دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: آب

عنوان:

بهینه سازی بهره برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیر زمینی، رویکرد برنامه ریزی غیرخطی

استاد راهنما:

دکتر سعید شعبانلو

استاد مشاور:

دکتر احمد رجبی هرسینی

پژوهشگر:

حمیدرضا پیله وری

تابستان 1390

چکیده

یک سیستم بهره برداری تلفیقی منابع آب مشتمل بر زیر سیستم آب سطحی و زیر سیستم آب زیرزمینی می‌باشد که این به منظور برآورده کردن نیازهای آبی این دو زیر سیستم با یکدیگر در تعامل می‌باشند. در این پایان نامه یک مدل شبیه ساز-بهینه ساز جهت طراحی ابعاد و همچنین ارائه سیاست بهره برداری بهینه از چنین سیستمی ارائه شده است. این مدل شامل اجزای سطحی و زیر زمینی بوده و هدف بهینه سازی، کمینه کردن هزینه کل سیستم می‌باشد. جهت بهینه سازی، از برنامه ریزی غیرخطی استفاده گردیده است. انتقالات احجام آب بین المان‌های مختلف مدل به صورت توده‌ای در نظر گرفته شده است. مدل‌های شبیه سازی درون مدل بهینه سازی قرار گرفته و تشکیل یک مدل شبیه ساز-بهینه ساز را داده اند. نتایج حل مدل نشان می‌دهد که در شرایط بهره برداری تلفیقی، رهاسازی از مخزن سد الزاماً شبیه به حالت غیر تلفیقی نخواهد بود. همچنین طراحی بهینه سطوح توسعه اجزای مدل مانند سد و چاه‌ها و همچنین دستور بهره برداری بهینه استفاده از آنها از نتایج دیگر حل مدل بوده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات طرح

1-1 بیان مسئله ۲
2-1 هدف‌های تحقیق ۲
3-1 اهمیت موضوع تحقیق و انگیزش انتخاب آن ۳
4-1 سوالات و فرضیه‌های تحقیق ۳
- سوالات تحقیق ۳
- فرضیه‌های تحقیق ۴
5-1 مدل تحقیق ۴
6-1 محدودیت‌ها و مشکلات تحقیق ۵

فصل دوم: مطالعات نظری

مقدمه
1-2 پیشینه تحقیق 7

فصل سوم: شبیه سازی

مقدمه
1-3 کلیات مدل 16
2-3 شبیه سازی مخزن سد 19
3-3 شبیه سازی آبخوان و چاه 20
4-3 شبیه سازی اندرکنش رودخانه و آبخوان 22
5-3 ارزیابی هزینه 24

فصل چهارم: بهینه سازی

مقدمه
1-4 برنامه ریزی غیرخطی 30
- تعاریف پایه 30
- بهینه سازی غیرخطی نامقید 35
- مفاهیم اساسی 35

- جستجوی تک بعدی (*One – Dimensional Search*) 38
- روش مقطع طلایی (*Golden Section Method*) 39
- روش های چند متغیره (*Multi* var *ible Methods*) 40
- بهینه سازی مقید 43
- شرایط بهینگی- ضریب لاگرانژ 43
- شرایط کان- تاکر *Kuhn – Tucher Conditions* 45
- روش گرادیان کاهشی تعمیم یافته 46
- الگوریتم عمومی و تغییرات پایه 48
- گرادیان کاهش یافته 50
- شرایط بهینگی برای روش *GRG* 52
- روش های تابع جریمه 54
- روش لاگرانژین تصویر شده 56

2-4 کد های (نرم افزار های) برنامه ریزی غیر خطی 58
- کد کامپیوتری *GRG*2 59
- کد کامپیوتری *MINOS* 59
- کد کامپیوتری *GAMS – MNOS* 60
- کد کامپیوتری *GINO* 60
- کد کامپیوتری *LINGO* 60

