دانشگاه شهید چمران اهواز
دانشکده مهندسی علوم آب
گروه آبیاری و زهکشی

پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی

عنوان

مقایسه روش‌های تخمینی تابع هدایت هیدرولیکی غیراشباع با روش صحرایی بر مبنای تابع نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذسنج دیسک

نگارش
ساره تنگسیر

استاد راهنما
دکتر حیدرعلی کشکولی

استاد مشاور
دکتر هادی معاضد

آذرماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

خداوند متعال را سپاس می گویم که به من شایستگی قدم نهادن در راه علم و چشیدن شیرینی طعم حقایق را عطا فرمود. به ثمر رسیدن این پایان نامه مرهون کمک و همیاری دوستان و عزیزانی است که لازم می دانم در این جا از آنها تقدیر و تشکر نمایم.

از **پدر و مادر عزیزم**، **خواهر و برادر مهربانم**، بی نظیرترین گوهرهای زندگی ام که وجودشان برایم همه مهر بوده است، صمیمانه سپاسگزاری می نمایم.

از استاد راهنمای گرانقدر و اندیشمند بزرگوار، جناب آقای دکتر حیدر علی کشکولی، که همواره پرتو رهنمودهای ارزشمندشان روشنگر مسیر این تحقیق بوده است، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از استاد مشاور محترم، جناب آقای دکتر هادی معاضد، که در طول انجام این تحقیق از تجارب علمی ارزشمندشان بهره مند شدم سپاسگزارم.

از **سرکار خانم دکتر زهرا ایزدپناه** و **جناب آقای دکتر عبدالرحیم هوشمند** که زحمت داوری پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مراتب تقدیر و تشکر خود را به سایر اساتیدی که در طول دوران تحصیل خود، افتخار علم آموزی از ایشان را داشته ام، ابراز می دارم.

از **جناب آقای دکتر امیر محمدی سلطانی** و **جواد احدیان**، **سرکار خانم مهندس پریسا غفاری** به دلیل کمک های بی دریغشان کمال تشکر را دارم.

از کارشناس آزمایشگاه تحقیقات خاک و آب، **سرکار خانم مهندس نراز** و کارشناس آزمایشگاه کیفیت آب، **سرکار خانم مهندس افتخار** کمال تشکر را دارم.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم و خواهر و برادر مهربانم

به پاس محبت‌های بی دریغشان

نام خانوادگی: تنگسیر	**نام:** ساره
عنوان پایان نامه: مقایسه روش‌های تخمینی تابع هدایت هیدرولیکی غیراشباع با روش صحرایی بر مبنای تابع نفوذ با استفاده از دستگاه نفوذسنج دیسک	
استاد راهنما: دکتر حیدر علی کشکولی	**استاد مشاور:** دکتر هادی معاضد
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** آبیا ری و زهکشی
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران	
تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۹/۹/۲۲	**تعداد صفحه:** ۱۹۹
کلید واژه: نفوذسنج دیسک، روش‌های تحلیل، توابع انتقالی، مدل RETC، هدایت هیدرولیکی غیراشباع	

چکیده:

