



**انجمن تونل ایران**

**کارگروه فضاهای زیرزمینی و محیط زیست**

**معرفی روشی تجربی برای ارزیابی اثرات تونلسازی  
بر منابع آب منطقه**

**دکتر جعفر حسن پور**

**مهندس اشکان لطفی پور**

**دکتر مسعود مرسلی**

**مرداد ۹۷**

۱. مقدمه

۲. مروری بر روش‌های توسعه داده شده

۳. روش دیماتیس و نواقص آن (مروری بر نسخه‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۷)

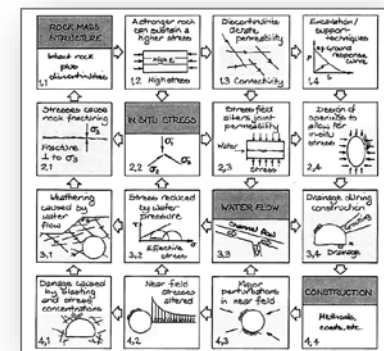
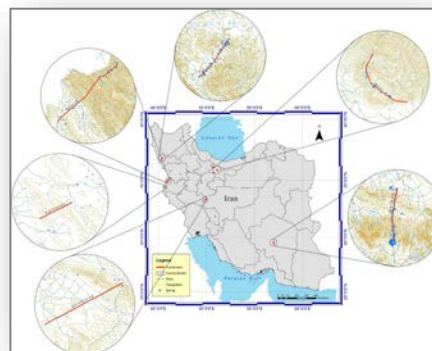
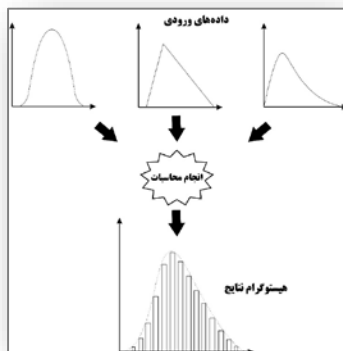
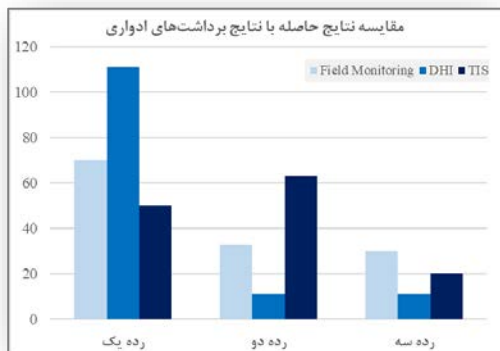
۴. معرفی پروژه‌ها و چشمه‌های جمع‌آوری شده در پایگاه داده

۵. تحلیل آماری اطلاعات جمع‌آوری شده

۶. تخمین حجم آب ورودی به داخل تونل و توسعه یک نرم‌افزار احتمالاتی

۷. بررسی کارکرد روش دیماتیس

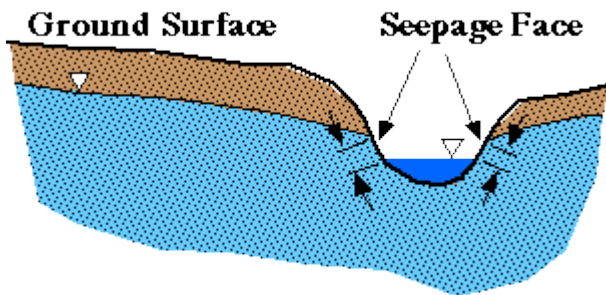
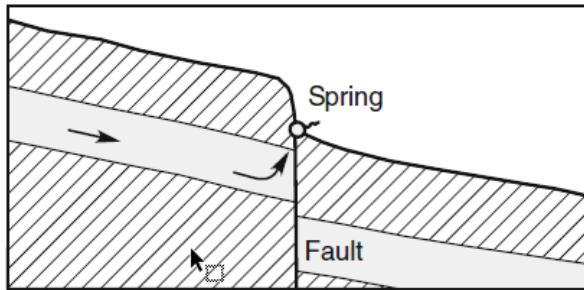
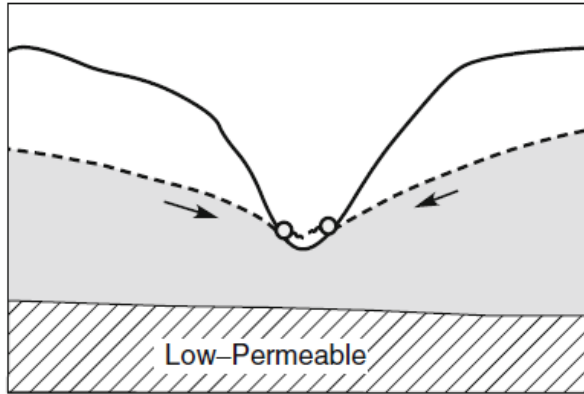
۸. توسعه یک متدولوژی و یک شاخص جدید برای بررسی پیامدهای حفاری تونل بر روی چشمه‌های منطقه





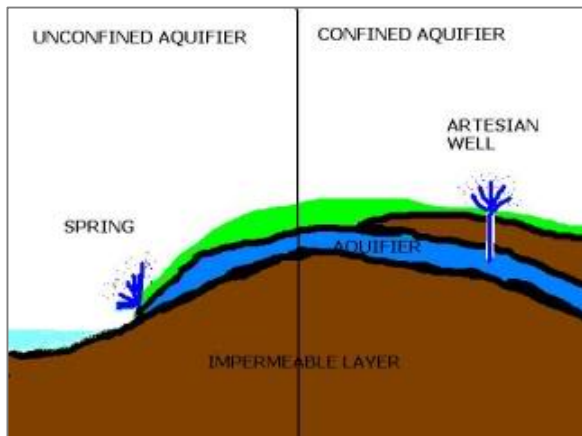
- در سال‌های گذشته حفاظت از محیط زیست به یکی از دغدغه‌های اصلی جوامع بشری تبدیل شده است.
- این نگرانی زیست‌محیطی باعث شده است تا دولت‌ها، سازمان‌ها و مجامع بین‌المللی به تدوین قوانین، استانداردها و راهنماهای مختلفی برای جلوگیری از تخریب محیط زیست دست بزنند.
- سازه‌های زیر زمینی در مرحله ساخت و ساز پیامدهای زیست‌محیطی خاص خود را دارند که باید به آنها پرداخته شود.
- یکی از مهم‌ترین این پیامدهای زیست‌محیطی، تأثیر منفی تونلسازی بر منابع آب منطقه مانند چشمه‌ها، چاه‌ها و قنوات است.
- در صورت عدم توجه آن، در حین اجرا و بهره‌برداری از تونل، معضلات و نارضایت‌های اجتماعی اتفاق می‌افتد که گاهی اجرای پروژه‌ها را با مشکل و حتی توقف کامل روبرو می‌سازد.
- این پدیده‌ها دارای ارتباط تنگاتنگ با ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی منطقه ساخت تونل هستند و از اینرو بایستی با تکیه بر دانش زمین‌شناسی مهندسی صورت پذیرد.





چشمه نقطه‌ای در سطح زمین است که آب زیرزمینی از آبخوان خارج می‌شود و یک جریان مشخص ایجاد می‌کند.

به خروج آب زیرزمینی زمانی که جریان به خوبی مشخص نباشد اما سطح زمین نسبت به اطراف خیس باشد، نشتاب می‌گویند. نشتاب معمولاً اسمی است که به جریان‌های غیرمتمرکز آب از سطح رسوبات سخت نشده مانند ماسه و شن اطلاق می‌شود.



۱. چشمه‌های ثقیلی از آبخوان‌های آزاد

۲. چشمه‌های آرتزین از آبخوان‌های تحت فشار

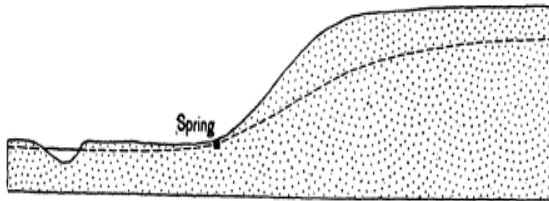
طبقه‌بندی منزر (۱۹۲۷)

مینزر چشمه‌ها را بر اساس آبدهی آنها به ۸ دسته طبقه‌بندی کرد.

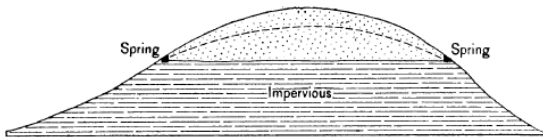
آبدهی چشمه	رده
۱۰ متر مکعب در ثانیه و یا بیشتر	اول
۱ تا ۱۰ متر مکعب در ثانیه	دوم
۱/۰ تا ۱ متر مکعب در ثانیه	سوم
۱۰ تا ۱۰۰ لیتر در ثانیه	چهارم
۱ تا ۱۰ لیتر در ثانیه	پنجم
۱/۰ تا ۱ لیتر در ثانیه	ششم
۱۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب در ثانیه	هفتم
کمتر از ۱۰ سانتی‌متر مکعب در ثانیه	هشتم

طبقه‌بندی برایان (۱۹۱۹)

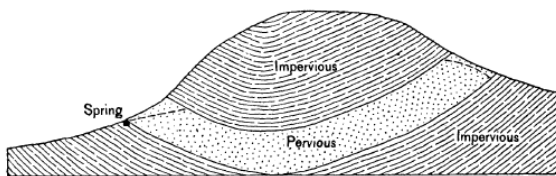
چشمه‌ها را از نظر منشأ به دو گروه چشمه‌های عمیق و چشمه‌های سطحی تقسیم‌بندی کرد.