3-4 روش های خطی سازی توابع غیر خطی به کار رفته در مدل بهینه سازی.... 61
- خطی سازی توابع غیر خطی نوع اول 61
- خطی سازی توابع غیر خطی نوع دوم 62

فصل پنجم: مطالعه موردی

مقدمه

1-5 مسئله مورد مطالعه 66

2-5 نتایج حاصله 69

3-5 تحلیل حساسیت مدل 81
- افزایش هزینه انحراف رودخانه به منطقه نیاز 81
- افزایش افت و ظرفیت مجاز آبخوان 82
- تغییر توزیع نیاز سیستم 83
- افزایش هزینه پمپاژ و تغذیه 84

- افزایش هزینه اجرایی سد 85
- تغییر توزیع جریان ورودی به سد 86

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

مقدمه

1-6 خلاصه مطالعه انجام شده 91

2-6 نتایج حاصل از این مطالعه 92

3-6 پیشنهادات برای مطالعات آتی 93

پیوست الف : آشنایی با بسته نرم افزاری Lingo 95

پیوست ب: کد مدل توسعه داده شده 100

فهرست منابع و مآخذ 105

چکیده انگلیسی 109

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

1-4 روش های محاسبه جهت جستجو 42
1-5 مقادیر فصلی جریان ورودی، بارش، توزیع نیاز و نیاز خروجی رودخانه.... 68
2-5 ضرایب هزینه‌های بخشهای مختلف 68
3-5 حدود بالا و پایین متغیرها و پارامترهای هزینه پمپاژ 68
4-5 خلاصه نتایج حل مدل بهینه سازی 70
5-5 میانگین سالانه انتقالات بین المان‌ها 70

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

4-1 خطی سازی قطعه‌ای تابع غیر خطی هزینه‌ی سد 62
4-2 تابع $u_w^2(1,t)$ و قطعه‌های خطی آن 64
5-1 رهاسازی از سد به منطقه نیاز 74
5-2 رها سازی از سد به رودخانه 74
5-3 رهاسازی از سد به منطقه تغذیه مصنوعی 75
5-4 ذخیره مخزن سد 75
5-5 آورد رودخانه به سد 76
5-6 مجموع رهاسازی‌های سد 76
5-7 انتقال از رودخانه به منطقه نیاز 77
5-8 انتقال از رودخانه به منطقه تغذیه مصنوعی 77
5-9 انتقالات مختلف به منطقه نیاز 78
5-10 پمپاژ و تغذیه از/به چاه 78
5-11 تغییرات جریان مبادله شده بین رودخانه و آبخوان 79
5-12 نوسانات تراز آب در چاه 79
5-13 خروجی رودخانه 80
5-14 نمودار تغییرات هزینه کل سیستم در برابر تغییرات نیاز سالانه 88

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

1-3 نمای مفهمومی مدل بهره برداری تلفیقی 19
2-3 ارتباط رودخانه و آبخوان در واقعیت و شبیه‌سازی 24
1-4 مقایسه توابع مقعر و محدب درجه 2 32
2-4 نمایش نواحی محدب و غیر محدب 34
3-4 انواع توابع غیرخطی یک بعدی 36
4-4 روش مقطع طلایی 39
5-4 فرآیند تغییرات پایه 50
1-5 جانمایی اجزای سیستم در مسئله‌ی مورد بررسی 67
2-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی 71
3-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی در حالت افزایش هزینه انحراف رودخانه به منطقه نیاز 82
4-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی در حالت افزایش افت و ظرفیت مجاز آبخوان 83
5-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی در حالت تغییر توزیع نیاز سیستم..... 84
6-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی در حالت افزایش هزینه پمپاژ و تغذیه..... 85
7-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی در حالت افزایش هزینه اجرایی سد..... 86
8-5 نتیجه حل مدل بهینه سازی در حالت تغییر توزیع جریان ورودی به سد..... 87

