

# تهیه نرم افزار تحلیل هیدرولیکی شبکه های آبرسانی حلقوی به روش تئوری خطی

غلامرضا قائینی\* (M.Sc)

دانشگاه علوم پزشکی سمنان، دانشکده بهداشت دامغان، گروه بهداشت محیط

## چکیده

سابقه و هدف: تحلیل شبکه های حلقوی آب به حل همزمان تعدادی از معادلات غیرخطی و خطی منجر می گردد. روش صریح و مستقیمی برای حل معادلات غیرخطی وجود ندارد لذا بایستی از روش های تکرار استفاده نمود. هدف از این پژوهش تهیه نرم افزار تحلیل شبکه های آبرسانی حلقوی به روش تئوری خطی می باشد. مواد و روش ها: نرم افزار به زبان دلفی نوشته شده که روند مراحل محاسبات عبارت است از: ۱- تشکیل معادلات خطی مستقل دبی در گره های شبکه ۲- تشکیل معادلات خطی تقریبی افت هد در حلقه های شبکه ۳- حل همزمان مجموع معادلات خطی و معادلات خطی تقریبی ۴- تشکیل مجدد معادلات خطی افت با تقریب نزدیک تر به کمک نتایج حل معادلات ۵- تکرار مرحله سوم و چهارم تا تثبیت مقادیر نتایج حل معادلات. یافته ها: این نرم افزار قادر است شبکه هایی با مشخصات زیر را حل نماید: ۱- از نظر تعداد حلقه های شبکه آبرسانی محدودیتی ندارد ۲- شبکه های حلقوی دارای چند منبع تغذیه ۳- شبکه های دارای پمپ جهت افزایش انرژی پتانسیل. نتیجه گیری: چند شبکه با مشخصات متفاوت از قبیل تعداد حلقه های تشکیل دهنده شبکه، شبکه های با چند منبع تغذیه و شبکه های دارای پمپ با نرم افزار مربوطه و به روش هاردی کراس تحلیل گردید و نتایج مشابه به دست آمده گواه درستی کارکرد نرم افزار بوده است. نرم افزار قادر به حل شبکه های دارای شیر فشارشکن و یک طرفه نمی باشد که می توان به تکمیل نرم افزار در آینده پرداخت.

واژه های کلیدی: شبکه های حلقوی، تئوری خطی، نرم افزار، افت هد

## مقدمه

تحلیل شبکه های حلقوی آب به حل همزمان تعدادی از معادلات غیرخطی و خطی منجر می گردد. روش صریح و مستقیمی برای حل معادلات غیرخطی وجود ندارد لذا بایستی از روش های تکرار استفاده نمود. روش های تکرار با حجم زیاد محاسبات همراه است که استفاده از نرم افزارهای رایانه ای جهت کاهش زمان محاسبات و افزایش دقت را توجیه می نماید. نرم افزار Loop در تحلیل شبکه های آبرسانی

توسط بانک جهانی طراحی گردیده است [۱] که به طراحی بهینه و اقتصادی شبکه به روش نیوتن رافسون (Newton Raphson method) پرداخته است. این نرم افزار تحت داس بوده و علاوه بر داده های شبکه مورد طراحی، نیاز به داده های برآورد بهای اجزای شبکه را نیز دارد. در این تحقیق نرم افزار طراحی شده تحت ویندوز بوده و نیاز به داده های برآورد بها نداشته و بر اساس تئوری خطی (Linear theory method) به تحلیل شبکه می پردازد [۲].

## مواد و روش‌ها

نرم‌افزار به وسیله زبان برنامه‌نویسی دلفی نوشته شده است [۳] که روند محاسبات توسط نرم‌افزار به شرح زیر است:

گام اول: تعیین میزان افت انرژی به ازای دبی عبوری از لوله‌های شبکه به روش دارسی- وایسباخ (Darcy-Wisbach) [۴].

گام دوم: تشکیل معادلات خطی تقریبی افت انرژی بر حسب دبی عبوری از لوله‌های شبکه.

گام سوم: تشکیل معادلات تقریبی خطی افت انرژی بر حسب دبی برای حلقه‌های حقیقی و مجازی شبکه.

گام چهارم: تشکیل معادلات خطی مستقل دبی در گره‌های شبکه.