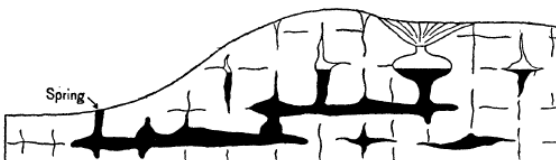
(الف) چشمه‌های دپرشن (Depression)



(ب) چشمه‌های تماسی

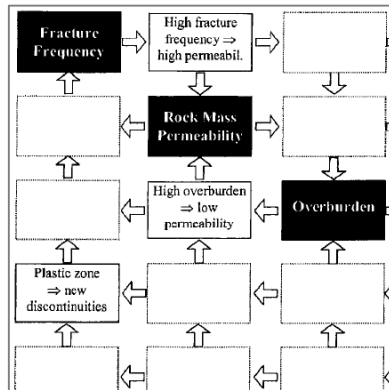
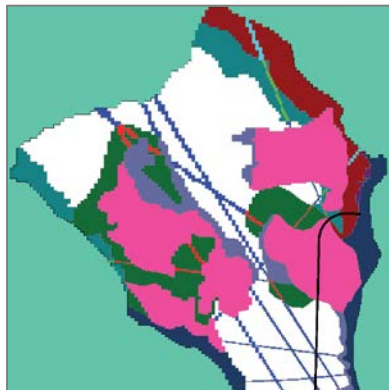
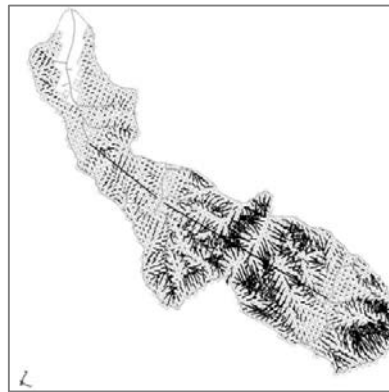
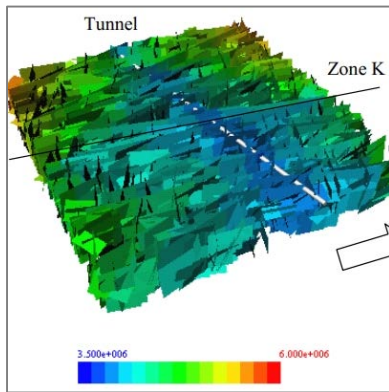


(ج) چشمه‌های آرتزین



(د) چشمه‌های قرار گرفته در سنگ‌های نفوذ ناپذیر

در دهه‌های اخیر، مطالعات هیدروژئولوژی در مورد طراحی و ساخت سازه‌های زیرسطحی بزرگ، نظیر تونل‌ها، به طور عمده بر روی روش‌های کنترل جریان آب زیرزمینی در طول حفاری تمرکز نموده‌اند.



۱. گزارش سازمان راه نروژ (۲۰۰۳)

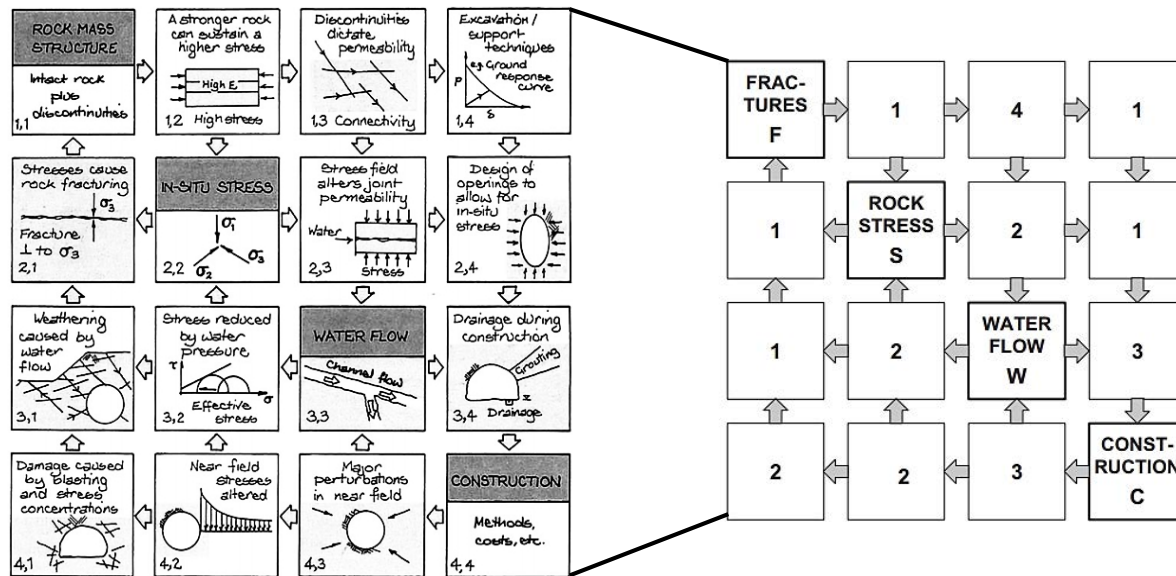
۲. مطالعات یانگ و همکاران (۲۰۰۹)

۳. مطالعات پارامتریک وینچنزی (۲۰۱۰)

۴. روش فازی یو و همکاران (۲۰۱۵)

۵. روش دیماتیس (۲۰۰۱)

- سیستم مهندسی سنگ با مطالعه مسئله و تحلیل متغیرهای آن به تهیه یک مدل برای حل آن مسئله می پردازد.
- ابزار اصلی این روش ماتریس اندرکنش است.
- به دلیل خاصیت علت و معلولی این اندرکنش ها، سیستم حالت دینامیک دارد.



روش های کدگذاری:

(الف) دوتایی

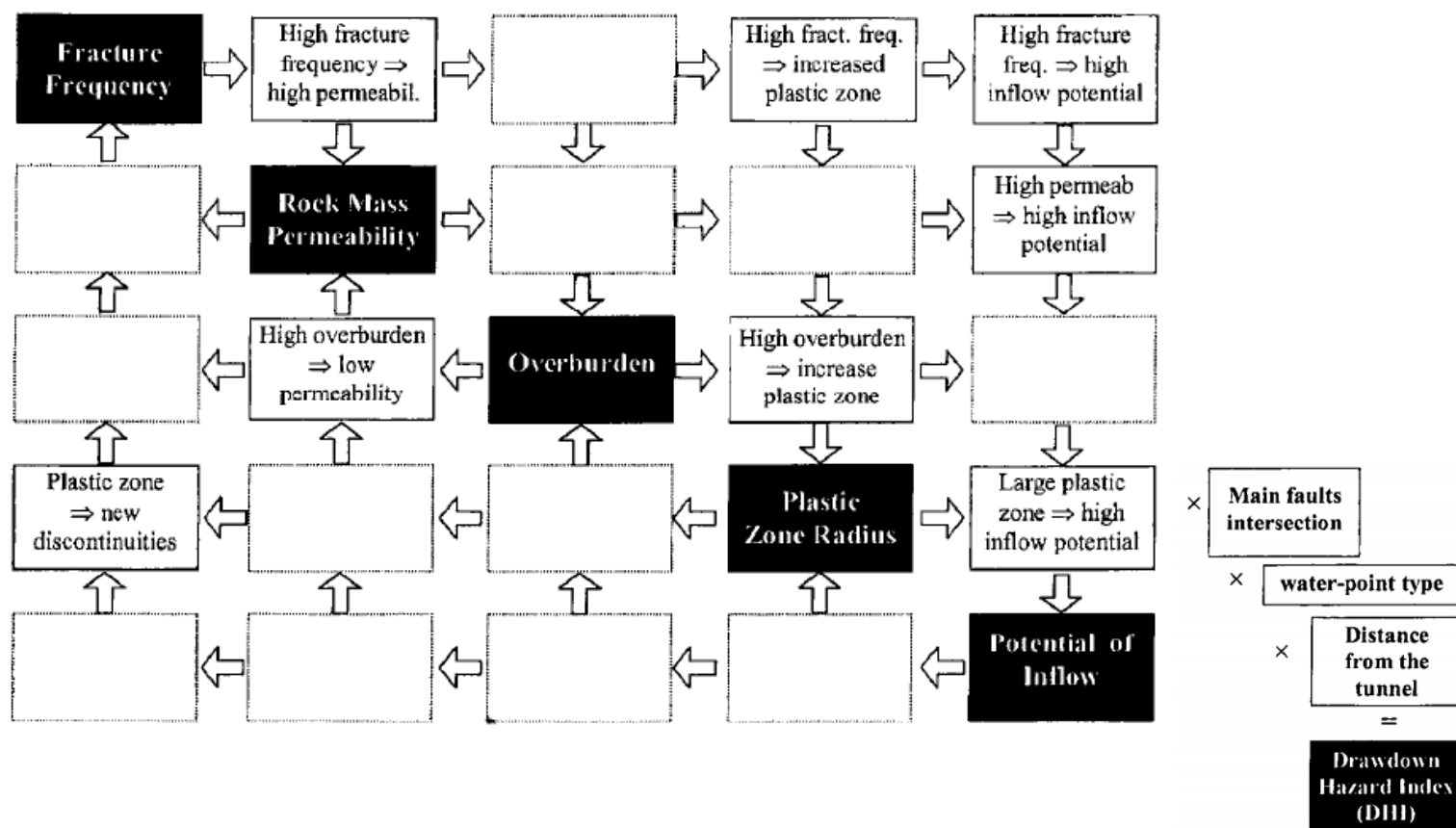
(ب) حرفه ای نیمه کمی

(ج) بر اساس شیب یک رابطه خطی

(د) بر اساس روش های عددی

(ه) اختصاصا بر اساس آنالیز عددی

دیماتیس سیستم تونل-آبخوان را با تعدادی متغیر تعریف کرد. دیماتیس برای حل این موضوع ماتریس اندرکنش پنج در پنجی را تعریف کرد که شامل پنج متغیر اصلی می‌شود.





