دانشکده کشاورزی

گروه مهندسی آب

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی توابع انتقالی ارائه شده برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه

سجاد زرین فر

شهریور ماه

۱۳۸۸

دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی توابع انتقالی ارائه شده برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه

سجاد زرین فر

استاد راهنما

دکتر بیژن قهرمان

استاد مشاور

دکتر کامران داوری

شهریور ماه ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

ساحت مقدس

آقا علی بن موسی الرضا (ع)

و

پدر و مادر مهربانم

تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان « **ارزیابی توابع انتقالی ارائه شده برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه** » توسط «**سجاد زرین فر**» در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۳۱ با نمره و درجه ارزشیابی در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

تاریخ دفاع ۱۳۸۸/۶/۳۱ نمره و درجه ارزشیابی

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	آقای دکتر بیژن قهرمان	دانشیار	استاد راهنما	
۲	آقای دکتر کامران داوری	استادیار	استاد مشاور	
۳	آقای دکتر حسین انصاری	استادیار	داور	
۴	آقای مهندس مجید هاشمی نیا	مربی	داور	
۵	آقای دکتر سعیدرضا خداشناس	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تعهد نامه

عنوان پایان نامه: ارزیابی توابع انتقالی ارائه شده برای تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه

اینجانب **سجاد زرین فر** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **آبیاری و زهکشی**

دانشکده **کشاورزی** دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی **آقای دکتر بیژن قهرمان** متعهد می شوم که:

- تحقیقات ارائه شده در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و مسئول صحت و اصالت مطالب نگارش شده می باشم.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده شده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط اینجانب یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. مقالات مستخرج با نام دانشگاه فردوسی مشهد و یا Ferdowsi University of Mashhad به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ

نام و امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود و در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

سپاسگزاری

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته، آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان برفت تا به توانایی برسم و مویشان سفید گشت تا رویم‌سپید بماند؛ آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشانم سرمایه‌های جاودانی زندگی من است؛ آنان که راستی قامتم در شکستی قامتشان تجلی یافت .

بدین وسیله مراتب قدردانی و سپاس خود را از زحمات استاد ارجمند و گرامی جناب آقای دکتر بیژن قهرمان که با بزرگواری و درایت و با صرف اوقات ارزشمند خویش اینجانب را در تهیه این پایان‌نامه یاری فرموده و برای خلق نتایجی ارزشمند مساعی لازم را مبذول داشته‌اند به عمل می‌آورم و از خداوند متعال عمر با عزت برای ایشان مسألت می‌نمایم.

همچنین از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر کامران داوری که مسئولیت مشاوره این پایان‌نامه را به عهده داشته‌اند کمال تقدیر و تشکر را دارم و از خداوند منان بهروزی جاودان برای ایشان آرزومندم.

در پایان جا دارد از اساتید محترم جناب آقای دکتر حسین انصاری و جناب آقای مهندس مجید هاشمی نیا که مسئولیت داوری این پایان‌نامه را به عهده گرفته و با نقطه نظرات ارزنده خویش سبب پر بار تر شدن آن گشته‌اند و همچنین از دوست عزیزم آقای امیر شاهینی که برادرانه جهت تهیه هرچه بهتر این پایان‌نامه با اینجانب همکاری کرده‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