گام پنجم: محاسبه دبی خطوط شبکه با حل هم‌زمان معادلات خطی گام سوم و چهارم به روش حذفی گوس [۵].

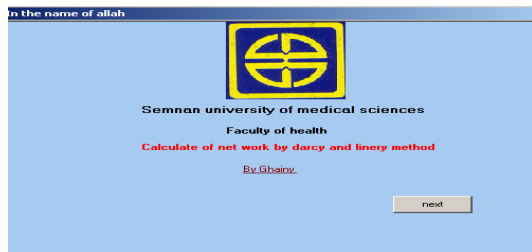
گام ششم: استفاده از دبی‌های محاسبه شده گام پنجم در گام اول و تکرار گام‌های بعدی به ترتیب.

با اجرای هر دوره‌ی گام‌ها معادلات تقریبی به معادلات حقیقی نزدیک‌تر شده و دبی‌ها به سمت دبی جواب میل می‌نمایند. معادلات گام چهارم ثابت بوده و مستقل از دبی‌های محاسباتی در گام‌ها می‌باشد.

## نتایج

نرم‌افزار را از سایت [www.ab-fa.com](http://www.ab-fa.com) دریافت نموده و بر روی رایانه ذخیره نمائید، شاخه‌ی net را باز کرده و set up

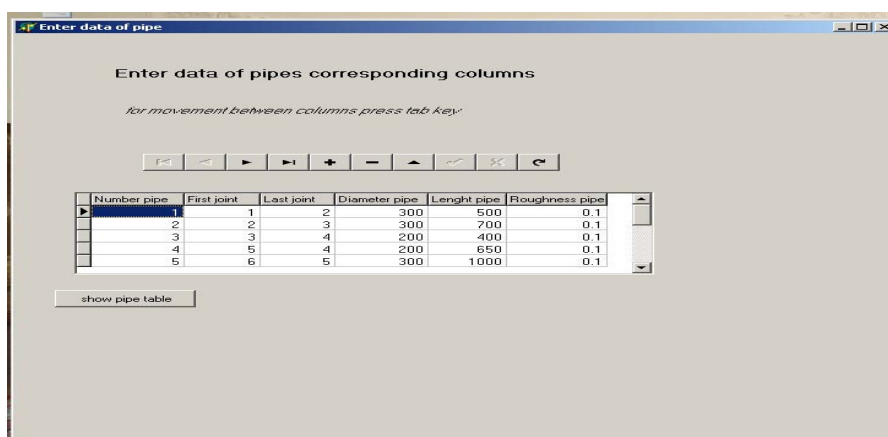
را اجرا کنید تا برنامه موتورهای جستجوگر data base را فعال نموده [۶] و محل داده‌های شبکه را به نرم‌افزار معرفی نماید. برنامه در درایو c:\net work قرار گرفته و با اجرای proj-t شکل ۱ به نمایش در خواهد آمد.



شکل ۱. پنجره ی اول برنامه که مشخصات کلی برنامه در آن درج شده است

با فشردن کلید next پنجره بعد برنامه با عنوان Enter data of pipe شکل ۲ باز شده، در این پنجره کاربر مشخصات لوله‌های تشکیل‌دهنده‌ی شبکه را وارد نموده که عبارتند از: شماره‌ی لوله، شماره‌ی گره ابتدا، شماره‌ی گره انتها، قطر داخلی لوله بر حسب میلی‌متر، طول لوله بر حسب متر و زبری لوله بر حسب میلی‌متر.

از کلیدهای نشان داده شده در بالای جدول شکل ۲ می‌توان برای ویرایش جدول داده‌های خطوط شبکه استفاده نمود. با فشردن کلید show pipe table مشخصات لوله‌ها توسط برنامه خوانده شده و با فشردن دکمه next به پنجره‌ی با عنوان data of pipe شکل ۳ وارد شده و با فشردن دکمه calculate of pipe مشخصات کامل جریان در لوله‌ها نمایش داده می‌شود



شکل ۲. محل ورود اطلاعات مربوط به مشخصات لوله های شبکه

rumpipe	first joint	last joint	diameter pipe	length pipe	rough pipe	discharge	area	velocit	Modified R	coeff pipe	head loss	R pipe
1	1	2	0.30	150.00	0.0001	0.00000	0.0707	0.0000	111.904	0.000000	0.000	0.000
2	2	3	0.25	370.00	0.0001	0.00000	0.0491	0.0000	670.764	0.000000	0.000	0.000
3	3	4	0.10	150.00	0.0001	0.00000	0.0079	0.0000	23573.666	0.000000	0.000	0.000

Does network have any pump?

