6-2- حل معادلات سنت ـ ونانت به روش تفاضلات محدود صریح.....83

2-6-3- گام های زمانی شبیه سازی.....86

2-6-4- عدد کورنت (Courant).....86

2-6-5- نفوذ.....87

2-7- ارزیابی مدل.....88

2-7-1- معیار مقایسه.....88

2-8- واسنجی و صحت سنجی مدل.....89

2-9- آنالیز حساسیت.....90

2-10- زمان تعادل.....90

## فصل سوم

3- نتایج و بحث

3-1- پارامترهای معادله نفوذ و نحوه اعمال اثر تغییرات مکانی.....95

3-2- تعیین گام زمانی بهینه.....97

3-3- واسنجی مدل و تعیین ضریب n.....100

3-4- تعیین دقت و قابلیت مدل.....107

3-5- آنالیز حساسیت مدل نسبت به ضریب n.....109

3-6- تعیین خطوط ایزوکرونال و نحوه تغییرپذیری آن در شدت های متفاوت بارش.....111

3-7- بررسی تغییرات زمان تمرکز حوضه مورد مطالعه نسبت به شدت های مختلف بارش.115

3-8- محاسبه زمان تمرکز با استفاده از معادلات مختلف.....118

3-9- بررسی اثر اندازه سلول ها بر روی زمان تعادل حوضه.....119

3-10- عوامل موثر بر دقت نتایج مدل سازی.....123

نتیجه گیری.....125

پیشنهادات.....127

منابع مورد استفاده.....129

ضمیمه

# فهرست جدول ها

عنوان صفحه

جدول 1-1 پارامترهای $\alpha$ و $\beta$ برای چهار نوع جریان سطحی.....53

جدول 2-1- برخی مشخصات فیزیوگرافی حوضه مورد مطالعه.....60

جدول 2-2 طبقات هیپسومتری حوضه کمانج علیا.....61

جدول 2-3 مشخصات جغرافیایی و متوسط بارندگی سالانه ایستگاه های مجاور حوضه.....62

جدول 2-4 مشخصات بارندگی ایستگاه های مجاور حوضه.....63

جدول 2-5 نتایج آزمایش هیدرومتری نمونه های مورد آزمایش.....76

جدول 2-6 مقادیر رطوبت اندازه گیری شده در نقاط مختلف حوضه کمانج علیا در اردیبهشت ماه سال 1386.....77

جدول 2-7 مقادیر n برای جریان سطحی.....80

جدول 3- 1 میانگین ضریب تبیین ($R^2$) و واریانس ($S^2$) برای مدل های مختلف نفوذ.....95

جدول 3-2- میانگین خطای نسبی مدل بین مقادیر دبی حاصل از مدل و مقادیر مشاهداتی.....107

جدول 3-3 مقادیر مساحت محصور بین خطوط ایزوکرونال در زمان های مختلف بازای شدت های مختلف بارش.....113

جدول 3-4 مقادیر محاسبه شده زمان تمرکز حوضه مورد مطالعه با استفاده از معادلات مختلف.....119

# فهرست شکل ها

عنوان صفحه


شکل 2-1 موقعیت حوضه کمانج علیا در استان آذربایجان شرقی.....59

شکل2-2 موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مجاور حوضه کمانج علیا.....64

شکل 2-3 هیتوگراف های منتخب حوضه کمانج علیا.....65

شکل2-4 مدل ارتفاعی رقومی(DEM) حوضه مورد مطالعه.....68

شکل2-5 نقشه شبکه بندی شده حوضه مورد مطالعه.....69

شکل2-6 نقشه شیب بندی حوضه مورد مطالعه.....71

شکل2-7 طرح شماتیک روندیابی دو بعدی جریان سطحی.....83

شکل2-8 شبکه دو بعدی تفاضلات محدود.....84

شکل2-9 فلوچارت مراحل مختلف تحقیق .....93

شکل2-10فلوچارت روندیابی جریان.....94

شکل3-1 منحنی های سرعت نفوذ آب در خاک منطقه مورد مطالعه.....96

شکل3-2- خطوط هم پارامتر a بر مبنای معادله کاستیاکف در نقاط مختلف آزمایش نفوذ.....98

شکل3-3 خطوط هم پارامتر b بر مبنای معادله کاستیاکف در نقاط مختلف آزمایش نفوذ.....99

شکل 3-4 هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده حوضه مورد مطالعه.....101