## ۳. روش دیماتیس و نواقص آن (مروری بر نسخه‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵)

شاخص خطر افت آبدهی ۲۰۰۱

$$PI = \frac{(41 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ)}{100}$$

$$DHI = (41 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ) \times (IF + 1) \times (ST + 1) \times (DT + 1)$$

FF - fracture frequency	$\lambda$ (fractures/m)	0	5	10	15	20	
	index	0	0.25	0.5	0.75	1	
MK - rock mass permeability	Peremab. degree	very low	low	medium	high		
	index	0	0.33	0.66	1		
OV - overburden	thickness (m)	<50	50	100	200	>200	
	Index	0.9	0.5	0.25	0.1		
PZ - plastic zone radius	radius	0	10	20	>30		
	index	0	0.3	0.7	1		
IF - intersection of main faults	intersection with main conductive fracture connected with water point					NO	YES
	index						0
SP - spring type	type	superficial	intermediate	deep flow system			
	index	0	0.5	1			
DT - distance from the tunnel	distance (m)	>800	600÷800	400÷600	200÷400	100÷200	<100
	index	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1



## شاخص خطر افت آبدهی ۲۰۰۷

$$PI = \frac{(41 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ)}{100}$$

$$DHI = \frac{(41 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ) \times (IF + 1) \times (ST + 1) \times (DT + 1) \times (ET + 1)}{DHI_{max}}$$

case	slope	altitude	ET
1a	0,2	0,2	0,4
1b	0,2	0,2	0,4
1c	1	0,2	1,2
1d	1	1	2
2a	0,2	1	1,2
2b	0,2	1	1,2
2c	1	1	2
2d	1	1	2

مقدار عددی	پارامترها	پارامترهای اصلی
کوچک‌تر از ۲۰۰ = ۱.۹ بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ = ۱.۲ بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ = ۱.۱ بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ = ۰	DT	
قطع می‌کند = ۱ قطع نمی‌کند = ۲	IF	
عمیق = ۲ سطحی = ۱	TS	
شکل رو به رو	ET	
زیاد = ۱ بدون شکستگی = ۰.۱	FF	
خیلی زیاد = ۰.۹ زیاد تا متوسط = ۰.۷ متوسط تا کم = ۰.۴ خیلی کم = ۰.۱	MK	
کوچک‌تر از ۵۰ = ۰.۹ بین ۵۰ تا ۱۰۰ = ۰.۲ بزرگ‌تر از ۱۰۰ = ۰.۱	OV	
کوچک‌تر از قطر تونل = ۰	PZ	

پارامترهای کلیدی





# ۳. روش دیماتیس و نواقص آن (مروری بر نسخه‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۵)

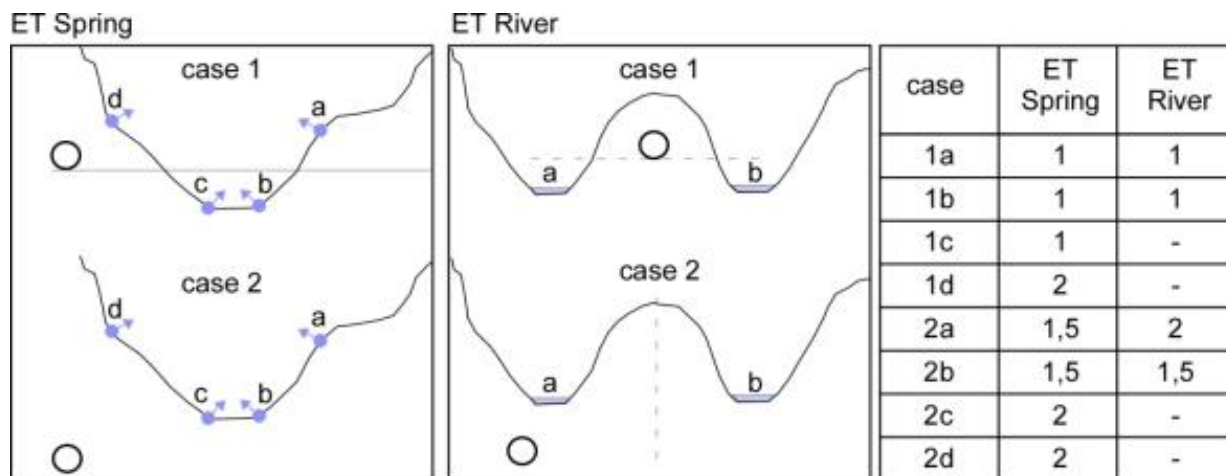
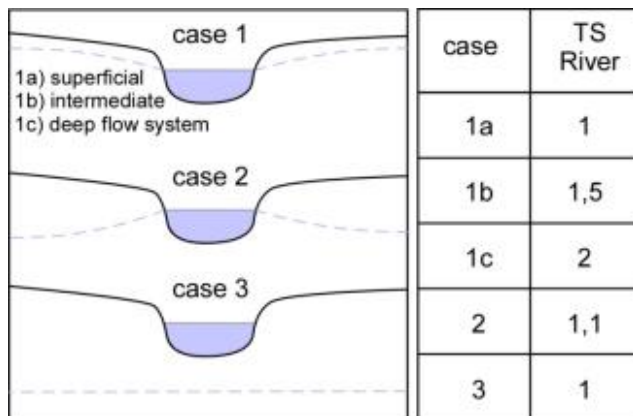
شاخص خطر افت آبدهی ۲۰۱۷

$$PI = \frac{(41 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ)}{100}$$

$$DHI = \frac{((41 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ) \times ET \times ST \times DT \times CP) \times 100}{DHI_{max}}$$

مقدار عددی		پارامترها	
کوچک‌تر از ۲۰۰ = ۱.۹ بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ = ۱.۲ بزرگ‌تر از ۵۰۰۰ = ۰	بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ = ۱.۵ بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ = ۱.۱	DT Distance from tunnel	پارامترهای اصلی
تداخل قطعی با گسل‌های اصلی = ۲ بدون تداخل = ۱	تداخل احتمالی با گسل‌ها = ۱.۵	CP Intersection with permeable channels	
عمیق = ۲ سطحی = ۱	بینابین = ۱.۵	ST Spring Type	
ET		ET Topographic effect	
شکل اسلاید بعد			
۱ = گسل‌های اصلی و یا زون‌های خرد شده ۰.۱ = عدم وجود گسل	۰.۸ = زون‌های خرد شده	FF Frequency of fracturation	پارامترهای کلیدی
خیلی زیاد تا زیاد = ۰.۹ متوسط = ۰.۵ کم تا خیلی کم = ۰.۱	زیاد = ۰.۷۵ کم = ۰.۲۵	MK Permeability of the massif	
کوچک‌تر از ۵۰ = ۰.۹ بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ = ۰.۲ بزرگ‌تر از ۵۰۰ = ۰.۱	بین ۵۰ تا ۱۰۰ = ۰.۵ بزرگ‌تر از ۵۰۰ = ۰.۱	OV Overburden	
PZ		PZ Amplitude of the plastic zone	
بزرگ‌تر از قطر تونل = ۱ کوچک‌تر از قطر تونل = ۰			