شکل ۳. پنجره ی مربوط به داده های خطوط شبکه و محاسبه سرعت و افت ناشی از جریان در خطوط لوله ها و محاسبه ثابت مقاومت اصلاح شده خطوط لوله ها

سپس برنامه وجود پمپ در شبکه را جویا شده در صورت نبود پمپ در شبکه دکمه NO فشرده شده و در غیر این صورت با فشردن دکمه Yes به پنجره ی با عنوان Data of pump شکل ۴ وارد شده، در این پنجره شماره ی پمپ را وارد نموده و نقاط کارکرد آن را وارد نموده تا معادله هد-دبی پمپ به صورت  $h_p = H_0 - R_p Q_p^2$  توسط برنامه محاسبه گردد [۵] و یا به طور مستقیم معادله پمپ را وارد نمایید.

پس از اتمام داده های پمپ ها، پنجره ی با عنوان joints and Loops form of شکل ۵ نمایش داده شده که محل ورود داده های گره ها و حلقه های شبکه است.

نحوه ی ورود داده های گره ها: در ستون اول شماره ی گره و در ستون بعد حرف J جهت تمایز گره از حلقه وارد شده در ستون Exit discharge or HQ مقدار دبی جریان خروجی از گره وارد شده که اگر جریان خارجی مصرف باشد مقدار دبی مثبت و اگر جریان تغذیه یا ورودی به گره باشد مقدار دبی منفی وارد شود.

این مشخصات شامل شماره ی خط، شماره ی گره ابتدا، شماره ی گره انتها، قطر داخلی خط لوله بر حسب متر، طول خط بر حسب متر، زبری لوله بر حسب متر، دبی عبوری از لوله بر حسب مترمکعب بر ثانیه، سطح مقطع داخلی لوله بر حسب مترمربع، سرعت آب در لوله بر حسب متر بر ثانیه، Modified R ثابت مقاومت اصلاح شده، مقدار coeff pipe ضریب اصطکاک بوده، که تابعی از عدد رینولز و زبری لوله است،  $H_{Lx}$  مقدار افت ناشی از جریان  $Q_x$  لوله می باشد که توسط فرمول دارسی- وایسباخ، بر حسب متر محاسبه شده است. در معادله توانی (exponential equation)  $H_L = R Q_x^n$ ،  $R$  ثابت مقاومت لوله و  $n$  توان  $Q_x$  عبوری از لوله محاسبه گردیده است [۷].

در مرحله اول محاسبات، مقدار دبی برای خطوط لوله صفر فرض شده و ثابت مقاومت اصلاح شده  $R'$  از معادله هیزن- ویلیامز (Hezen-Williams) گرفته شده است. که مقدار ضریب هیزن ویلیامز Chw برابر با ۱۰۰ لحاظ شده است [۲].

please Enter number of points:

H value:  Q value:


Please enter component of equation pump,  $H_0$ ,  $R_0$ , respectively, then press Enter Key.

$H_0 =$    $R_0 =$

شکل ۴. ورود نقاط کارکرد پمپ ها و محاسبه معادله ی هد- دبی پمپ توسط برنامه و یا ورود معادله پمپ ها بصورت مستقیم

Number of joint	Joint or loop	Exit discharge or HQ	Type of pump	Pump in line	Num1	Num2	Num3	Num4	Num5	Num6	Num7	Num8	Num9	Num10	Num11
2	j	30	0	0	1	-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	j	80	0	0	6	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	j	20	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	j	70	0	0	5	8	-4	0	0	0	0	0	0	0	0
6	j	20	0	0	-6	-5	7	0	0	0	0	0	0	0	0

شکل ۵. پنجره مربوط به ورود اطلاعات گره ها و حلقه های حقیقی و مجازی

فشردن دکمه matrix ماتریس ضرائب معادلات خطی گره‌ها و معادلات خطی تقریبی حلقه‌ها به نمایش در آمده و با فشردن کلید solve ماتریس حل شده و دبی تقریبی خطوط نمایش داده می‌شود. با فشردن کلید first به ابتدای برنامه رفته، و برنامه با توجه به دبی‌های تقریبی، تقریب نزدیک‌تری برای معادلات تقریبی افت در حلقه‌ها تشکیل داده که با تکرار مراحل اجرا، دبی تقریبی خطوط به سمت دبی جواب میل می‌نماید.