شکل3-5 نمودار همبستگی دبی های مشاهداتی و شبیه سازی شده.....104

شکل3-6 هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده  بازای تغییرات ضریب زبری مانینگ...110

شکل3-7 حساسیت مدل به تغییرات پارامتر واسنجی شده تا %10+ و %10-.....110

شکل 3-8 سطوح ایزوکرونال حوضه مورد مطالعه به ازای شدت بارش 7 میلی متر در ساعت.....112

شکل3-9 نمودار تغییرات مساحت تجمعی زهکشی حوضه مورد مطالعه نسبت به زمان تعادل.....114

شکل 3-10 نمودار تغییرات زمان تمرکز حوضه مورد مطالعه نسبت به شدت های مختلف بارش.....116

شکل3-11 نمودار تغییرات نسبت مساحت تجمعی زهکشی نسبت به زمان تعادل به ازای اندازه های مختلف سلول.....120

**مقدمه**

تحلیل رواناب در حوضه ها نیاز به مشخصات فیزیوگرافی و هیدرولیکی متعددی دارد که به دلیل عدم شناسایی چگونگی تاثیر آنها در فرآیند بارش- رواناب معمولا مدل‌های متداول در هیدرولوژی جواب مناسبی ارائه نمی دهند. برخی از روش‌های تحلیل بارش - رواناب حوضه را به صورت شبکه در نظر می گیرند که در این صورت مشخصات فیزیوگرافی هر شبکه به صورت دقیق‌تری شناسایی شده و به مدل وارد می‌شود ولی در غالب روش‌های متداول از شبکه بندی استفاده نمی‌شود و لذا تحلیل جامعی ارائه نمی‌دهند. تلفات نفوذ که عامل بسیار مهمی در تحلیل بارش - رواناب می باشد معمولا در این روش ها در نظر گرفته نشده است. در برخی از روش ها تنها به شاخص $\varphi$ اکتفا شده است که به دلیل یکسان گرفتن تلفات نفوذ برای کل حوضه خطای قابل ملاحظه‌ای ایجاد می کند. در این تحقیق با استفاده از روش شبکه بندی تغییرات مکانی مشخصه های خاک و فیزیوگرافی حوضه به صورت مستقل در هر سلول وارد می‌گردد. بعلاوه مشخصه‌های نفوذ به عنوان متغیرهای زمانی در هر سلول تعریف می‌شود. تحلیل رواناب با حل عددی معادلات دیفرانسیلی جریان سطحی در حوضه (معادلات دو بعدی سنت – ونانت) بر اساس تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای مؤثر در تبدیل بارش به جریان، انجام می‌پذیرد.

# فصل اول

## 1- بررسی منابع

### 1-1- مروری بر تحقیقات انجام یافته

تاکنون در ایران تحقیقات زیادی در زمینه بارش- رواناب انجام شده است. جهان تیغ (1378) مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS [1] را به عنوان مدل هیدرولوژیکی مناسب برای حوضه کرسیوند در استان فارس ارائه داد و به این نتیجه رسید که مدل های مبتنی بر اصول و روش های هیدرولوژیکی نسبت به مدل های مبتنی بر اصول هیدرولیکی، در زمینه پیش بینی رواناب دارای قابلیت های بیشتری می باشند.

شقایی (1380) مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را برای شبیه سازی دبی پیک در شاخه های فرعی حوضه آبریز محمد آباد استان گلستان به کار برد. در این تحقیق وی با استفاده از اطلاعات بارندگی، مقادیر رواناب حاصله را برآورد نموده و آن را با مقدار مشاهدات مقایسه کرد.

بنی هاشمی (1383) با استفاده از داده های ماهواره ای و مدل HEC-HMS رواناب حوضه آبریز نکارود (زیر حوضه لکشا) را شبیه سازی نمود. نتایج حاصله نشان می دهد که ترکیب این مدل و تصاویر ماهواره ای قادر به تعیین صحیح هیدروگراف خروجی می باشد.

محمدی (1381) با استفاده از سیستم مدل هیدرولوژیکی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی [2] (GIS) به منظور پیش بینی زمان وقوع سیل در حوضه آبریز کسیلیان (استان مازندران) به این نتیجه رسید که سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت تولید ورودی های مدل بارش- رواناب را دارد. بنابراین

1. Hydraulic Engineering Center of Hydrologic Modelling System
2. Geographic Information System