تخمین خطر افت آبدهی رودخانه‌ها با شاخص خطر افت آبدهی ۲۰۱۷

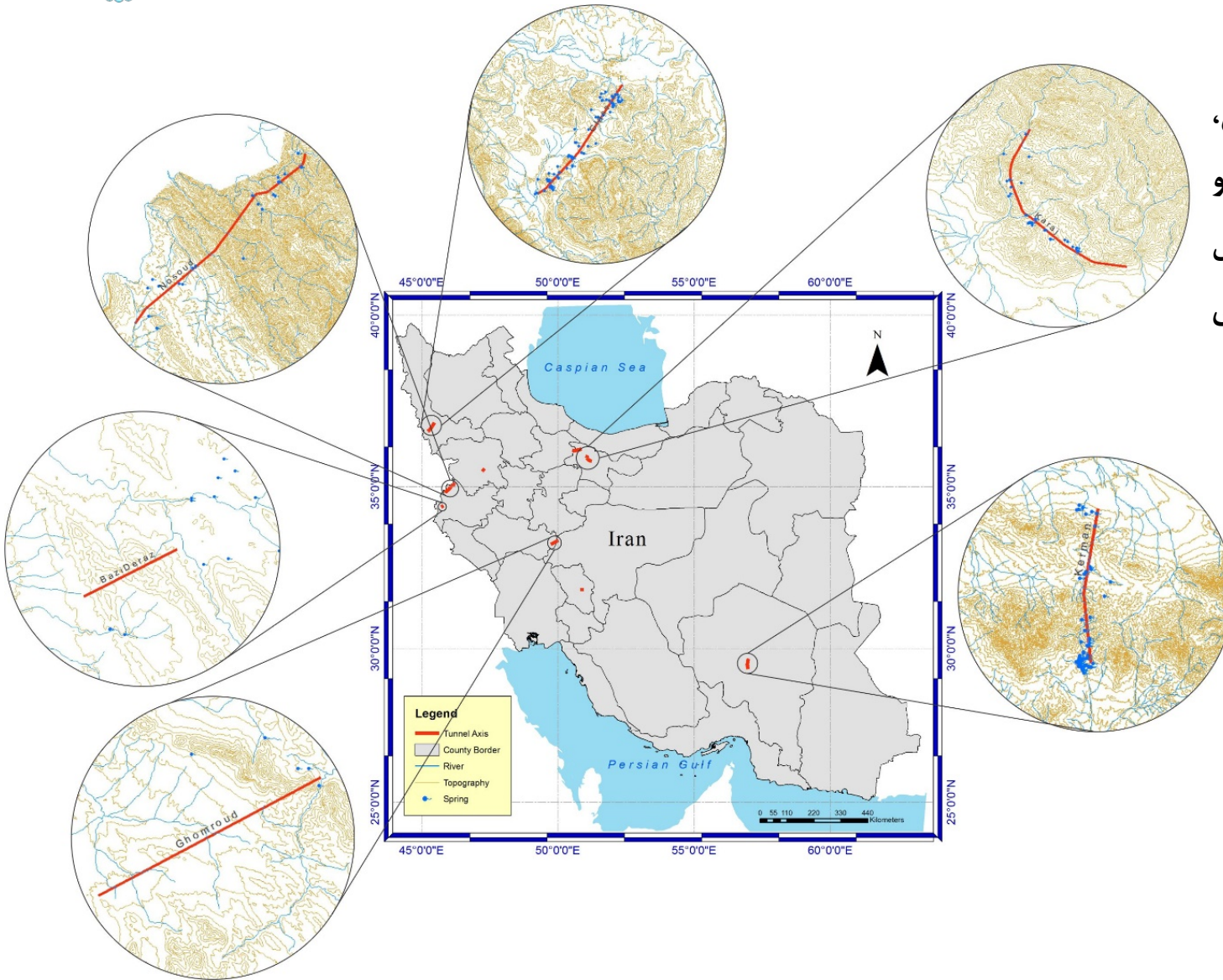




مشکلات روش شاخص خطر افت:

۱. ارزش‌دهی توصیفی پارامترها
۲. در نظر نگرفتن شرایط اقلیم و بارندگی
۳. کدینگ ماتریس اندرکنش
۴. در نظر گرفتن اثر شکستگی‌ها در تمام پارامترها

با توجه به هدف پژوهش، اطلاعات هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی شش تونل انتقال آب در ایران جمع‌آوری شد.



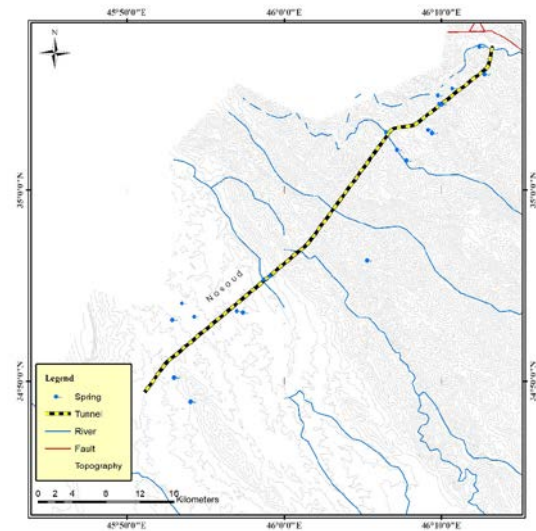
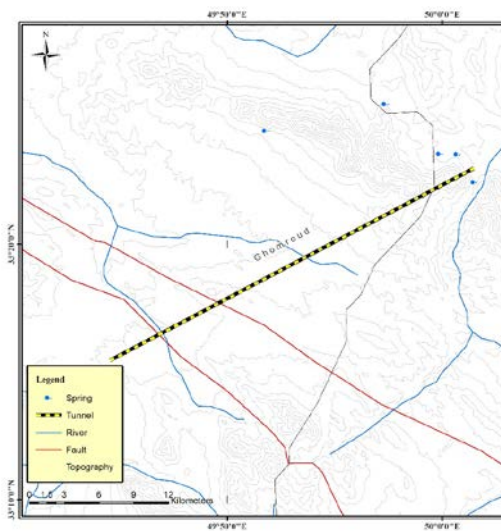
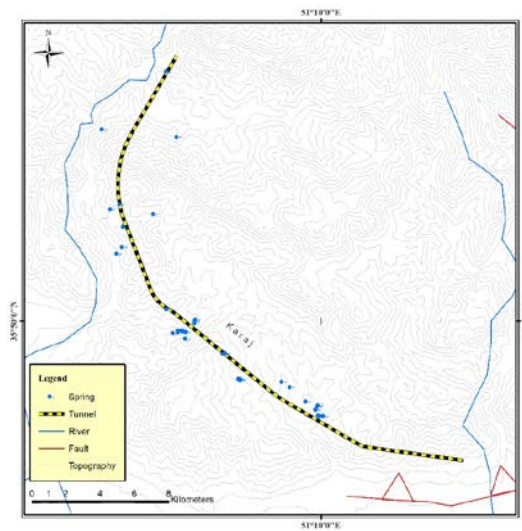
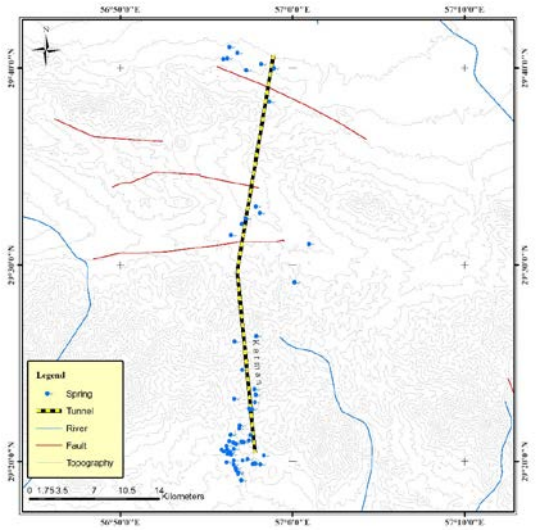
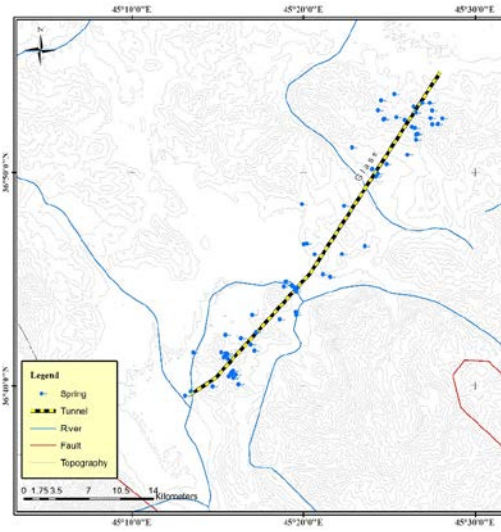
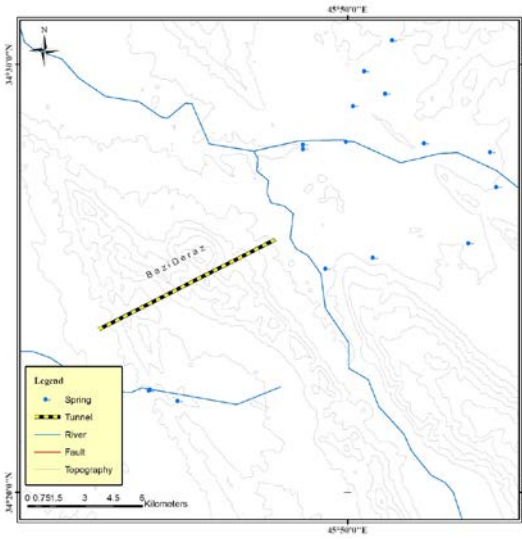