فصل اول:

کلیات طرح

1-1- بیان مسئله

مدیریت جامع منابع آب، با تأکید بر بهره برداری مشترک یا تلفیقی از منابع آبهای سطحی و زیر زمینی، در دستور کار اغلب سازمانهای بهره برداری قرارگرفته است. در بهره برداری تلفیقی، نیاز های آبی به وسیله دو منبع سطحی و زیر زمینی تأمین می شوند. توسعه بهره برداری از آبهای زیر زمینی در مقایسه با سدسازی دارای مزایای متعددی بوده و مشکلات به مراتب کمتری دارد. برنامه ریزی مدیریتی برای استفاده تلفیقی از این دو منبع بسیار کارآمدتر از در نظر گرفتن کردن آنها به صورت جداگانه و بهره برداری غیرهماهنگ از این منابع می‌باشد. مسئله برداشت بهینه از این مخازن مختلف جهت برآورده کردن بیشینه نیازها و کمینه کردن هزینه‌های بهره برداری، مورد مطالعه اصلی این تحقیق می‌باشد به این مفهوم که در مسائل مختلف مدیریت منابع آب، مقادیر بهینه برداشت‌ها از مخازن سطحی و زیرزمینی به صورت تلفیقی را جهت برآورده کردن نیازهای آبی تعیین کنیم.

1-2- هدف‌های تحقیق

دو هدف اصلی این تحقیق، طراحی بهینه و همچنین ارائه الگوی بهره برداری بهینه جهت استفاده از اجزای مختلف یک سیستم بهره برداری تلفیقی منابع آب است. چنین سیستمی باید بتواند حجم مشخصی از نیازهای آبی سیستم را پاسخگو باشد. ملاک بهینه سازی طراحی‌ها و الگوهای بهره

برداری، کمینه کردن هزینه‌های ساخت و بهره برداری از المان‌های موجود در سیستم بهره برداری تلفیقی است.

1-3- اهمیت موضوع تحقیق و انگیزش انتخاب آن

کم توجهی به پتانسیل بالقوه ظرفیت آبخوانها، به عنوان گزینه مکمل ظرفیت مخازن سطحی، در فاز برنامه ریزی و طراحی پروژه های توسعه منابع آب سطحی، سبب شده است که با محدودتر شدن ساختگاههای مناسب سدسازی، طرح های توسعه منابع آب سطحی با مشکلات عدیده فنی-اقتصادی، و اجتماعی همراه گردد. در رودخانه های با ضریب تغییرات آبدهی بالا تأمین اعتماد پذیری مطلوب، حتی در ساختگاههای مناسب توسعه نیز به امری مشکل تبدیل شده است. چراکه تأمین قابلیت اعتماد بالا در این حوضه‌ها به سدهای با ارتفاع بسیار بلند و مخازن بسیار حجیم نیازمند خواهد بود که ممکن است به لحاظ فنی یا به لحاظ اجتماعی و اقتصادی با مشکلات متعددی همراه باشند. حال آنکه توجه به ظرفیت بالقوه آبخوانها در کنار حجم مخازن در دست طراحی، می تواند تا حد زیادی این مشکل را برطرف نماید. بهره برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به صورت بهینه می‌تواند در مدیریت عملی منابع آب حوضه‌های آبی کشور مفید واقع شده و سبب کاهش چشمگیر هزینه‌های توسعه و بهره برداری از منابع در ضمن تامین بیشینه نیاز آبی باشد.