خصوصیات هیدرولیکی خاک سطحی در شناخت و توصیف بسیاری از فرآیندهای موجود در چرخه هیدرولوژی از جمله نفوذ باران، رواناب، انتقال املاح و آلودگی‌ها ضروری می‌باشند. هم چنین تعریف منحنی‌های مشخصه هیدرولیکی خاک در بسیاری از مدل‌های توسعه یافته اخیر از جمله مدل‌های شبیه‌سازی روابط آب-خاک، مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری و طراحی سیستم‌های آبیاری و زهکشی...الزامی است. به تازگی دستگاه نفوذسنج دیسک توسط محققین زیادی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع و نزدیک اشباع خاک‌های سطحی و زیرسطحی در شرایط صحرایی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق دو روش تخمین توابع انتقالی که از خصوصیات فیزیکی زودیافت خاک و مدل RETC که از زوج داده‌های آزمایشگاهی مکش و رطوبت جهت تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع استفاده می‌نمایند با روش صحرایی نفوذسنج دیسک مقایسه شدند. آزمایشات صحرایی توسط یک دستگاه نفوذسنج دیسک مدل 2805D20k1 به شعاع ۱۰ سانتی‌متر در سه مزرعه تحقیقاتی واقع در دانشگاه شهید چمران با سه نوع بافت خاک مختلف انجام شدند. به دلیل استفاده از یک دیسک در چندین مکش متوالی، از دو روش تحلیل لوگسدن و جینیز و روش الریک و رینولدز جهت تحلیل سرعت‌های نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده صحرایی استفاده شد. هر دو روش تحلیل برای بافت سیلتی لوم در سطح احتمال ۰/۰۵ مقادیر یکسانی از هدایت هیدرولیکی غیراشباع تخمین زدند در حالیکه برای دو نوع بافت لوم، تفاوت بین مقادیر تخمین زده شده در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار شد. با توجه به اینکه در این مطالعه روش تحلیلی لوگسدن و جینیز در هر سه بافت خاک، پارامتر α گاردنر و هدایت هیدرولیکی اشباع را با رگرسیون بالا (۰/۹<) تخمین زد، نتایج بدست آمده از این روش تحلیل، مبنای مقایسه با دو روش تخمین دیگر قرار گرفت. میانگین مقادیر α تخمین زده شده به روش مذکور در سه بافت سیلت لوم، لوم۱ و لوم۲ به ترتیب برابر با ۰/۱۵۶۷، ۰/۱۸۶۷ و ۰/۱۱(1/cm) و هدایت هیدرولیکی اشباع به ترتیب برابر با ۰/۰۰۱۶، ۰/۰۰۱۳ و ۰/۰۰۱ (cm/sec) بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که بین پارامتر α گاردنر (پارامتر توزیع اندازه منافذ در خاک) و درصد شن در خاک هم بستگی مثبت وجود دارد به طوری که بیشترین مقدار α برای بافت لوم۱،که دارای بیشترین درصد شن بود تخمین زده شد. هم چنین پارامتر α متاثر از ساختمان خاک و وضعیت کلوخه‌های موجود در خاک نیز می‌باشد به طوری که کمترین مقدار α به ساختمان خاک با کلوخه‌های کوچکتر و مستحکم‌تر تعلق داشت. در این تحقیق، ۵ تابع انتقالی غیراشباع با ۴ تابع انتقالی رطوبت اشباع و ۸ تابع انتقالی هدایت اشباع جهت تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع در همان مکش‌های اعمالی توسط نفوذسنج دیسک، ادغام شدند. با استفاده از مدل RETCنیز منحنی مشخصه هیدرولیکی خاک از زوج داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی (مکش و رطوبت)، تخمین زده شد. شاخص‌های آماری محاسبه شده، Total Error، GMER و GSDER، نشان دادند که توابع انتقالی ادغام شده که نهایتاً به عنوان بهترین توابع در هر بافت خاک معرفی شدند، در مقایسه با مدل RETC، تخمین‌های بهتری از هدایت هیدرولیکی غیراشباع در مقایسه با مقادیر صحرایی ارائه کردند.