## معرفی پروژه‌ها و چشمه‌های جمع‌آوری شده در پایگاه داده ۴.

No.	Tunnel	Diameter (m)	Tunnel Length (Km)	AMSL (m)	Construction period	Geological Zone	Rock Type
1	Ghomrood Water Conveyance Tunnel lots 3-4	4.53	44.3	2033	Feb. 2004 – Mar. 2008	Sanandaj-Sirjan metamorphic belt	Metamorphic, Sedimentary
2	Zagross Water Conveyance Tunnel, lot 1-2	6.73	48	630	Aug. 2006 – Aug. 2017	Zagros Simply folded zone	Sedimentary
3	Karaj Water Conveyance Tunnel, lot 1-2	4.665	29.4	1571	May 2006 – May 2006	Central Alborz	Igneous, Sedimentary
4	Bazi-Deraz Water Conveyance Tunnel	6.86	8.6	543	Aug 2016 – In Progress	Zagros Simply folded zone	Sedimentary
5	Kerman Water Conveyance Tunnel, lot 1-2	5.27	38	2370	Nov 2015 - In Progress	Sanandaj-Sirjan metamorphic belt	Igneous, Sedimentary
6	Glass Water Conveyance Tunnel, lot 1-2	5.6	35.7	1356	2015 - In Progress	Sanandaj-Sirjan metamorphic belt	Igneous, Sedimentary

No.	Tunnel	Geological Zone	Lithology	# of Springs	Karstification	Main structure
1	Ghomrood Tunnel	Sanandaj-Sirjan metamorphic belt	Phyllite, slate and meta-sandstone, Massive limestone, Low-grade metamorphic rocks	5	Partial	Foliated and schistose, minor fault zones
2	Zagross Tunnel	Zagros Simply folded zone	Limestone and shale, Dolomite, shale, Red conglomerate, sandstone and siltstone	38	No	Blocky to very blocky, some minor fault zones
3	Karaj Tunnel	Central Alborz	Andesitic and Basaltic volcanic, Tuff and tuffaceous shale, Argillaceous limestone, and shale	37	No	Massive to very blocky, some fault zones
4	Bazi-Deraz Tunnel	Zagros Simply folded zone	Limestone with shale, Pabdeh and Gurpi Formations, Sandstone, red marl and siltstone	16	Partial	Blocky to very blocky, some minor fault zones
5	Kerman Tunnel	Sanandaj-Sirjan metamorphic belt	Granite to diorite, Dacitic to andesitic volcanic rocks, Conglomerate, Sandstone	62	No	Massive to very blocky, Major fault zones
6	Glass Tunnel	Sanandaj-Sirjan metamorphic belt	Marl, shale, sandy limestone and sandy dolomite, Granite	76	No	Folds and minor faults

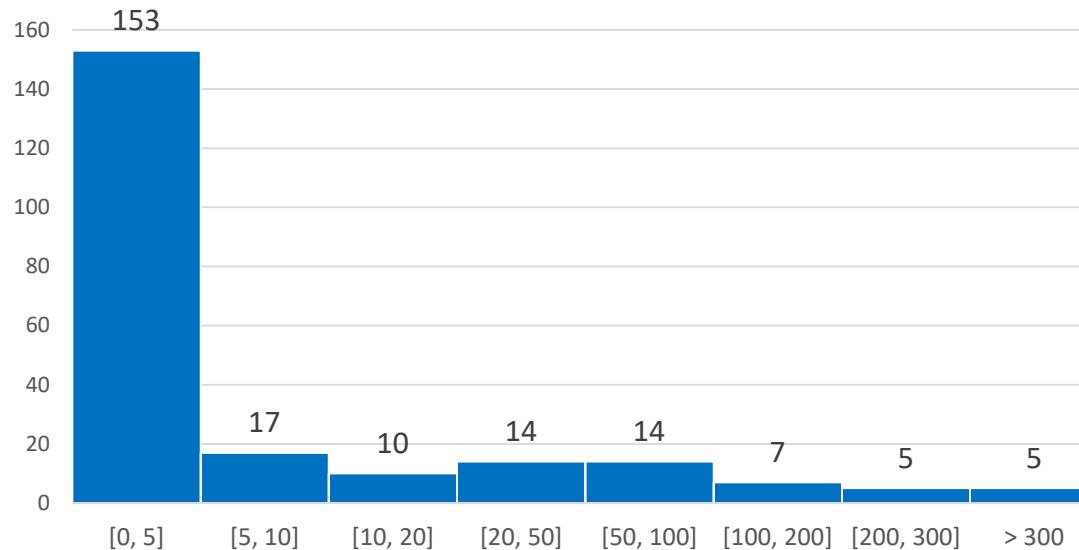






- ۲۲۵ چشمه در اطراف این شش تونل شناسایی و اطلاعات آن‌ها جمع آوری شد.
- مهم‌ترین عامل طبقه‌بندی چشمه فاکتور آبدهی است.
- میزان آبدهی چشمه‌ها می‌تواند در تعیین اهمیت چشمه‌ها و تشخیص کاربرد آن‌ها مفید باشد.

آبدهی چشمه‌ها



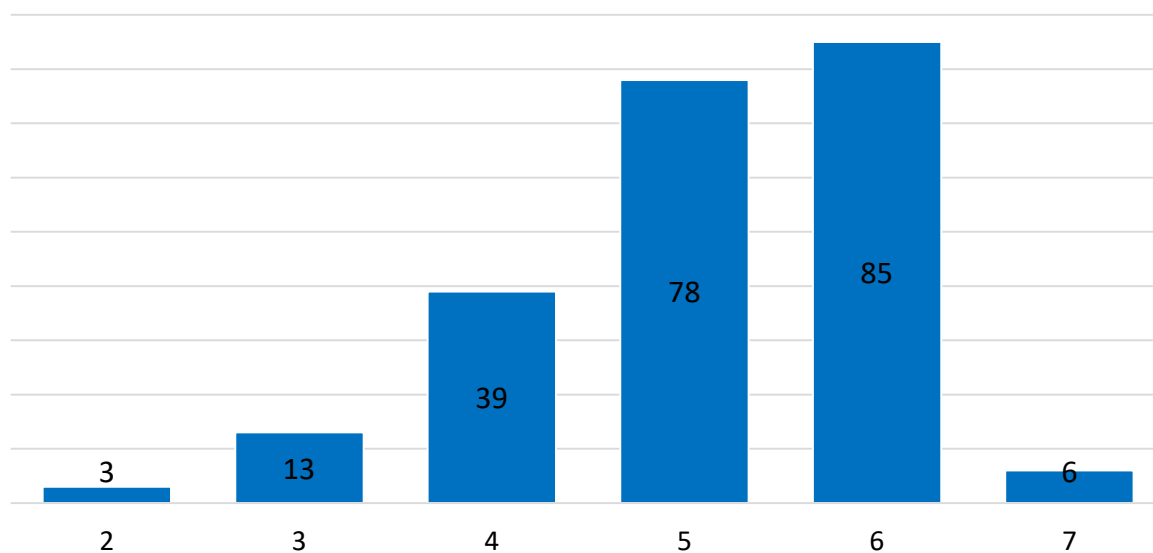


اکثریت چشمه‌های مورد مطالعه در کلاس پنجم و ششم طبقه‌بندی منزر قرار گرفته‌اند.

تنها سه چشمه آبدهی یک تا ۱۰ متر مکعب در ثانیه داشته‌اند، سرآب گرم در تونل بازی دراز، بل حسن در

نوسود یک و آبدلان دو در قطعه دوم تونل نوسود.