1-4- سوالات و فرضیه‌های تحقیق

1-4-1- سوالات تحقیق

در برنامه ریزی توسعه و بهره برداری منابع آب با دیدگاه کمی، یقیناً همواره یک روند بهینه بهره برداری برای هر یک از دو منبع سطحی و زیرزمینی، از لحاظ صرفا کمی، وجود خواهد داشت. این سطح بهینه با نگرش جامع به کل سیستم (اعم از سطحی و زیرزمینی)، شناخت ارتباط بین آنها، و

بهره برداری تلفیقی بهینه از آبهای سطحی و زیرزمینی حاصل می گردد. همچنان که در اهداف تحقیق ذکر شد، به دنبال رسیدین به سطح بهینه طراحی و همچنین الگوی بهینه بهره برداری از منابع آبی موجود در یک سیستم بهره برداری تلفیقی هستیم.

1-4-2- فرضیه‌های تحقیق

در مدل‌های این تحقیق فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- رژیم جریان در سیستم، غیر ماندگار است.
- جریان رودخانه در گام های زمانی مدل نرمال بوده و رابطه مانینگ قابل استفاده است.
- جریان در محیط متخلخل تابع قانون دارسی است و فرض دوپویی- فورکهایمر معتبر است.
- رودخانه و آبخوان دارای ارتباط هیدرولیکی هستند.
- از جریان در لایه غیر اشباع آبخوان صرفنظر شده است.
- از نشت و تلفات جریان در طول سیستمهای انتقال آب صرفنظر شده است.
- سیستم تغذیه‌ی مصنوعی به آبخوان از نوع چاه‌های تحت فشار می‌باشد.
- گام زمانی مدل فصلی است.

1-5- مدل تحقیق

مدل توسعه داده شده در این تحقیق یک مدل غیرخطی شبیه سازی بهینه سازی است که جهت شبیه سازی فرآیندهای موجود در سیستم بهره برداری تلفیقی منابع آب و ارتباط آن با برنامه بهینه سازی طراحی شده است. مدل حل شده، هشت دوره‌ای بوده و شامل کلیه‌ی اجزای یک سیستم کامل از قبیل، سد، آبخوان، رودخانه و چاه پمپاژ و تغذیه مصنوعی می‌باشد. اندرکنش بین آبخوان و رودخانه در این مدل لحاظ شده است. انتقال احجام به صورت توده‌ای انجام می‌گیرد. گام زمانی مدل به صورت فصلی در نظر گرفته شده است.

1-6- محدودیت‌ها و مشکلات تحقیق

محدودیت اصلی در این مطالعه این است که صرفاً مسائل کمی منابع آب مد نظر قرار گرفته و مطالعات کیفی در شبیه سازی و بهینه سازی لحاظ نشده است.

فصل دوم:

مطالعات نظری

مقدمه

پیرامون شبیه سازی و بهینه سازی سیستم‌های مدیریت تلفیقی منابع آب مطالعات متعددی صورت گرفته است که هر کدام محدوده‌ی خاص و روشی خاص در روند تحقیق خود در پیش گرفته اند، در این فصل جمع بندی کلی ازین مطالعات ارائه می‌گردد.

2-1- پیشینه تحقیق

یکی از نخستین مطالعاتی که در زمینه بهینه سازی بهره برداری از سیستمهای تلفیقی انجام شده توسط بوراس منتشر گردیده است ***(Buras,1963)***. در این مطالعه وی سیستمی را متشکل از یک سد و یک آبخوان که مشترکاً نیاز دو ناحیه‌ی کشاورزی را تأمین می‌نمودند، مورد استفاده قرار داد و مولفه‌های تغذیه‌ی مصنوعی از سد به آبخوان را نیز در مدل خود لحاظ نمود. وی از گام زمانی سالانه و برنامه ریزی پویای احتمالاتی جهت بهینه سازی استفاده نمود.

اشت و بیتینگر یکی از نخستین مدل‌های شبیه سازی بهره برداری تلفیقی را که در آن به اندرکنش رودخانه و آبخوان، و تغذیه و تخلیه‌ی طبیعی آبخوان توجه شده بود، ارایه دادند. آنها از رابطه‌ی تحلیلی ***Glover*** برای محاسبه‌ی اندرکش بین رودخانه و آبخوان استفاده نمودند ***(Eshet and Bittinger,1965)***.