عنوان	فهرست مطالب	صفحه

فصل اول: مقدمه

1-1- مقدمه 2

1-2- هدف 7

فصل دوم: مروری بر منابع

2-1- حرکت آب در خاک 9

2-2- مقایسه جریان در دو ناحیه اشباع و غیراشباع 9

2-3- اهمیت ناحیه غیراشباع 11

2-4- معادله حاکم بر جریان غیراشباع 11

2-5- منحنی مشخصه رطوبتی خاک 13

2-5- 1- کاربرد منحنی مشخصه رطوبتی خاک 14

2-5-2- پدیده پس ماند 15

2-5-3- نمایه های تجربی منحنی مشخصه رطوبتی خاک 16

2-5-3-1- فشار ورود هوا 16

2-5-3-2- درجه اشباع باقیمانده و تخلخل موثر 17

2-5-3-3- ظرفیت زراعی 18

2-5-3-4- نقطه پژمردگی 19

2-5-3-5-آب قابل استفاده گیاه 20

2-5-4- روش تعیین نمایه های تجربی منحنی مشخصه رطوبتی خاک 20

2-5-4-1- شاخص توزیع اندازه خلل و فرج 23

2-5-5- روش تعیین منحنی مشخصه رطوبتی 23

2-5-6- مدل سازی منحنی مشخصه رطوبتی خاک 26

2-5-7- مروری بر مطالعات انجام شده 27

2-5-8- مدل کردن منحنی مشخصه رطوبتی از روی بافت خاک 32

2-5-8-1-مدل دو قسمتی منحنی مشخصه رطوبتی خاک 41

2-5-8-2- مدل یک پارامتری منحنی مشخصه رطوبتی خاک 46

2-6- هدایت هیدرولیکی 49

2-6-1- اندازه گیری هدایت هیدرولیکی غیراشباع 50

فصل دوم: مروری بر منابع

2-6-1-1- روش‌های آزمایشگاهی 50

2-6-1-2-روش های صحرایی 52

2-6-2-محاسبه رابطه‌ی $k(\theta)$ از روی منحنی مشخصه رطوبتی خاک 54

2-6-3-برازش مدل‌های ریاضی به داده‌های اندازه‌گیری شده خواص هیدرولیکی 61

2-6-3-1 –برنامه کامپیوتری RETC 61

2-6-4-شبیه سازی منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع 63

2-7-نفوذسنج دیسک 66

2-7-1-تجزیه و تحلیل داده‌های نفوذسنج دیسک 69

2-7-1-1-تجزیه و تحلیل نفوذ در حالت پایدار 69

2-7-1-1-1-روش معادلات همزمان 71

2-7-1-1-2-روش نمایی مرحله ای 73

2-7-1-1-3-روش رگرسیون غیرخطی 74

2-7-1-1-4-روش استفاده از دیسک هایی با اندازه های مختلف 74

2-7-2-برخی از محدودیت های موجود در چهار روش ذکر شده 75

2-7-3-دیسک و پدیده پس ماند 78

2-7-4-مدل ریاضی برای نفوذسنج دیسک 78

2-7-5-مدل عددی برای نفوذسنج دیسک 82

2-7-6-مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه نفوذسنج دیسک 85

2-7-7-برخی مطالعات انجام شده در زمینه سایر روش‌های تخمین 89

فصل سوم: مواد و روشها

3- 1-عملیات صحرایی و آزمایشگاهی 91

3-2- آزمایشات میز مکش و صفحات فشاری 93

3-2-1-اندازه گیری مقدار رطوبت باقیمانده در خاک در مکش های کمتر از یک متر 93

3-2-2-اندازه‌گیری مقدار رطوبت باقیمانده در خاک در مکش‌های بیشتر از یک متر 95

3-3-کاربرد برنامه RETC جهت تخمین منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی 97

3-4-کاربرد توابع انتقالی(PTF) جهت تخمین هدایت هیدرولیکی 98

فصل سوم: مواد و روش‌ها

3-4-1-توابع انتقالی برای تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع 98
3-4-2-توابع انتقالی برای تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع 102
3-4-3-توابع انتقالی برای تخمین مقدار رطوبت اشباع 104
3-5-آزمایشات صحرائی توسط نفوذسنج دیسک 104
3-5-1-تشریح ساختمان نفوذسنج دیسک 104
3-5-2-پر کردن نفوذسنج دیسک 105
3-5-3-اقدامات اولیه برای شروع آزمایش با دستگاه نفوذسنج دیسک 109
3-5-4-طریقه ی انجام آزمایش 110
3-5-5-تحلیل اندازه گیری های نفوذسنج دیسک 114
3-6-تحلیل‌های آماری 116
3-6-1-ضریب تغییرات 116
3-6-2- انحراف استاندارد از میانگین 117
3-6-3-مقایسه دو روش تحلیل اطلاعات نفوذسنج دیسک 117
3-6-4-مقایسه پارامترهای α و K_s در سه مکان با یکدیگر 117
3-6-5-مقایسه سه روش تحلیل مورد مطالعه به طور جداگانه در هر بافت خاک 118

فصل چهارم: نتایج و بحث

4-1- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی سهل الوصول خاک 121
4-2-منحنی مشخصه رطوبتی خاک سه مکان مورد مطالعه 122
4-3- برآورد پارامتریک توابع هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک با استفاده از نرم افزار RETC 122
4-4-تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع توسط توابع انتقالی 125
4-5-سرعت‌ها نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده توسط نفوذسنج دیسک در 5 مکش متوالی 136
4-6-تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع از اندازه گیری های نفوذسنج دیسک 139
4-6-1- روش نمایی مرحله ای 140
4-6-2-روش رگرسیون غیرخطی 146
4-6-3-مقایسه مقادیر α و K_s بدست آمده در این تحقیق با نتایج دیگر محققین 149

فصل چهارم: نتایج و بحث

4-7-تحلیل های آماری 151
4-7-1-ضریب تغییرات(CV) 154
4-7-2-نمایش انحراف استاندارد از میانگین به صورت گراف بین 6 تکرار آزمایش با استفاده از 152
4-7-3-مقایسه مقادیر تخمین زده شده به دو ر وش نمایی مرحله‌ای و رگرسیون غیر خطی 153
4-7-4-مقایسه مقادیر تخمین زده شده در سه مکان با یکدیگر 159
4-7-5-تعیین مناسب‌ترین تابع انتقالی در مقایسه با مقادیر تخمین زده شده به روش رگرسیون 170
4-7-6-مقایسه دو روش تخمین مورد مطالعه با روش صحرایی نفوذسنج دیسک 179

فصل پنجم: نتیجه گیری کلی و پیشنهادات

5-1- خلاصه نتایج 183
5-2-پیشنهادات 188

منابع

منابع 191

فصل دوم: تئوری و پیشینه تحقیق

جدول (2-1). ضرایب رگرسیونی و همبستگی مدل گوپتا و لارسون بین پتانسیل‌های ماتریک متفاوت.....33
جدول (2-2): ضرایب رگرسیونی وهمبستگی مدل رائولز و همکاران در پتانسیل‌های ماتریک متفاوت.....35
جدول (2-3): خلاصه معادلات منحنی رطوبتی خاک 39
جدول (2-4): خلاصه معادلات درصد رطوبت و پتانسیل فشاری تابع رطوبتی دو قسمتی 45
جدول (2-5): تحلیل‌های رگرسیون انجام شده روی مقادیر a و b.....47

فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول (4-1): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سه مکان مورد مطالعه 121
جدول (4-2): مقادیر میانگین درصد رطوبت حجمی نمونه های خاک در سه مکان مورد مطالعه 121
جدول (4-3): تخمین های اولیه از پارامترهای مدل ون گنوختن بر مبنای تحلیل شبکه عصبی با استفاده از ...123
جدول (4-4): مقادیر نهایی تخمین زده شده از پارامترهای مدل ون گنوختن توسط مدل RETC 123
جدول (4-5): تخمین پارامترهای مدل ون گنوختن توسط تابع غیراشباع راولز و براکنسیک 126
جدول (4-6): تخمین پارامترهای مدل ون گنوختن توسط مدل اسچاپ (SSC).....127
جدول (4-7): تخمین پارامترهای مدل ون گنوختن توسط مدل اسچاپ (SSC+BD).....127
جدول (4-8): تخمین پارامترهای مدل ون گنوختن توسط تابع وستن و همکاران 128
جدول (4-9): تخمین پارامترهای مدل غیراشباع وریکن و همکاران 129
جدول (4-10): هدایت هیدرولیکی اشباع تخمین زده شده توسط توابع انتقالی 131
جدول (4-11): هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده در مکش‌های متفاوت (مکان1) 133
جدول (4-12): هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده در مکش‌های متفاوت (مکان2).....134
جدول (4-13): هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده در مکش‌های متفاوت (مکان3).....135
جدول (4-14): سرعت‌های نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده توسط نفوذسنج دیسک (مکان1).....137
جدول (4-15): سرعت‌های نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده توسط نفوذسنج دیسک (مکان2).....148
جدول (4-16): سرعت‌های نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده توسط نفوذسنج دیسک (مکان3).....139
جدول (4-17): مقادیر هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای در نقطه میانی دو مکش متوالی و میانگین مقادیر α و هدایت هیدرولیکی اشباع(مکان1) 142
جدول (4-18): مقادیر هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای در نقطه میانی دو مکش متوالی و میانگین مقادیر α و هدایت هیدرولیکی اشباع(مکان2) 143
جدول (4-19): مقادیر هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای در نقطه میانی دو مکش متوالی و میانگین مقادیر α و هدایت هیدرولیکی اشباع(مکان سوم) 144

فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول (4-20): میانگین مقادیر α و هدایت هیدرولیکی اشباع تخمین زده شده در سه مکان مورد مطالعه.....146
جدول (4-21): مقادیر α و هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی در سه مکان 148
جدول (4-22): مقادیر α و هدایت هیدرولیکی اشباع بدست آمده توسط دیگر محققین در خاک سطحی 150
جدول (4-23): ضریب تغییرات محاسبه شده برای مقادیر هدایت هیدرولیکی غیراشباع بدست آمده به روش نمایی مرحله ای در هر مکش 152
جدول (4-24): ضریب تغییرات محاسبه شده برای مقادیر تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی در هر مکش 152
جدول (4-25): انحراف استاندارد و میانگین مقادیر تخمین زده شده در هر مکش به دو روش(مکان3) 155
جدول (4-26): نتایج آزمون مقایسه میانگین برای دو روش تخمین مستقل (مکان3) 155
جدول (4-27): انحراف استاندارد و میانگین مقادیر تخمین زده شده در هر مکش به دو روش(مکان2).....156
جدول (4-28): نتایج آزمون مقایسه میانگین برای دو روش تخمین مستقل (مکان2) 156
جدول (4-29): انحراف استاندارد و میانگین مقادیر تخمین زده شده در هر مکش به دو روش(مکان1)..... 157
جدول (4-30): نتایج آزمون مقایسه میانگین برای دو روش تخمین مستقل (مکان1)..... 157
جدول (4-31): نتایج آزمون مقایسه میانگین مقادیر α و K_s تخمین زده شده به دو روش در مکان1..... 158
جدول (4-32): نتایج آزمون مقایسه میانگین مقادیر α و K_s تخمین زده شده به دو روش در مکان2..... 158
جدول (4-33): نتایج آزمون مقایسه میانگین مقادیر α و Ks تخمین زده شده به دو روش در مکان3 159
جدول (4-34): مقایسه میانگین مقادیر تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای در دو نوع بافت لوم 161
جدول (4-35): مقایسه میانگین مقادیر تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی در دو نوع بافت لوم 162
جدول (4-36): مقایسه میانگین مقادیر تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی در مکان اول و دوم 163
جدول (4-37): مقایسه میانگین مقادیر تخمین زده شده به روش نمایی مرحله‌ای در مکان اول و دوم.....164
جدول (4-38) :مقایسه میانگین مقادیر تخمین زده شده به روش نمایی مکان اول و سوم 165
جدول (4-39): مقایسه میانگین مقادیر تخمین زده شده به روش رگرسیون در مکان اول و سوم 166
جدول (4-40): مقایسه مقادیر α تخمین زده شده به روش نمایی در سه مکان با یکدیگر.....168
جدول (4-41): مقایسه مقادیر k_s تخمین زده شده به روش نمایی در سه مکان با یکدیگر 169
جدول (4-42): مقایسه مقادیر α تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی درسه مکان با یکدیگر 169
جدول (4-43): مقایسه مقادیر K_s تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی درسه مکان با یکدیگر.....170
جدول (4-44): اختلاف بین مقادیر K_s تخمین زده شده و مقادیر اندازه‌گیری شده (مکان1)..... 171
جدول (4-45): اختلاف بین مقادیر Ks تخمین زده شده و مقادیر اندازه‌گیری شده (مکان2).....172

فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول (4-46): اختلاف بین مقادیر Ks تخمین زده شده و مقادیر اندازه‌گیری شده (مکان3)..... 173
جدول (4-47): شاخص‌های آماری برای توابع انتقالی غیراشباع مورد مطالعه (مکان1) 174
جدول (4-48): شاخص‌های آماری برای توابع انتقالی غیراشباع مورد مطالعه (مکان2)..... 175
جدول (4-49): شاخص‌های آماری برای توابع انتقالی غیراشباع مورد مطالعه (مکان3)..... 175
جدول (4-50): بهترین توابع انتقالی برای تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع و اشباع در هر سه مکان 177
جدول (4-51): شاخص‌های آماری محاسبه شده برای دو روش تخمین مورد مطالعه 180

فصل دوم: تئوری و پیشینه تحقیق

شکل(2-1): تیپ منحنی‌های مشخصه رطوبتی خاک 14
شکل (2-2): منحنی‌های رطوبت زدایی و رطوبت گیری و پدیده پس ماند 15
شکل (2-3): رابطه یبین فشار کاپیلاری و درجه اشباع 16
شکل (2-4): رابطه ی بین درجه اشباع موثر و فشار کاپیلاری 21
شکل (2-5) -ناحیه معتبر مثلث بافت خاک برای روابط ساکستون و همکاران 40
شکل (2-6):مقایسه نتایج معادلات ساکستون و همکاران با روابط راولز و همکاران 40
شکل (2-7): منحنی های رطوبتی پیش بینی شده برای کلاس های بافت خاک در محدوده پتانسیل صفر تا 1500 کیلوپاسکال 41
شکل (2-8): منحنی‌های رطوبتی پیش‌بینی شده برای کلاس‌های بافت خاک درمحدوده 41
شکل (2-9): شکل عمومی حاصل از مدل دو قسمتی منحنی مشخصه خاک 44
شکل (2-10):رابطه ی بین a و b 47
شکل (2-11): انواع مختلف نفوذسنج دیسک از ابتدا تا کنون 68
شکل (2-12): آنالیزهای مختلف برای نفوذسنج دیسک برگرفته از راه حل وودینگ 71
شکل (2-13): مقایسه روش صحرایی نفوذسنج دیسکی با سایر روش های آزمایشگاهی 72
شکل (2-14): جریان سه بعدی آب از نفوذسنج دیسک 83
شکل (2-15): مدل دو بعدی برای جریان آب از نفوذسنج دیسک 85

فصل سوم: مواد و روشها

شکل(3-1): دستگاه جعبه ماسه‌ای و نحوه قرارگیری نمونه‌ها در آن 93
شکل(3-2): دستگاه صفحات فشاری 96
شکل(3-3): شماتیک برش عرضی از دستگاه نفوذسنج دیسک 105
شکل (3-4): طریقه ی پر کردن مخزن آب نفوذسنج با استفاده از پمپ خلا 112
شکل (3-5): مسدود کردن لوله ورود هوا با استفاده از گیره بلافاصله بعد از پر کردن مخزن آب 112
شکل (3-6): طریقه‌ی پر کردن لوله مخزن ماریوت 113
شکل (3-7) :نحوه‌ی تنظیم مکش با استفاده از لوله زهکش مرتبط با مخزن ماریوت 114
شکل(3-8): نحوه قرار گیری دستگاه روی سایت آزمایش 114

فصل چهارم: نتایج و بحث

شکل (4-1): برازش مدل رطوبتی ون گنوختن توسط مدل RETC به داده های رطوبت اندازه گیری شده در آزمایشگاه (مکان1) 124

فصل چهارم: نتایج و بحث

شکل (4-2): برازش مدل رطوبتی ون گنوختن توسط مدل RETC به داده های رطوبت اندازه گیری شده در آزمایشگاه (مکان2) 124

شکل (4-3): برازش مدل رطوبتی ون گنوختن توسط مدل RETC به داده های رطوبت اندازه گیری شده در آزمایشگاه (مکان3) 125

شکل (4-4): منحنی نفوذ تجمعی برداشت شده توسط نفوذسنج دیسک در دو نوع بافت لوم و یک نوع بافت سیلتی لوم 136