هدایت هیدرولیکی اشباع یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی خاک بوده که اندازه‌گیری مستقیم آن پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد. لذا روش‌های غیر مستقیم تعیین این پارامتر، مانند استفاده از توابع انتقالی، گسترش یافته‌اند. در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از ۴۹ نمونه خاک، با کلاس‌های بافتی شن لومی، لوم شنی، لوم و لوم سیلتی در محدوده پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، اعتبار توابع انتقالی متداول جهت پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع مورد ارزیابی قرارگرفت. نتایج نشان داد که تابع کاسبی و همکاران (۱۹۸۴) بیشترین اعتبار را دارد. سپس با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی، این توابع واسنجی شد. اعتبار توابع واسنجی شده با روش اعتبارسنجی متقابل ارزیابی گردید. نتایج حاصل از ارزیابی صحت و اعتبار توابع واسنجی شده نشان داد که توابعی که از متغیرهای مستقل تابع کاسبی و همکاران (۱۹۸۴) و ساکستون و همکاران (۱۹۸۶) استفاده کرده‌اند، بیشترین صحت و تابعی که از متغیرهای مستقل تابع ساکستون و همکاران (۱۹۸۶) استفاده می‌کند، بیشترین اعتبار را دارد. جهت اشتقاق توابع جدید ابتدا ۹ حالت از ترکیب متغیرهای مستقل، انتخاب گردید. با استفاده از نرم‌افزار Minitab 14 بهترین زیرمجموعه جهت رگرسیون برای هرکدام از حالت‌ها مشخص شد. با استفاده از رگرسیون حداقل مربعات جزئی، برای هر حالت مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع پیش‌بینی شد. به‌منظور ارزیابی این توابع نیز از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده گردید. نتایج نشان داد تابعی که از متغیرهای مستقل انحراف معیار هندسی کل توده خاک، لگاریتم طبیعی میانگین هندسی کل توده خاک و میانه قطر ذرات استفاده می‌کند، بیشترین صحت و اعتبار را دارد.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی، تابع انتقالی، چاهک، هدایت هیدرولیکی اشباع

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

تصویب نامه.....الف

تعهد نامه.....ب

سپاسگزاری.....ج

چکیده.....د

فهرست مطالب..... ه

فهرست اشکال.....ط

فهرست جداول.....ک

فهرست علائم و اختصارات.....م

فصل اول: مقدمه.....۱

۱-۱- مقدمه.....۱

۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق.....۲

۱-۳- اهداف تحقیق.....۳

۱-۴- مراحل تدوین.....۳

فصل دوم: بررسی منابع.....۵

۲-۱- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و اهمیت مطالعه آن.....۵

۲-۲- تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع.....۶

۲-۲-۱- روش‌های مستقیم.....۶

۲-۲-۱-۱- روش‌های آزمایشگاهی..... ۶
۲-۲-۱-۲- روش‌های صحرایی..... ۶
۲-۲-۲- روش‌های غیرمستقیم..... ۷
۲-۳- توابع انتقالی..... ۸
۲-۳-۱- ویژگی‌های زودیافت..... ۸
۲-۳-۲- ویژگی‌های دیریافت..... ۹
۲-۳-۳- تخمین سایر خصوصیات خاک..... ۱۰
۲-۳-۴- طبقه بندی توابع انتقالی..... ۱۱
۲-۳-۵- روش‌های یافتن توابع انتقالی..... ۱۲
۲-۳-۶- مدل‌های کامپیوتری..... ۱۴
۲-۳-۷- ارزیابی توابع انتقالی..... ۱۵
۲-۳-۷-۱- شاخص‌های آماری مورد استفاده..... ۱۵
۲-۳-۷-۲- روش‌های ارزیابی توابع انتقالی..... ۱۸
۲-۳-۸- مهم‌ترین توابع انتقالی موجود و ارزیابی آنها..... ۱۹
فصل سوم : مواد و روش‌ها..... ۲۳
۳-۱- منطقه مورد مطالعه..... ۲۳
۳-۲- روش تعیین پارامترهای مورد نیاز خاک..... ۲۳
۳-۲-۱- منحنی دانه بندی..... ۲۳
۳-۲-۲- تعیین بافت خاک..... ۲۵

۳-۲-۳- وزن مخصوص ظاهری..... ۲۵

۳-۲-۴- تخلخل..... ۲۶

۳-۲-۵- نسبت پوکی..... ۲۷

۳-۲-۶- میانگین و انحراف معیار هندسی ذرات رد شده از الک ۲ میلی‌متری..... ۲۷

۳-۲-۷- میانگین و انحراف معیار هندسی کل توده خاک..... ۲۷

۳-۲-۸- برازش توزیع گاما..... ۲۸

۳-۲-۹- میانگین و انحراف معیار حسابی..... ۳۰

۳-۲-۱۰- هدایت هیدرولیکی اشباع..... ۳۰

۳-۳- روش ارزیابی توابع انتقالی..... ۳۳

۳-۴- روش واسنجی توابع انتقالی..... ۳۵

۳-۵- روش اشتقاق توابع جدید..... ۳۷

فصل چهارم: نتایج و بحث..... ۳۹

۴-۱- داده‌های حاصل از آزمایش..... ۳۹

۴-۲- آزمون نرمال بودن داده‌ها..... ۴۶

۴-۳- ارزیابی توابع موجود..... ۴۷

۴-۳-۱- داده‌های ورودی توابع انتقالی..... ۴۷

۴-۳-۲- آزمون معنی‌داری ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی..... ۴۷