نیسوند و گرنستورم یک مدل ***Chance-Constrained*** جهت بهینه سازی بهره برداری از یک سیستم رودخانه - آبخوان ارایه نمودند ***(Neiswand and Granstorm,1971)***.

چودری و همکاران بهینه سازی بهره برداری تلفیقی از سیستم دره‌ی رودخانه‌ی ایندوس (سند) را در پاکستان مورد مطالعه قرار دادند. آنها روابط حاکم بر سیستم را با در نظر گرفتن اجزایی مانند مخازن سدها و کانال‌های آبرسانی، در قالب یک برنامه ریزی پویای قطعی ارایه نمودند *(Chaudhry et al.,1974)*

توماس مطالعه‌ی سیستم‌های بهره برداری تلفیقی را از منظر جنبه‌های حقوقی و فنی آنها، انجام داد *(Thomas, 1978)*. متعاقباً متنمایر و بورگز به کمک مدل شبیه سازی، عملکرد یک سیستم فرضی بهره برداری تلفیقی را مورد ارزیابی قرار دادند *(Lettenmarie and Burges, 1982)*. در این مطالعه آنها سیستمی را مشتمل بر یک سد، یک آبخوان و کانال‌های انتقال آب از سد به آبخوان جهت تغذیه‌ی مصنوعی و از سد به محل نیاز، در نظر گرفته و گزینه‌های مختلفی را از نظر ظرفیت مخزن سطحی، ظرفیت آبخوان، ظرفیت کانال تغذیه‌ی مصنوعی و جریان ورودی به مخزن، مورد ارزیابی قرار داده و نتایج را بصورت منحنی‌های توابع توزیع تجمعی پارامترها ارایه نمودند .

راشتون و تاملینسون شبیه سازی بهره برداری از یک سیستم سد - آبخوان را ارایه نمودند *(Rushton and Tomlinson, 1982)*. در این مطالعه آنها 5 سیاست مختلف را برای بهره برداری از سیستم ارایه دادند و نتیجه گرفتند که آبدهی در سیاستی که در آن سیستم به صورت مرکب و توام مورد بهره برداری قرار می‌گیرد، بیشتر از سایر سیاست‌ها است.

کارپنتر براساس داده‌های میدانی، اثرات بهره برداری تلفیقی از سیستم رودخانه سویر در Utah را مورد بررسی قرار داد *(Carpenter, 1987)*. وی با آنالیز داده ها، نشان داد که حجم سالانه برداشت از آبخوان رابطه‌ی معکوسی با آبدهی سالانه دارد که می‌توان آنرا با یک رابطه‌ی خطی نمایش داد. همچنین روابط مشابهی بین برداشت از آبخوان و ارتفاع آب در رودخانه و نیز تراز آب زیرزمینی ارایه نمود .

کو به بررسی انواع سیستم‌های بهره برداری تلفیقی پرداخته و آنها را به سه گروه تقسیم بندی نمود *(Coe, 1990)*. 1- انحراف از رودخانه، 2- سد و آبخوان به تنهایی و 3- سیستم کامل. که منظور

وی از سیستم کامل وجود سد، آبخوان، رودخانه و سیستم‌های انتقال آب بود. وی ضمن برشمردن مزایا و محدودیت‌های بهره برداری تلفیقی، مثال هایی از سیستم‌های واقعی امریکا ارایه نمود.

راج اونتا و همکاران یک روش چند مرحله‌ای را جهت بهینه سازی بهره برداری از یک سیستم رودخانه - آبخوان ارایه نمودند *(Raj Onta, et al., 1991)*. آنها از مدل *SDP* جهت بهینه سازی سیستم استفاده نمودند. در ادامه به کمک یک مدل شبیه سازی، عملکرد سیستم را مورد ارزیابی قرار داده و معیارهای عملکرد سیستم را محاسبه نمودند. در نهایت به کمک روش برنامه ریزی سازشی *(Compromise Programmmg)* گزینه‌های مختلف مورد بررسی را رتبه بندی نمودند.