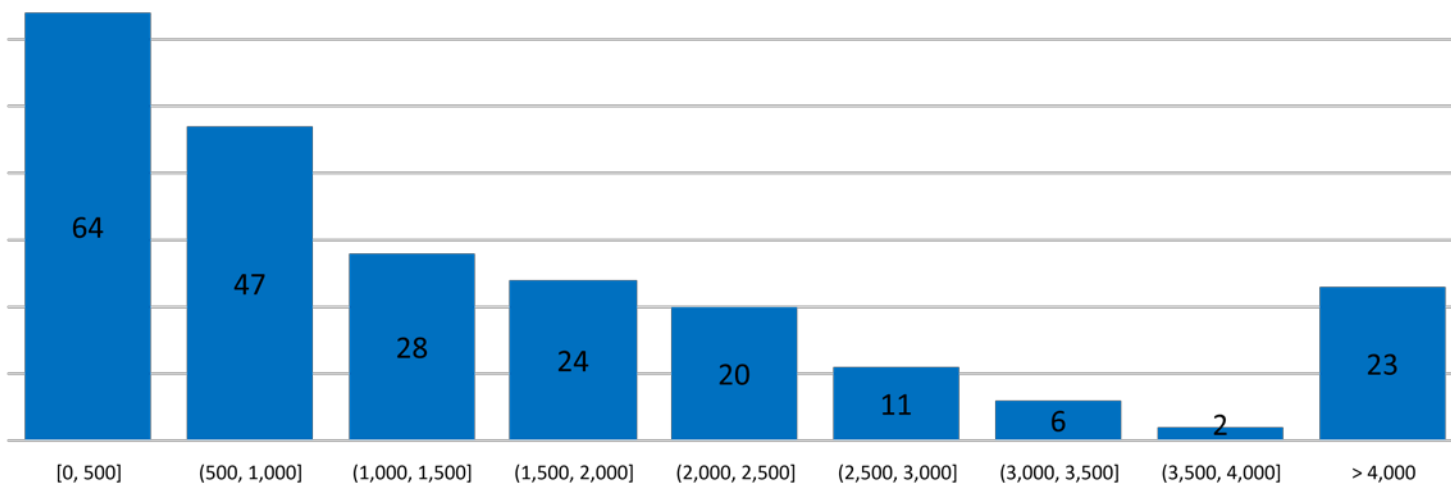
طبقه‌بندی منیزر چشمه‌ها



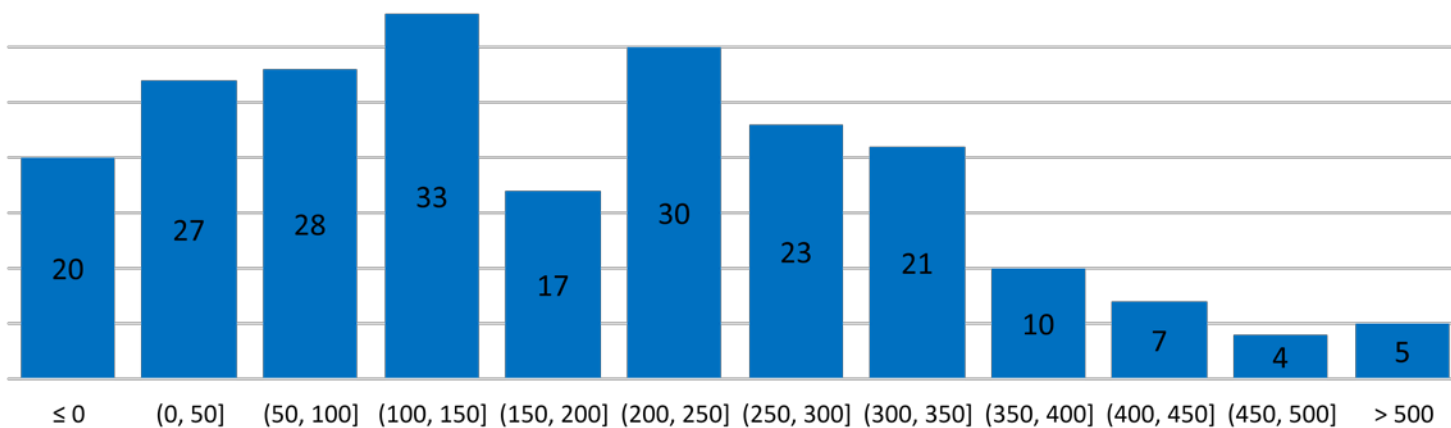




### فاصله با محور تونل



### اختلاف تراز چشمه با تونل





در مدل‌های آماری باید به این نکته توجه شود که جامعه نمونه یکدست باشد و نماینده تمامی طیف‌های جمعیت باشد. به عبارت دیگر، نمونه‌های انتخاب شده در جامعه آماری نباید از الگوی خاصی پیروی کنند. یکی از ایرادهایی که می‌توان به این جامعه آماری وارد کرد تعداد زیاد چشمه‌های کم آب است.

عنوان	فاصله (متر)	نرخ آبدهی (لیتر در ثانیه)
میانگین	1658.29	40.48
خطای استاندارد میانگین	126.7	11.4
میانه	1014.71	1
مد	3213.21	0.5
انحراف از معیار	1900.51	171.08
مقدار حداقل	0.1	0
مقدار حداکثر	9900	1850

داده پرت داده‌ای است که از بقیه داده‌ها فاصله زیادی داشته باشد و می‌تواند در تحلیل‌های آماری مشکلات زیادی بوجود آورد. به همین دلیل این داده‌های پرت باید شناسایی شده و جامعه نمونه خارج شوند.



## تخمین حجم آب ورودی به داخل تونل و توسعه یک نرم افزار احتمالاتی

۵.

روش	فرمول
لی (۱۹۹۹)	$Q = 2\pi k \frac{h}{\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1}\right)}$
فریز و چری (۱۹۷۹)	$Q = 2\pi k \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)}$
کارلسرود (۲۰۰۱)	$Q = 2\pi k \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r} - 1\right)}$
گودمن (۱۹۶۵)	$Q = 2\pi k \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r}\right)}$
لومباردی (۲۰۰۲)	$Q = 2\pi k \frac{h}{\left(1 + 0.4\left(\frac{r}{h}\right)^2\right) \ln\left(\frac{2h}{r}\right)}$
التانی (۱۹۹۹)	$Q = 2\pi k \frac{1 - 3\left(\frac{r}{2h}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{r}{2h}\right)^2\right] \ln\left(\frac{2h}{r} - \frac{r}{2h}\right)^2}$
هوور (۱۹۹۵)	$q_s = F_s H K$ $q_h = F_h q_s$

تخمین آب ورودی به تونل می تواند با استفاده از طبقه بندی های ژئومکانیکی، فرمول های تحلیلی و یا مدل های عددی انجام شود.

به دلیل دقیق نبودن اندازه گیری پارامترهای برداشت شده، داده های محدود و عدم قطعیت های مربوط به زمین (موقعیت درزه ها و ناپیوستگی ها در توده سنگ) بهتر است برای محاسبه حجم آب وارد شده از روش های احتمالاتی استفاده شود.

بدین منظور نرم افزاری برای به کارگیری روش مونت کارلو در تخمین آب ورودی به تونل طراحی و ساخته شد



# تخمین حجم آب ورودی به داخل تونل و توسعه یک نرم افزار احتمالاتی

۵.

مراحل انجام محاسبات:

۱. انتخاب توزیع احتمالاتی برای نفوذپذیری و هد آب
۲. ایجاد متغیر تصادفی با استفاده از میانگین و انحراف از معیار
۳. محاسبه تخمین حجم آب ورودی با فرمول های ذکر شده
۴. رسم نمودار هیستوگرام و انتخاب محتمل ترین جواب به عنوان جواب نهایی

Inputs							Analytical Methods										Empirical Method		
R (m)	Zone	Length (m)	h (m)		K (m/sec)		q (lit/sec/m)										Heuer (1995)		
			Mean	StDev	Mean	StDev	Lee (1999)	Freeze & Cherry (1979)	Karlsruud (2001)	F. G. Bell	Goodman et al. (1965)	Lombardi (2002)	El Tani (1999)	Average	Total (lit/sec)	q <sub>s</sub> (lit/sec/m)	q <sub>n</sub> (lit/sec/m)	Total (lit/sec)	
3.5	Z1	109	30	5	5E-07	2.5E-08	0.033183	0.0330531	0.0342323	0.0338244	0.033053082	0.03356923	0.03347	0.03309771	3.6076502	0.00241514	0.00241514	0.26325	
	Z2	643	60	10	1E-07	2.5E-08	0.033711	0.0336958	0.0341087	0.0336804	0.033695825	0.03361554	0.0336	0.03372904	21.687771	0.00247929	0.00247929	1.5941816	
	Z3	480	60	10	1E-07	2.5E-08	0.034212	0.0341962	0.0346107	0.0341808	0.034196208	0.0341159	0.0341	0.03422965	16.430234	0.00245023	0.00245023	1.1761097	
	Z4	30	60	10	5.00E-06	2.50E-07	0.033183	0.0330531	0.0339723	0.0338244	0.033053082	0.03356923	0.03347	0.03309771	10.094801	0.00241514	0.00241514	0.7366169	
	Z5	2013	90	10	1E-07	2.5E-08	0.033363	0.0333483	0.0349289	0.0333341	0.033348251	0.03327425	0.03326	0.03337945	67.192832	0.00241514	0.00241514	4.8616715	
	Z6	68	160	20	1E-07	2.5E-08	0.033218	0.0332063	0.0344906	0.0331942	0.03320627	0.03314354	0.03313	0.03323336	2.2598686	0.00241514	0.00241514	0.1642293	
	Z7	82	140	15	1.00E-07	2.50E-08	0.033183	0.0330531	0.0342323	0.0338244	0.033053082	0.03356923	0.03347	0.03309771	2.7140121	0.00241514	0.00241514	0.1980413	
	Z8	406	140	15	1E-07	2.5E-08	0.033183	0.0330531	0.0345344	0.0338244	0.033053082	0.03356923	0.03347	0.03309771	13.43767	0.00241514	0.00241514	0.9805458	
	Z9	305	145	16	1E-07	2.5E-08	0.033183	0.0330531	0.0339723	0.0338244	0.033053082	0.03356923	0.03347	0.03309771	10.094801	0.00241514	0.00241514	0.7366169	
	Z10	1837	270	30	1E-07	2.5E-08	0.033183	0.0330531	0.0342323	0.0338244	0.033053082	0.03356923	0.03347	0.03309771	60.80049	0.00244359	0.00244359	4.488868	



- روش شاخص خطر افت به دلیل سادگی و پروسه تقریبا سریع آن برای بررسی‌های اولیه تاثیر حفاری بر روی آیندهی چشمه‌ها انتخاب شد.

اساس ارزش‌دهی پارامترها:

FF. بر اساس گزارش‌های حفاری تونل و مطالعات زمین‌شناسی بر رخنمون‌ها.

MK. با استفاده از نتایج آزمایش لوژان و مقادیر RQD

PZ. مقدار آن به دلیل استفاده از TBM صفر در نظر گرفته شد.