۴-۳-۳- شاخص‌های آماری توابع مختلف..... ۵۳

۴-۳-۴- استفاده از چگالی ظاهری حاصل از تابع ساکستون و همکاران..... ۵۵

۴-۴- واسنجی توابع موجود..... ۵۹
۴-۴-۱- یافتن توابع انتقالی واسنجی شده..... ۵۹
۴-۴-۲- ارزیابی صحت توابع انتقالی واسنجی شده..... ۶۱
۴-۴-۳- ارزیابی اعتبار توابع انتقالی واسنجی شده..... ۶۶
۴-۵- اشتقاق توابع جدید..... ۶۷
۴-۵-۱- متغیرهای مستقل ورودی..... ۶۷
۴-۵-۲- یافتن توابع انتقالی..... ۶۷
۴-۵-۳- ارزیابی صحت توابع انتقالی به‌دست آمده..... ۷۰
۴-۵-۴- ارزیابی اعتبار توابع به‌دست آمده..... ۷۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۷۵
۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۷۵
۵-۲- پیشنهادات..... ۷۸
منابع..... ۸۱

پیوست ها

پیوست ۱- منحنی دانه‌بندی نمونه خاک چاهک‌ها و توزیع گاما برازش داده‌شده بر آن..... I
پیوست ۲- نمودار مقادیر $\log\left(h_t+\frac{r}{2}\right)$ در برابر زمان..... XV
پیوست ۳- منحنی‌های هم مقدار داده های حاصل از آزمایش..... XXV
پیوست ۴- اسامی لاتین اشخاص..... XXIX

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱ نقشه محل انجام آزمایش‌ها..... ۲۴

شکل ۳-۲ بافت خاک نمونه‌ها در مثلث بافت خاک..... ۲۶

شکل ۳-۳ منحنی دانه‌بندی نمونه خاک چاهک F5 و توزیع گاما برازش داده‌شده بر آن..... ۲۹

شکل ۳-۴ چاهک وارونه..... ۳۱

شکل ۳-۵ نمودار $\log\left(h_t+\frac{r}{2}\right)$ در برابر زمان درچاهک A2..... ۳۲

شکل ۴-۱ موقعیت چاهک‌ها در شبکه مربعی، نسبت به جهت شمال..... ۴۴

شکل ۴-۲ نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع در برابر مقادیر پیش‌بینی شده

توسط توابع انتقالی ارائه شده..... ۵۱

شکل۴-۳ نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیکی اشباع دربرابر مقادیر پیش‌بینی شده

توابع مختلف، در شرایطی که از مقادیر چگالی ظاهری تابع ساکستون استفاده شده‌است..... ۵۶

شکل ۴-۴ مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توابع به‌دست آمده در مرحله

واسنجی توابع انتقالی..... ۶۲

شکل ۴-۵ نمودار مقادیر اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده هدایت هیدرولیکی اشباع توسط

توابع به‌دست آمده در مرحله اشتقاق توابع جدید..... ۶۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ متغیرهای ورودی توابع انتقالی..... ۱۰

جدول ۴-۱ داده‌های حاصل از آزمایش..... ۴۰

جدول ۴-۲ ضریب تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع اندازه‌گرفته شده، روی ستون‌ها و سطرها ۴۵

جدول ۴-۳ کلاس بافتی نمونه‌های خاک..... ۴۵

جدول ۴-۴ نتایج آزمون نرمال بودن داده‌ها..... ۴۶

جدول ۴-۵ متغیرهای مستقل ورودی توابع انتقالی ارائه شده..... ۴۸

جدول ۴-۶ نتایج آزمون فرض‌های معنی‌داری ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی بین مقادیر
هدایت هیدرولیکی اشباع پیش‌بینی شده با استفاده از توابع انتقالی و مقادیر اندازه‌گیری شده..... ۴۹