شکل (4-5): تحلیل اطلاعات نفوذسنج دیسک به روش نمایی مرحله ای (مکان اول) 141

شکل (4-6): تحلیل اطلاعات نفوذسنج دیسک به روش نمایی مرحله ای (مکان دوم) 141

شکل (4-7): تحلیل اطلاعات نفوذسنج دیسک به روش نمایی مرحله ای (مکان سوم) 142

شکل (4-8) :منحنی هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای (مکان اول) 143

شکل (4-9): منحنی هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای(مکان دوم) 144

شکل (4-10): منحنی هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای(مکان سوم) 145

شکل (4-11) :منحنی های هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش نمایی مرحله ای در سه مکان مورد مطالعه 146

شکل (4-12): برازش تابع نمایی گاردنر به زوج داده های(Q,h) اندازه گیری شده توسط نفوذسنج دیسک مکشی(مکان اول) 147

شکل (4-13): برازش تابع نمایی گاردنر به زوج داده های (Q,h) اندازه گیری شده توسط نفوذسنج دیسک(مکان دوم) 147

شکل (4-14): برازش تابع نمایی گاردنر به زوج داده های (Q,h) اندازه گیری شده توسط نفوذسنج(مکان3) 148

شکل (4-15): منحنی هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده به روش رگرسیون غیرخطی در سه مکان مورد مطالعه 149

شکل (4-16) : Error Barهای رسم شده در هر مکش بر ای سه مکان 153

شکل (4-17): منحنی های هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده توسط توابع انتقالی و نفوذسنج دسیک 178

شکل (4-18): نمایش ستونی مقادیر تخمین زده شده توسط توابع انتقالی در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای 179

شکل (4-19): منحنی هدایت هیدرولیکی تخمین زده شده توسط مدلRETC 178

فصل اول

مقدمه و هدف

۱-۱- مقدمه

اهمیت منطقه غیر اشباع به عنوان یکی از قسمت‌های اصلی چرخه هیدرولوژیکی از مدت‌ها پیش شناخته شده است. این منطقه نقش غیرقابل اغماضی در بسیاری از مباحث هیدرولوژی دارد که شامل نفوذ، میزان ذخیره آب در خاک، تبخیر، آب جذب شده توسط گیاهان، تخلیه آب از سفره زیرزمینی، رواناب و فرسایش می‌شود. مطالعات اولیه این منطقه عموماً متمرکز بر تهیه مقدار آب مورد نیاز گیاه بوده است. در سال‌های اخیر افزایش نگرانی عمومی در مورد آلودگی آبهای زیرزمینی و تخلیه زیر سطحی فاضلاب‌های مضر، بدلیل تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری بر محیط زیر سطحی یا آب‌های زیرزمینی سبب تحقیقات جدید بسیاری بر روی جریان آب در محیط غیراشباع شده است. در این راستا، مخصوصاً پیش‌بینی و برآورد هدایت هیدرولیکی غیراشباع از روی خواص فیزیکی و منحنی رطوبتی خاک بسیار مهم است(۱۱).

منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک دو فاکتور اصلی در بررسی روابط هیدرولیکی غیراشباع خاک می‌باشند. میزان رطوبت می‌تواند به صورت عاملی از پتانسیل ماتریک خاک مطرح شود. منحنی حاصل از چنین ارتباطی در واقع همان منحنی رطوبتی خاک می‌باشد که می‌تواند به دو صورت رطوبت‌زدائی و رطوبت‌گیری ترسیم شود. غالباً هنگامی که در روابط آب و خاک صحبت از منحنی رطوبتی می‌شود، منظور منحنی رطوبتی مکش می‌باشد. هدایت هیدرولیکی در واقع بیانگر قابلیت گذردهی آب توسط یک خاک می‌باشد، به طوریکه هر چقدر هدایت هیدرولیکی خاکی بیشتر باشد قابلیت آبگذری آن بیشتر است. هدایت هیدرولیکی غیراشباع همواره در روابط آب و خاک به صورت عاملی از میزان رطوبت یا پتانسیل ماتریک نشان داده می‌شود (۷،۱).

پتانسیل آب خاک، مقدار رطوبت و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک مشخصه‌های بسیار مهم خاک هستند که معمولا در قالب منحنی‌های مشخصه آب خاک (h-q) و منحنی هدایت هیدرولیکی (k- h) بیان می‌شوند. یکی از عوامل بسیار مهم حاکم بر انتقال آب و محلول‌ها در خاک، هدایت هیدرولیکی غیراشباع است که تعیین آن در صحرا و آزمایشگاه علاوه بر وقت‌گیر بودن، بسیار هزینه‌بر می‌باشد.هم‌چنین به دلیل تغییرات ویژه این خصوصیات با مکان و زمان، کاربردی بودن نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها، نیازمند تعداد آزمایشات و تکرارهای زیاد می‌باشد. از

این رو روش‌های بسیار زیادی برای تخمین هدایت هیدرولیکی غیراشباع با استفاده از پاره‌ای از خواص ذاتی خاک که اندازه‌گیری‌های آن ساده‌تر می‌باشد ارائه شده است (۴۹).