لطیف و جیمز از یک مدل بهره برداری تلفیقی جهت بهینه سازی کشت در یک مزرعه، با در نظر گرفتن شوری ریشه‌ی گیاهان استفاده نمودند و رابطه شوری - محصول دهی را برای سیستم مورد بررسی ارایه دادند *(Latif and James, 1991)*.

اندروز و همکاران از مدل بنام *KCOM* که براساس برنامه ریزی جریان شبکه‌ای کار می‌کرد، جهت شبیه سازی تخصیص و توزیع در سیستم آب سطحی *Kern Country* در *California* استفاده نمودند *(Andrews et al., 1992)*. در این مدل مولفه‌های پمپاژ و تغذیه از آب زیرزمینی نیز دیده شده و نرم افزار حل مسئله شبکه آن *NTWFLO* بود که از الگوریتم *"Out-of-Kilter"* جهت حل مسئله استفاده می‌کرد.

فیلبریک و کیتانیدیس بهینه سازی بهره برداری از یک سیستم فرضی تلفیقی را که شامل یک سد و یک آبخوان (همراه با پمپاژ و تغذیه به آبخوان) بود، به کمک یک مدل*DP* مورد بررسی قرار دادند *(Philbrick and Kitanidi, 1998)*. آنها روابط صریحی را جهت محاسبه‌ی هزینه‌های بهره برداری از سد، پمپاژ از آبخوان، تغذیه به آبخوان و خسارت ناشی از کمبود، ارایه نمودند. به کمک مدل مذکور آنها سیاست بهره برداری سالانه از سیستم را همراه با توسعه‌ی ظرفیت بهینه‌ی آن ارایه دادند.

پولیدو پتانسیل بهره برداری تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را در سیستم آبرسانی جنوب کالیفرنیا مورد بررسی قرار داد *(Pulido, 2003)*. در این مطالعه وی از یک مدل جامع بنام

CALVIN که در دانشگاه کالیفرنیا (دیویس) توسعه یافته بود، استفاده نمود. این مدل از یک موتور بهینه سازی مرکزی بنام *HEC-PRM* که توسط رسته مهندسی ارتش امریکا تهیه شده، استفاده می‌نماید. الگوریتم بهینه سازی در مدل مذکور، برنامه ریزی جریان در شبکه است. به عبارتی مدل *CALVIN* از بسیاری جهات شبیه *KCOM(Andrews, et al. 1992)* می‌باشد.

سیاکات و فاکس مطالعه‌ای را در زمینه‌ی بهره‌ی برداری تلفیقی از آب‌های سطحی و زیرزمینی، جهت تامین نیاز شهری در جاکارتای اندونزی انجام دادند *(Syaukat and Fox, 2004)*. تأکید آنها در این مطالعه بر مؤلفه‌های سیستم آب شهری از قبیل شبکه‌ی توزیع، پمپ ها، تصفیه خانه و... بود.

نخستین مدل پارامتر گسترده‌ی بهینه سازی بهره برداری تلفیقی، توسط بردهوف و یانگ منتشر گردید *(Bredehoeft and Young,1970 ; Young and Bredehoeft, 1972)*. در این مطالعه آنها بهینه سازی بهره برداری از یک سیستم رودخانه - آبخوان را مورد توجه قرار دادند و از تکنیک شبیه سازی - بهینه سازی جهت رسیدن به حل بهینه استفاده نمودند. آنها مطالعه‌ی خود را در سال‌های بعد با هدف در نظر گرفتن ریسک تکمیل نمودند *(Bredehoeft and Young, 1983)* .