جدول ۴-۷ مقادیر شاخص‌های آماری در توابع انتقالی ارائه شده..... ۵۴

جدول ۴-۸ نتایج آزمون‌های معنی‌داری ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی، در شرایطی
که از چگالی ظاهری تابع ساکستون در توابع انتقالی استفاده شده‌است..... ۵۷

جدول ۴-۹ شاخص‌های آماری در شرایطی که از چگالی ظاهری تابع ساکسون در
توابع انتقالی استفاده شده‌است..... ۵۸

جدول ۴-۱۰ نتایج آزمون‌های معنی‌داری ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی در
توابع به‌دست آمده در مرحله‌واسنجی توابع انتقالی..... ۶۳

جدول ۴-۱۱ شاخص‌های آماری توابع حاصل از مرحله واسنجی توابع انتقالی..... ۶۵

جدول ۴-۱۲ شاخص‌های اعتبارسنجی توابع حاصل از مرحله واسنجی توابع انتقالی..... ۶۶

جدول ۴-۱۳ متغیرهای مستقل ورودی انتخاب شده در مرحله انتخاب بهترین زیرمجموعه‌ها.....۶۸

جدول ۴-۱۴ نتایج آزمون‌های معنی‌داری ضرایب رگرسیون و ضریب همبستگی در توابع

به‌دست آمده در مرحله اشتقاق توابع جدید.....۷۱

جدول ۴- ۱۵ شاخص های آماری توابع حاصل از مرحله اشتقاق توابع جدید.....۷۲

۴-۱۶ شاخص های اعتبارسنجی توابع مختلف به دست آمده از مرحله اشتقاق توابع جدید.....۷۳

فهرست علائم و اختصارات

cs	Sum of clay and silt percentage	مجموع درصد رس و سیلت
D	Bulk density	چگالی ظاهری
d_{50}	Median of particle size distribution curve	میانه منحنی دانه بندی
	Arithmetic mean	میانگین حسابی
dg	Geometric mean	میانگین هندسی
e	Void ratio	نسبت پوکی
f	Porosity	تخلخل
K_s	Saturated hydraulic conductivity	هدایت هیدرولیکی اشباع
m_{cl}	Clay fraction	نسبت رس
m_{gam}	Mean of gamma distribution	میانگین توزیع گاما
m_{sa}	Sand fraction	نسبت شن
m_{si}	Silt fraction	نسبت سیلت
PTF	Pedotransfer function	تابع انتقالی
S	Arithmetic standard deviation	انحراف معیار حسابی
sd	Geometric standard deviation	انحراف معیار هندسی
sd_{gam}	Standard deviation of gamma distribution	انحراف معیار توزیع گاما

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

هدایت هیدرولیکی اشباع[1]، که با نماد K_s نشان داده می‌شود، یکی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی خاک در طراحی پروژه‌های زهکشی می‌باشد (نوابیان و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین این پارامتر یک متغیرکلیدی در سیکل هیدرولوژی و تمام مدل‌هایی که به سیکل هیدرولوژی یا جنبه‌های آن مربوط است، بوده و جزء پارامترهای ورودی تعیین‌کننده در هر مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی جریان آب و جابجایی املاح در خاک می‌باشد (سوبیراج و همکاران، ۲۰۰۱). مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع با روش‌های صحرایی یا آزمایشگاهی، به‌صورت مستقیم قابل تعیین است؛ همچنین برای یافتن این پارامتر و سایر پارامترهای هیدرولیکی، مانند هدایت هیدرولیکی غیراشباع[2] و منحنی مشخصه آب خاک[3]، روش‌های غیر مستقیم نیز گسترش یافته‌اند (سوبیراج و همکاران، ۲۰۰۱). یکی از این روش‌های غیرمستقیم استفاده از توابع انتقالی[4] ، که با نماد PTF نشان‌داده می‌شوند، می‌باشد.

---

[1] Saturated hydraulic conductivity
[2] Unsaturated hydraulic conductivity
[3] Soil water retention curve
[4] Pedotransfer functions (PTFs)

توابع انتقالی توابعی هستند که ویژگی‌های زودیافت خاک، یعنی پارامترهایی که اندازه‌گیری آنها آسان، سریع و کم هزینه است و به طور معمول در مطالعات اولیه خاک رایج هستند را به ویژگی‌های دیریافت خاک، مانند منحنی مشخصه آب، هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع مربوط می‌کند (نوابیان وهمکاران، ۱۳۸۳). اکثر توابع انتقالی برای پیش‌بینی منحنی مشخصه آب خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع توسعه یافته-اند (لی و همکاران، ۲۰۰۷). توابع انتقالی برای پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی، از خصوصیات فیزیکی خاک مانند بافت خاک[۱]، چگالی ظاهری[۲] و میزان مواد آلی[۳] استفاده می‌کنند. اکثر PTF ها تجربی هستند (سوبیراج و همکاران، ۲۰۰۱).