منحنی خصوصیات رطوبتی، کاربرد بسیاری در مسائل آب و خاک دارد. برای مثال از این منحنی برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی در شرایط اشباع و غیراشباع، آب قابل دسترس گیاه، حرکت املاح در خاک‌ها استفاده می‌شود. اما رسم این منحنی و همچنین تعیین هدایت هیدرولیکی غیر اشباع با روش‌های آزمایشگاهی یا صحرایی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. همچنین تغییرات آن از نقطه‌ای به نقطه دیگر زیاد بوده و جهت حصول نتایج دقیق نیاز به اندازه‌گیری‌های زیادی می‌باشد. از طرفی دیگر هدایت هیدرولیکی خاک دارای خاصیت پس‌ماند رطوبت بوده و کیفیت آن در زمان تر و خشک شدن خاک تفاوت می‌کند. علاوه بر مسائل فوق، بسیاری از روش‌های تعیین هدایت هیدرولیکی غیراشباع فقط در محدوده معینی از رطوبت و مکش کاربرد داشته و نمی‌توان در طیف وسیعی از تغییرات رطوبت یا مکش از آنها استفاده کرد. این تنگناها باعث شده که محققان از دیرباز بر آن باشند تا توابع هیدرولیکی غیراشباع خاک‌ها را با استفاده از خواص فیزیکی ساده خاک از قبیل بافت، مقدار ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری بدست آورند.

در این رابطه معادلات زیادی ارائه شده که بصورت معادلات دیفرانسیل جزئی بوده و غیرخطی می‌باشند. و حل این معادلات و مدل‌ها نیاز به پارامترهای هیدرولیکی متغیری دارد، که خود بستگی به محیط متخلخل و آب موجود در آن دارد. بنابراین تهیه مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی میزان رطوبت از روی پتانسیل و بالعکس ضرورت پیدا می‌کند. یکی از مشکلات اساسی در حل معادلات حرکت آب و املاح در محیط متخلخل و خاک و هم‌چنین کاربرد مدل‌ها و نرم‌افزارهای موجود در این زمینه، کمبود داده‌ها و اطلاعات اولیه درباره خصوصیات هیدرولیکی خاک می‌باشد.

تاکنون بدلیل مشکلات اندازه‌گیری و نبودن امکانات کافی، چنین تحقیقاتی در کشور ما متداول نبوده و در کشورهای پیشرفته نیز بدلیل مشکلات ذکر شده با مطرح شدن تئوری‌های جدید، استفاد از روش‌های غیر مستقیم و ساده‌تری برای رسیدن به همان هدف دنبال می‌شود (۱۰).

با توجه به اینکه اکثر فرآیندهای مهم از قبیل جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه گیاه، تخلیه آب توسط زهکش‌های زیرسطحی، نفوذ باران، رواناب و انتقال آلودگی‌ها در خاک و نهایتاً انتقال این آلودگی‌ها به آب‌های زیرزمینی، همگی در ناحیه غیر اشباع رخ می‌دهند. از این رو شناخت ویژگی‌های این ناحیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است.

تخمین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در بررسی و مدل‌سازی بسیاری از مسائل آب و خاک از جمله آبیاری و زهکشی، آب‌های زیرزمینی، هیدرولوژی و حرکت آب و املاح در خاک ضروری است. منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی، دو مشخصه‌ی مهم خاک هستند که هم درباره‌ی مدیریت آب و خاک و هم درباره‌ی سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند رطوبت قابل استفاده، تخلخل خاک و توزیع اندازه‌ی منافذ اطلاعات سودمندی ارائه می‌کنند. این دو مشخصه هیدرولیکی خاک به روش‌های مستقیم و غیرمستقیم برآورد می‌شوند.

معمولی‌ترین روش تعیین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، اندازه‌گیری مستقیم آن‌ها در آزمایشگاه است. با وجود پیشرفت‌های نسبی که در روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک صورت گرفته، این روش‌ها همچنان وقت‌گیر و پر هزینه‌اند و گاهی روی نمونه‌های کوچک و دست خورده که کمتر قابل تعمیم به مزرعه هستند، صورت می‌گیرند. در روش‌های مستقیم اندازه‌گیری منحنی مشخصه رطوبتی، فشار ماتریک در مکش‌های کم ، اغلب به وسیله دستگاه هینز[1] (۱۹۸۳) یا تانسیومتر و در مکش‌های زیاد با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری می‌شود. رطوبت خاک نیز در همان فشارها با استفاده از روش وزنی یا حسگرهای رطوبتی تعیین می‌شود. که در تحقیق حاضر جهت تعیین منحنی رطوبتی خاک‌های مورد مطالعه، از روش صفحات فشاری[2] و سندی باکس[3] استفاده گردید.