num 1	num 2	num 3	num 4	num 5	num 6	num 7	num 8	discharge or
1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.03
0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	1.00	0.05
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.06
373.01	0.00	0.00	0.00	0.00	-447.62	-165.40	596.82	0.00
0.00	522.22	2149.71	-3493.28	-746.03	0.00	0.00	-596.82	0.00

شکل ۶. ماتریس ضرائب بدست آمده از معادلات پیوستگی گره ها و افت ناشی از جریان در حلقه های حقیقی و مجازی

## بحث و نتیجه گیری

چند شبکه با مشخصات متفاوت از قبیل تعداد حلقه‌های تشکیل دهنده شبکه، شبکه‌های با چند منبع تغذیه و شبکه‌های دارای پمپ با نرم‌افزار مربوطه و به روش هاردی کراس تحلیل گردید و نتایج مشابه به دست آمده گواه درستی کارکرد نرم‌افزار بوده است.

مقایسه این نرم‌افزار با Loop عبارت است:

مقدار صفر برای ستون‌های type of pump و pump in line وارد شود. ستون‌های num1, num2, ..., اختصاص به شماره‌ی لوله‌های مربوط به گره داشته که اگر جریان لوله به سمت گره باشد شماره‌ی لوله مثبت و در غیر این صورت شماره‌ی لوله منفی وارد شود.

نحوه‌ی ورود داده‌های حلقه‌ها: مشخصات حلقه‌ها پس از ورود مشخصات گره‌ها وارد شده و در ستون اول شماره‌ی حلقه که متمایز از شماره‌ی گره‌ها است وارد شده و در ستون بعد حرف L جهت تمایز حلقه از گره وارد شده، مجموع افت لوله‌ها در حلقه‌های اصلی برابر صفر است پس مقدار ستون Exit discharge or HQ برای حلقه‌های اصلی صفر وارد شده و برای حلقه‌های مجازی این مقدار برابر با تفاضل بین هد ارتفاعی چشمه‌های تشکیل دهنده‌ی حلقه مجازی می‌باشد.

جهت جریان در لوله‌های حلقه اگر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت باشد، مثبت و بر خلاف آن را منفی در نظر گرفته، شماره‌ی لوله‌های تشکیل دهنده‌ی حلقه را در ستون‌های Num1, Num2, ..., با در نظر گرفتن جهت جریان وارد نموده، اگر پمپ در حلقه وجود داشته شماره‌ی خطی که پمپ را شامل شده در ستون Pump in line با در نظر گرفتن جهت جریان وارد نموده و نوع پمپ را در ستون type of pump وارد نمائید.

در ادامه پس از ورود داده‌های گره‌ها و حلقه‌ها با فشردن کلید show data joints and Loops داده‌ها به برنامه وارد شده و با فشردن دکمه next به پنجره‌ی بعدی با عنوان solve of linear equation "شکل ۶" وارد شده که با

داده های نرم افزار به صورت Data base قابل ذخیره و بازیابی بوده ولی در نرم افزار Loop فایل داده ها به صورت فایل متنی قابل دسترسی می باشد.

در آینده می توان به تکمیل نرم افزار و رفع نواقص ذکر شده پرداخت به طور مثال با افزودن مشخصات هندسی کامل تر شبکه ها به بخش داده های نرم افزار و با افزودن فایل های گرافیکی دلفی به نرم افزار، امکان تحلیل شبکه های دارای شیر فشارشکن و رسم خطوط هیدرولیک شبکه توسط نرم افزار میسر می گردد.

### تشکر و قدردانی

این پژوهش به عنوان طرح تحقیقاتی، از سوی شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سمنان تصویب و از حمایت مالی آن دانشگاه برخوردار بوده است، بدین وسیله از مسئولان ذیربط قدردانی به عمل می آید.