OV. بر اساس اختلاف تراز بین محور تونل و سطح زمین

ST. بر اساس مطالعه گزارش‌های هیدروژئولوژی تونل‌ها و بررسی مقاطع زمین‌شناسی چشمه‌ها

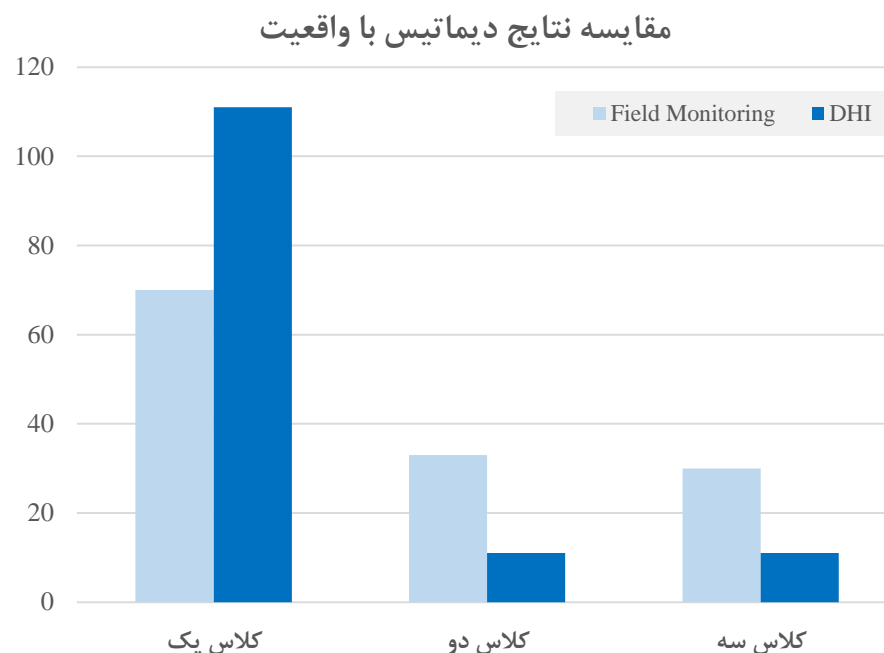
DT. کوتاه‌ترین فاصله هندسی

ET. با مطالعه نقشه‌های توپوگرافی تونل‌ها و با استفاده از مقاطع پیشنهادی توسط توری

IF. بر اساس عکس‌های هوایی و نقشه‌های GIS



- از بین ۱۳۳ چشمه مورد مطالعه، ۱۱۱ چشمه تحت تاثیر حفاری تونل قرار نخواهند گرفت.
- ۱۱ چشمه در رده تاثیر کم و ۱۱ چشمه در رده خطر بالا قرار گرفتند و کاملاً خشک خواهند شد.
- بر اساس برداشتهای ادواری، ۳۳ چشمه بعد از حفاری کامل خشک شده‌اند.





# توسعه یک متدولوژی و یک شاخص جدید برای بررسی پیامدهای حفاری تونل بر روی چشمه‌های منطقه

۶.

## پارامترهای سیستم

بارندگی	V4	نفوذپذیری	V1
هد پیزومتريک	V5	گسل‌ها و چین‌ها	V2
پتانسیل نفوذ آب	V6	درجه کارستی شدن	V3

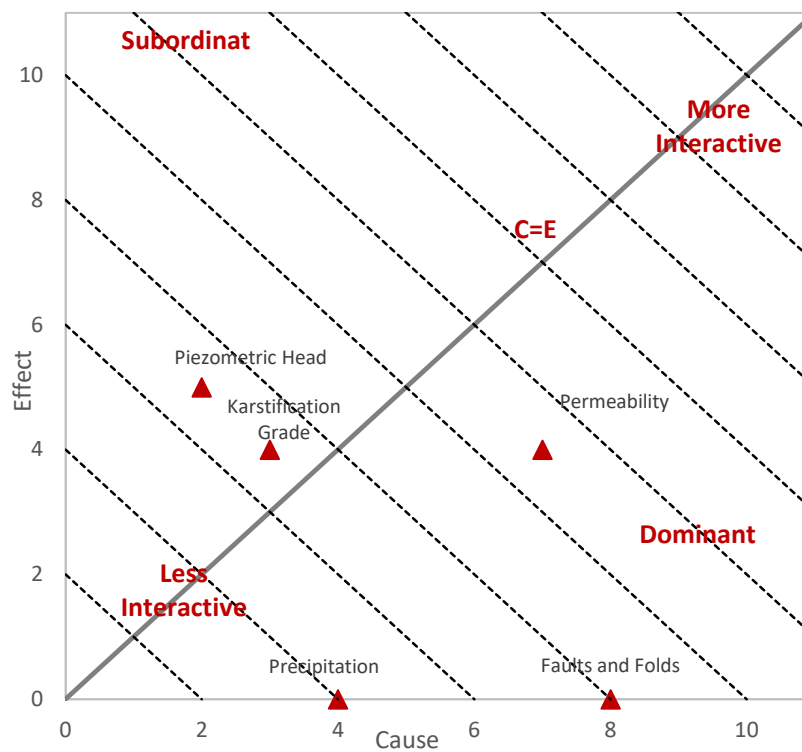
<b>V1</b>	0	1	0	2	4
3	<b>V2</b>	2	0	0	3
1	0	<b>V3</b>	0	1	1
0	0	1	<b>V4</b>	2	1
0	0	0	0	<b>V5</b>	2
0	0	0	0	0	<b>V6</b>



# توسعه یک متدولوژی و یک شاخص جدید برای بررسی پیامدهای حفاری تونل بر روی چشمه‌های منطقه

۶.

پارامترهای سیستم	علت	معلول	علت + معلول شدت اندرکنش	علت - معلول تأثیر گذاری/تأثیر پذیری
نفوذ پذیری	7	4	11	3
گسل‌ها و چین‌ها	8	0	8	8
درجه کارستی شدن	3	4	7	-1
بارندگی	4	0	4	4
هد پیزومتريک	2	5	7	-3
پتانسیل نفوذ آب	0	11	11	-11







# توسعه یک متدولوژی و یک شاخص جدید برای بررسی پیامدهای حفاری تونل بر روی چشمه‌های منطقه

۶

$$PI = 30PJ + 22SS + 19KG + 11PR + 19PH$$

$$TIS = \frac{[30PJ + 22FF + 19KG + 11PR + 19PH] \times DT \times ST \times TE \times CP}{100}$$

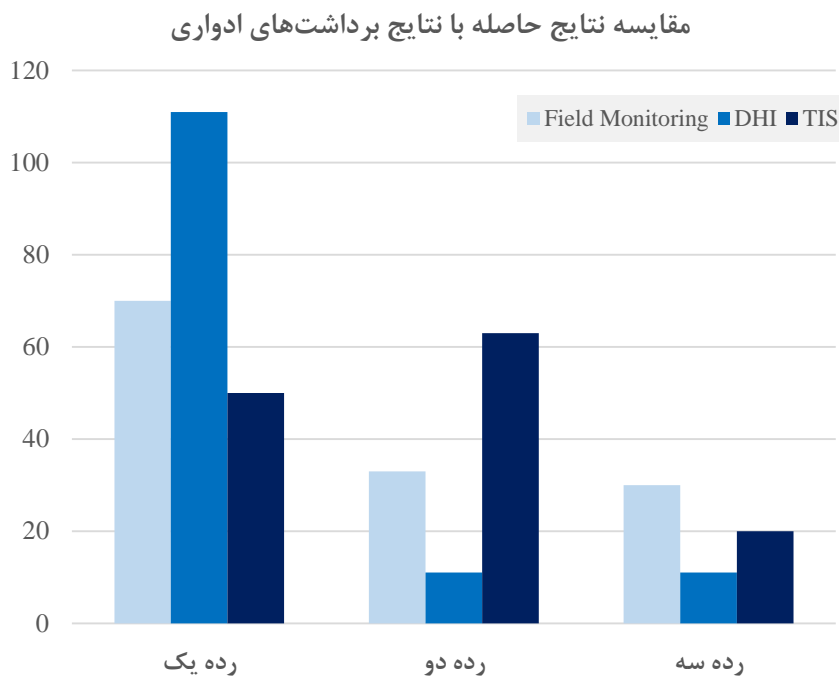
Lu < 1 RQD > 90	Lu 1-5 RQD 75-90	Lu 5-15 RQD 50-75	Lu 15-50 RQD 25-50	Lu > 50 RQD < 25	شرایط	نفوذ پذیری
0	0.5	1	1.5	2	مقدار	
خیلی کم توسعه یافته	کم توسعه یافته	تقریباً توسعه یافته	توسعه یافته	کاملاً توسعه یافته	شرایط	گسل‌ها و چین‌ها
0	0.5	1	1.5	2	مقدار	
		نبود کارست	کارست نوجوان	کارست جوان	شرایط	درجه کارستی شدن
		0	0.5	1	مقدار	
< 50 mm	50-100 mm	100-250 mm	310-250 mm	> 310 mm	شرایط	بارندگی
0	0.5	1	1.5	2	مقدار	
< 10 m	10-50 m	50-100 m	100-250 m	> 250 m	شرایط	هد پیزومتریک
0	0.5	1	1.5	2	مقدار	
> 5000 m	2000-5000 m	1000-2000 m	200-1000 m	< 200 m	شرایط	فاصله از محور تونل
0.1	0.5	1	1.5	2	مقدار	
		سطحی	میکس	عمیق	شرایط	نوع چشمه
		1	1.5	2	مقدار	
		نبود گسلش	گسل در فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر	گسل در فاصله کمتر از ۵۰۰ متر	شرایط	تداخل با گسل
		1	1.5	2	مقدار	
			1-b 2-b	1-a 2-a	شرایط	اثر توپوگرافی
			1	2	مقدار	



# توسعه یک متدولوژی و یک شاخص جدید برای بررسی پیامدهای حفاری تونل بر روی چشمه‌های منطقه

۶.