برای تعیین منحنی هدایت هیدرولیکی غیراشباع به روش مستقیم نیز روش‌های زیادی وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان به روش خروجی یک یا چند گامی[4] (ون دم[5] و همکاران،

[1] Haines
[2] Pressure plate
[3] Sandy Box
[4] Multi step flow
[5] Van Dam

۱۹۹۴؛ کول[1] و همکاران، ۱۹۸۵)، روش حرکت آب به سمت بالا[2] (هادسون[3] و همکاران،۱۹۹۶) و روش تبخیر[4] (سیمونک[5] و همکاران،۱۹۹۸؛ گاردنر[6] و میکلیچ[7]، ۱۹۶۲) اشاره کرد (۸).

روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی زیادی برای اندازه‌گیری مستقیم و غیر مستقیم هدایت هیدرولیکی در ناحیه غیر اشباع در دسترس می‌باشند که همگی زمان بر و پرهزینه می‌باشند. امروزه، رایج‌ترین روش اندازه گیری صحرایی هدایت هیدرولیکی غیر اشباع استفاده از نفوذسنج دیسک[8] می‌باشد.

این دستگاه برای اولین بار به صورت تجاری در سال ۱۹۸۲ توسط وایت و پروکس[9] ساخته شد و به دلیل ارائه نتایج سریع و قابل قبولی از K بیش از پیش مورد توجه محققین فیزیک خاک قرار گرفته است. با استفاده از نفوذسنج می‌توان میزان نفوذ پایدار را در فشارهای مثبت و منفی اندازه‌گیری نمود. این دستگاه با کم کردن تاثیر جریانات ترجیحی (جریان در درز و شکاف‌ها) در میزان نفوذ، قادر به اعمال مکش‌های منفی بر سطح خاک می‌باشد به گونه‌ای که آب فقط تحت تاثیر این مکش می‌تواند در خاک نفوذ نماید و ورود یا نفوذ آب به داخل خاک کنترل شده خواهد بود. طرز کار دستگاه به این صورت می‌باشد که وقتی دستگاه در مکش خاصی تنظیم شده باشد طبق نظریه صعود کاپیلاری آب فقط وارد منافذی با شعاع کوچکتر و مساوی با شعاع معادل این مکش خواهد شد. به عبارت دیگر در یک مکش خاص، تنها منافذی می‌توانند از دیسکت آب دریافت کنند که بتوانند مکشی برابر یا بیشتر از مکش تنظیم شده بر صفحه دیسکت وارد نمایند.

روش‌های اندازه‌گیری با این وسیله عبارت‌اند از استفاده از یک دیسک و یک تنش، استفاده از چندین دیسک با شعاع‌های متفاوت در یک تنش (۸۳) و استفاده از یک دیسک در چندین تنش متوالی (۷۱) می‌باشد. وودینگ[10] برای تحلیل جریان سه بعدی از زیر دیسک رابطه‌ای تعریف نمود.

[1] kool
[2] Upward flow
[3] Hudson
[4] Evaporation method
[5] Simmunek
[6] Gardner
[7] Miklich
[8] Disc Permeameter
[9] White and Perrux
[10] Wooding

تجزیه و تحلیل‌های مختلفی وجود دارد که از راه حل وودینگ برای تخمین هدایت هیدرولیکی از اندازه‌گیری‌های نفوذسنج دیسک بهره جسته‌اند.

روش‌های برگرفته از معادله وودینگ روش‌های تحلیل پایدار می‌باشند، زیرا در تمامی این روش‌ها به اطلاعات نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده توسط نفوذسنج دیسک نیاز می‌باشد. رایج ترین روش اندازه‌گیری استفاده از یک دیسک در چندین تنش متوالی می‌باشد. رینولدز و الریک[1] (۱۹۹۱)، آنکنی و همکاران[2] (۱۹۹۱)، (۱۸،۶۹) و لوگسدن و جینیز[3](۱۹۹۳)، (۵۶)، برای تحلیل پایدار داده‌های نفوذسنج دیسک به روش چندین مکش با یک دیسک دو روش تحلیل ارائه دادند. در تمامی روش‌های تحلیل پایدار فرض بر این می‌باشد که تابع هدایت هیدرولیکی از تابع نمایی گاردنر تبعیت می‌کند. در واقع این روش‌ها به طور همزمان پارامترهای توزیع سایز منافذ(α) و هدایت هیدرولیکی اشباع(k_s) را از مقادیر نفوذ پایدار اندازه‌گیری شده در مکش‌های متوالی توسط نفوذسنج دیسک تخمین می‌زنند.

در این تحقیق منحنی هدایت هیدرولیکی غیراشباع به روش صحرایی نفوذسنج دیسک در دو نوع خاک لوم و یک نوع خاک سیلتی لوم اندازه‌گیری شد. هم چنین منحنی رطوبتی خاک‌های مورد مطالعه در آزمایشگاه با استفاده از سندی باکس و صفحات فشاری اندازه‌گیری شد.

جهت تخمین منحنی هدایت هیدرولیکی غیراشباع به روش غیر مستقیم از توابع انتقالی استفاده شد.

[1] Reynolds and Elrick
[2]. Ankeny et al
[3] Logsdon and Jaynes