### منابع

- [1] Hamid Khani A, Translator. A Computer Program for Design of Looped Water Distribution Networks. ModaK P and Dhoondia J, 2nd ed., Publications Center university books 1376; 13-94.
- [2] Taebi A, Chamani MR, Water Distribution System. 2nd ed., Publications Center of Isfahan University of Technology 2005; 320 - 355, 41 - 44.
- [3] Hladni E, Inside Delphi 2006, 1st ed. U.S.A., Word ware Publishing, 2006
- [4] Giles RV, Evett JB, and Liu C. Fluid Mechanics and Hydraulics, 3rd ed. U. S. A., McGraw - Hill 1995; 340, 346.
- [5] Shampine LF, Allen RC, Pruess S, Fundamentals of Numerical Computing. 1st ed. New York: John Wiley & Sons 1997; 160 - 163, 32- 44.
- [6] Macro Cunta, Delphi's Database Architecture, 3rd ed. Alameda California: Sybex 2001; 529 - 599.
- [7] Alizadeh A, Naghibzadeh M, and Jooshesh J. Translators. Analysis of flow in pipe networks. Jepson RW, 4th ed., Imam Reza University 1375; 66 - 68.

الف- مزایا. نرم افزار به روش تئوری خطی به تحلیل شبکه پرداخته که این روش به مقدار اولیه نیاز نداشته ولی نرم افزار Loop به روش نیوتن-رافسون به تحلیل شبکه می پردازد. که نیاز به مقدار اولیه برای شروع تحلیل دارد.

این نرم افزار در محیط ویندوز طراحی شده و ارتباط آن با کاربر راحت تر صورت گرفته است در صورتی که نرم افزار Loop تحت داس بوده و در ویندوز ویستا قابل اجرا نمی باشد.

نرم افزار بر اساس داده های دینامیکی طراحی شده و از نظر تعداد شاخه و گره در شبکه دارای محدودیت نبوده ولی نرم افزار Loop قابلیت حل شبکه ای با حداکثر ۱۰۰۰ لوله و ۷۵۰ گره را دارد.

نرم افزار نیاز به برآورد قیمت ها نداشته و با اتمام ورود داده های هیدرولیکی و هندسی شبکه به تحلیل می پردازد در صورتی که نرم افزار Loop بدون داده های برآورد قیمت اجزای شبکه قادر به تحلیل شبکه نمی باشد.

راهبری این نرم افزار ساده بوده ولی نرم افزار Loop دارای منوی راهبری گسترده و طولانی می باشد لذا استفاده از این نرم افزار در درس انتقال و توزیع آب بر اساس تئوری های ارائه شده آسان تر است.

ب- معایب. نرم افزار قادر به تحلیل شیرهای فشارشکن و یک طرفه در شبکه نمی باشد. که نرم افزار Loop قادر به تحلیل شبکه های با شیر فشارشکن و یک طرفه می باشد.

نرم افزار قادر به رسم خطوط هیدرولیک در شبکه نبوده ولی نرم افزار Loop قادر به رسم خطوط هیدرولیک شبکه می باشد.



# Design of a software tool for analyzing water looped networks by linear theory

Gholamreza Ghainy (M.Sc)\*

*School of Health, Semnan University of Medical Sciences, Damghan, Iran*

(Received: 8 Mar 2009    Accepted: 23 Jun 2009)

**Introduction:** Analyzing water looped networks lead to spontaneous solving of some linear and non-linear equations. So repeating methods must be used. The goal of this study was to design a software tool for analyzing water looped networks by linear theory.

**Materials and Methods:** The software has been written in Delphi programming language and process of calculation is as following: (1) forming independent linear equations of discharge in nodes of network, (2) forming approximate linear equations head loss in network loops, (3) simultaneous solving of total linear equations and approximate linear equations, (4) repeated forming linear head loss with closer approximate by result of solving equations, and (5) repeating stage three and four till stabilization results quantity of solving equations.

**Results:** This software is able to solve the network with following specifications: (1) it doesn't have any limitation in view point of the number of water network loops, (2) the looped networks consisting some sources, and (3) the networks containing pumps for increasing potential energy.

**Conclusion:** Some networks with different characteristics such as the number of loops forming network, network with some sources and the networks containing pumps were analyzed by this software with hardy - cross methods and same results were obtained that these results are the evidence for proper work of this software. This software is not able to solve the networks containing pressure relief valves and checks valves and can get complicated in future.

**Keywords:** Looped networks, Linear theory, Software, Head loss

---

\* Fax: +98 232 5239778; Tel: +98 232 5250914

ghainy@sem-ums.ac.ir