مادوک روش ماتریس پاسخ واحد را جهت بهینه سازی پارامتر توزیعی بهره برداری از یک آبخوان توسعه داد *(Maddock, 1972)*. این روش قبلاً در بهینه سازی حوضه‌های نفتی مورد استفاده قرار گرفته بود *(Lee and Aronovski ,1958)* . وی از عبارت *Algebraic Technological Function* برای ضرایب پاسخ استفاده کرد زیرا این ضرایب را از روش تحلیلی انتگرال تابع گرین بدست می‌آورد. وی این روش را برای سیستم‌های رودخانه - آبخوان و نیز برای آبخوان‌های آزاد (که قابلیت گذر دهی T با زمان تغییر می‌یابد) تعمیم داد *(Maddock, 1974a,b)*.

موول سیتو و دالی روش ماتریس پاسخ واحد را بگونه ساده تری برای سیستم‌های رودخانه – آبخوان ارایه دادند *(Morel-Seytoux, 1975; Morel-Seytoux and Dally, 1975)* . آنها از تابع دلتای دیراک جهت بدست آوردن ضرایب پاسخ استفاده نموده و آنها را کرنلهای گسسته *(Discrete Kernels)* نامیدند. همچنین ایلانگاسکار و مورل سیتو این روش را جهت در نظر گرفتن شرایط مختلف مرزی و اولیه تکمیل نمودند *(Illangasekare and Morel-Seytoux, 1982,*

(1984,1986). آنها همچنین رابطه‌ای را برای محاسبه‌ی قابلیت گذردهی *(Conductance)* بازه‌های رودخانه ارایه دادند که تابعی از مشخصات آن بازه‌ی رودخانه و گذردهی *(Transmissivity)* در کف رودخانه می‌باشد. از این رابطه در محاسبه‌ی میزان تبادل جریان بین رودخانه و آبخوان استفاده می‌شود.

مک دونالد و هاربو نخستین ویرایش از یک مدل*MODFLOW* را که یک مدل سه بعدی جهت شبیه سازی پارامتر گسترده‌ی سیستم‌های آب زیر زمینی و اندرکنش آنها با آب‌های سطحی می‌باشد، ارائه نمودند *(McDonnald and Hrrbough, 1988)*.

هنتوش و مارینو از یک مدل *Chance-Constrained*، جهت مدیریت بهره برداری از یک سیستم رودخانه - آبخوان براساس روابط تحلیلی، استفاده نمودند *(Hantush and Marino, 1989)*. کار آنها شبیه کار نیسوند و گرانستورم (1971) بود که بصورت پارامتر توزیعی ارائه شد. آنها مدل مذکور را برای سیستمی مشتمل بر 3 چاه در مجاورت یک رودخانه بکار گرفتند.

ماتسوکاوا و همکاران یک مدل بهینه سازی جهت بهره برداری از یک سیستم سد – رودخانه - آبخوان با گام زمانی روزانه، با تاکید بر اهمیت تغییرات روزانه‌ی تراز آب رودخانه ارایه دادند *(Matsukawa, et al., 1992)*. آنها جهت محاسبه‌ی تراز آب رودخانه از فرم تغییر یافته‌ی معادله‌ی مانینگ استفاده نمودند.

یان و اسمیت شبیه سازی جامع سیستم‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند و فرمول بندی مدل را ارایه کردند *(Yan and Smith, 1994)*. همچنین روابطی را جهت محاسبه‌ی مؤلفه‌های مختلفی از قبیل نفوذ، جریان سطحی، تبخیر و تعرق، تغذیه‌ی باران و . . . ارایه دادند. آنها جهت شبیه سازی سیستم آب زیرزمینی مدل *MODFLOW* را پیشنهاد نمودند.

ونگ و همکاران یک مدل شبیه سازی پارامتر گسترده‌ی کمی – کیفی، جهت شبیه سازی بهره برداری تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی دره‌ی *San Jacinto* کالیفرنیا، ارایه دادند *(Wang et al.,*