از توابع انتقالی می‌توان در تخمین نقطه‌ای و پارامتری استفاده کرد. در تخمین نقطه‌ای نقاط خاصی از منحنی مشخصه آب خاک و منحنی هدایت هیدرولیکی در برابر مکش، با استفاده از خصوصیات اصلی خاک تخمین زده می‌شود. این نقاط ممکن است میزان آب در حد ظرفیت زراعی[۴] یا نقطه پژمردگی دائم[۵] و یا هدایت هیدرولیکی اشباع باشد. در تخمین پارامتری، پارامترهای مدل‌های هیدرولیکی خاک، مانند مدل ون‌گنوختن و مدل بروکس‌وکوری تخمین زده می‌شوند (مردون و همکاران، ۲۰۰۶).

۱-۲- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق

هدایت هیدرولیکی اشباع، یک خصوصیت مهم خاک بوده که برای تعیین سرعت نفوذ، رواناب، تغذیه سفره آب زیرزمینی و سایر پارامترهای هیدرولوژیکی و کشاورزی مورد نیاز می‌باشد (ایمران و همکاران، ۲۰۰۴). قوانین و فرضیه‌های جریان آب زیرزمینی حاکی از این است که فاصله بین زهکش‌ها از

[۱] Soil texture
[۲] Bulk density
[۳] Organic matter content
[۴] Field Capacity (FC)
[۵] Permanent Wilting Point (PWP)

روی ضخامت و هدایت هیدرولیکی لایه‌ها و افق‌های خاک تعیین می‌شود. در عمل برای طرح پروژه‌های زهکشی باید هدایت هیدرولیکی را برای یک منطقه تعیین کرد (بایبوردی، ۱۳۸۴) .

به علت تغییرات زیاد زمانی و مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع در مورد مطالعه در مقیاس وسیع، مانند یک حوضه، تعداد زیادی نمونه مورد نیاز خواهد بود (وستن و همکاران، ۲۰۰۱). روش‌های مستقیم تعییین K_s طاقت فرسا، پرهزینه و وقت‌گیر بوده و در عین حال نتایج آنها فقط در مقیاس همان محل قابل استفاده است (مرموت و سو، ۲۰۰۶). اهمیت و نیاز به داده‌های K_s محققان را برآن داشته است که روش‌های غیر مستقیم برای یافتن این پارامتر را گسترش دهند (سوبیراج و همکاران، ۲۰۰۱). توابع انتقالی نیز یکی از روش-های غیرمستقیم تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع می‌باشد.

۱-۳- اهداف تحقیق

هدف از این پژوهش، ارزیابی متداول‌ترین توابع انتقالی موجود برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع در منطقه مشهد و در ادامه واسنجی این توابع می‌باشد. در پایان با توجه به داده‌های برداشت شده، تابع انتقالی جدیدی جهت پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی اشباع ارائه خواهد شد.

۱-۴- مراحل تدوین

این پژوهش در پنج فصل تدوین شده است. در فصل اول پیرامون ضرورت انجام و اهداف تحقیق بحث گردید. فصل دوم شامل مبانی نظری تحقیق می‌باشد. در این فصل پیرامون هدایت هیدرولیکی اشباع و توابع انتقالی بحث شده است. فصل سوم شامل شرح مختصری از روش‌های تعیین پارامترهای مورد نیاز خاک، روش ارزیابی توابع انتقالی، روش واسنجی توابع انتقالی و روش اشتقاق توابع جدید است. فصل چهارم دربرگیرنده نتایج حاصل از آزمایش، نتایج ارزیابی توابع موجود، نتایج واسنجی این توابع، و نیز نتایج اشتقاق توابع جدید می‌باشد. فصل پنجم تحقیق شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای ادامه تحقیق می‌باشد.