تأثیر بر آبدهی چشمه	شاخص TIS	رده
خشک شدن چشمه	$TIS > 3$	رده ۱
کاهش آبدهی	$1.5 < TIS < 3$	رده ۲
ناچیز	$TIS < 1.5$	رده ۳





یک راه حل ساده برای اجرای یک پژوهش جامع و حل این مشکل غربال‌گری و کاهش تعداد چشمه‌های مورد مطالعه است. در صورت کاهش تعداد چشمه‌های مورد مطالعه و حذف چشمه‌های کم‌خطر، می‌توان تمرکز مطالعات را بر روی چشمه‌هایی که در خطر خشک شدن هستند قرار داد و با استفاده از روش‌های عددی و یا انجام مطالعات میدانی پتانسیل افت آبدهی‌ها را سنجید.

پارامترهای محدود کننده:

۱. فاصله چشمه‌ها تا محور تونل

۲. نوع چشمه

۳. ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان و تونل

۴. آبدهی چشمه‌ها و اهمیت آن‌ها



## ۱. فاصله چشمه‌ها تا محور تونل

عوامل موثر: لیتولوژی، تخلخل، درزه‌داری و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان  
بر اساس آنالیز چشمه‌های موجود و نتایج برداشت‌های ادواری:  
چشمه‌هایی که در سنگ‌های آذرین قرار دارند: تا شعاع ۳۰۰۰  
چشمه‌هایی که در سنگ‌های دگرگونی قرار دارند: تا شعاع ۴۰۰۰  
چشمه‌هایی که در سنگ‌های رسوبی قرار دارند: تا شعاع ۵۷۰۰

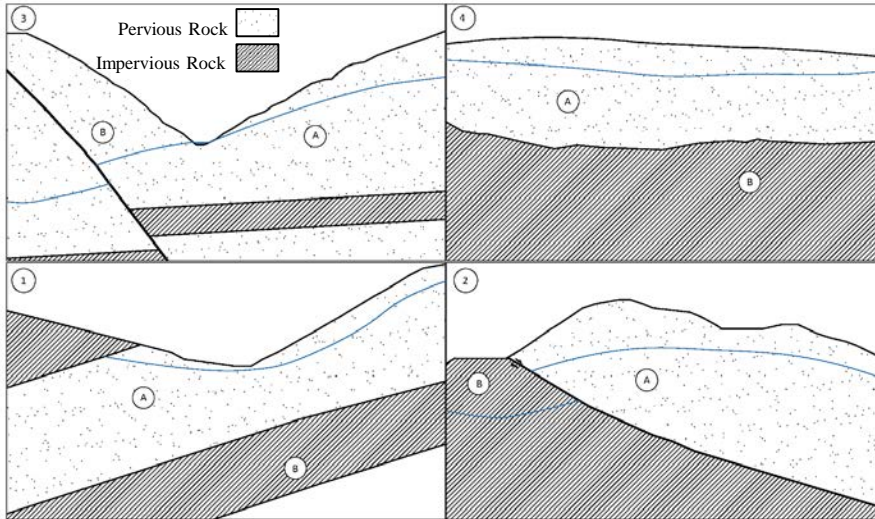
## ۲. نوع چشمه

سطحی

حد واسط

عمیق

## ۳. ارتباط هیدرولیکی بین آبخوان و تونل



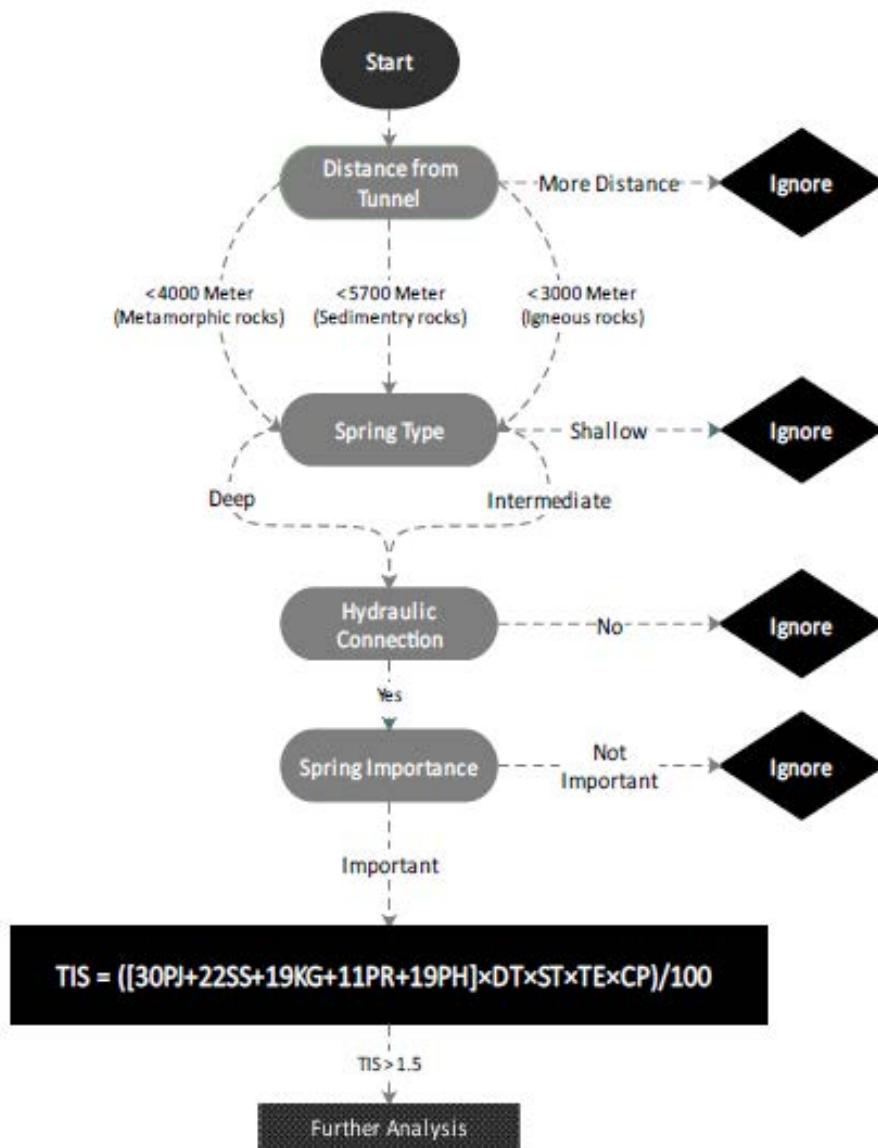
## ۴. آبدهی چشمه‌ها و اهمیت آن‌ها

خیلی مهم	چشمه‌های تاریخی و دارای اهمیت اجتماعی
مهم	چشمه‌هایی با آبدهی بیشتر از یک لیتر در ثانیه
بی اهمیت	چشمه‌هایی با آبدهی کمتر از یک لیتر در ثانیه
خیلی بی اهمیت	چشمه‌هایی که کاربردی ندارند و یا کیفیت بدی دارند.



# توسعه یک متدولوژی و یک شاخص جدید برای بررسی پیامدهای حفاری تونل بر روی چشمه‌های منطقه

۶.

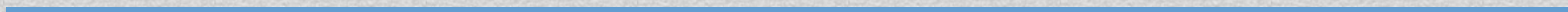


- اولین قدم در بررسی تاثیر حفاری بر روی آبدهی چشمه‌ها مطالعه میزان آب ورودی به داخل تونل در مقاطع مختلف است. در این راستا با توجه به مشکلات وجود در راهکارهای پیشنهاد شده، با استفاده از روش احتمالاتی مونت کارلو در نرم‌افزار اکسل، به توسعه یک برنامه تخمین احتمالاتی حجم آب ورودی به داخل تونل پرداخته شد.
- با توجه به ضعف‌های شاخص DHI در بررسی اثر حفاری تونل بر روی آبدهی چشمه‌ها، یک شاخص جدید برای رفع مشکلات ذکر شده پیشنهاد شد. در این شاخص با استفاده از سیستم مهندسی سنگ و با به کارگیری روش کدگذاری حرفه‌ای نیمه کمی، ماتریس اندرکنشی متفاوت با ماتریس DHI طراحی شد.
- نتایج نشان می‌دهد که عملکرد این شاخص نسبت به روش دیماتیس بهبود چشمگیری داشته است و درصد خطای آن برای چشمه‌های در خطر کاهش یافته است. از بین ۱۳۳ چشمه، ۹۱ چشمه (۶۰٪ چشمه توسط دیماتیس) با درصد موفقیت ۶۸٪ به درستی تخمین زده شدند (۴۵٪ برای دیماتیس). در حالی که ۲۰ چشمه پیش‌بینی شده بود که به طور کامل بعد حفاری خشک شوند، در واقعیت ۳۰ چشمه خشک شدند. رده اول نیز با نرخ ۷۰ درصد به خوبی پیش‌بینی شد.

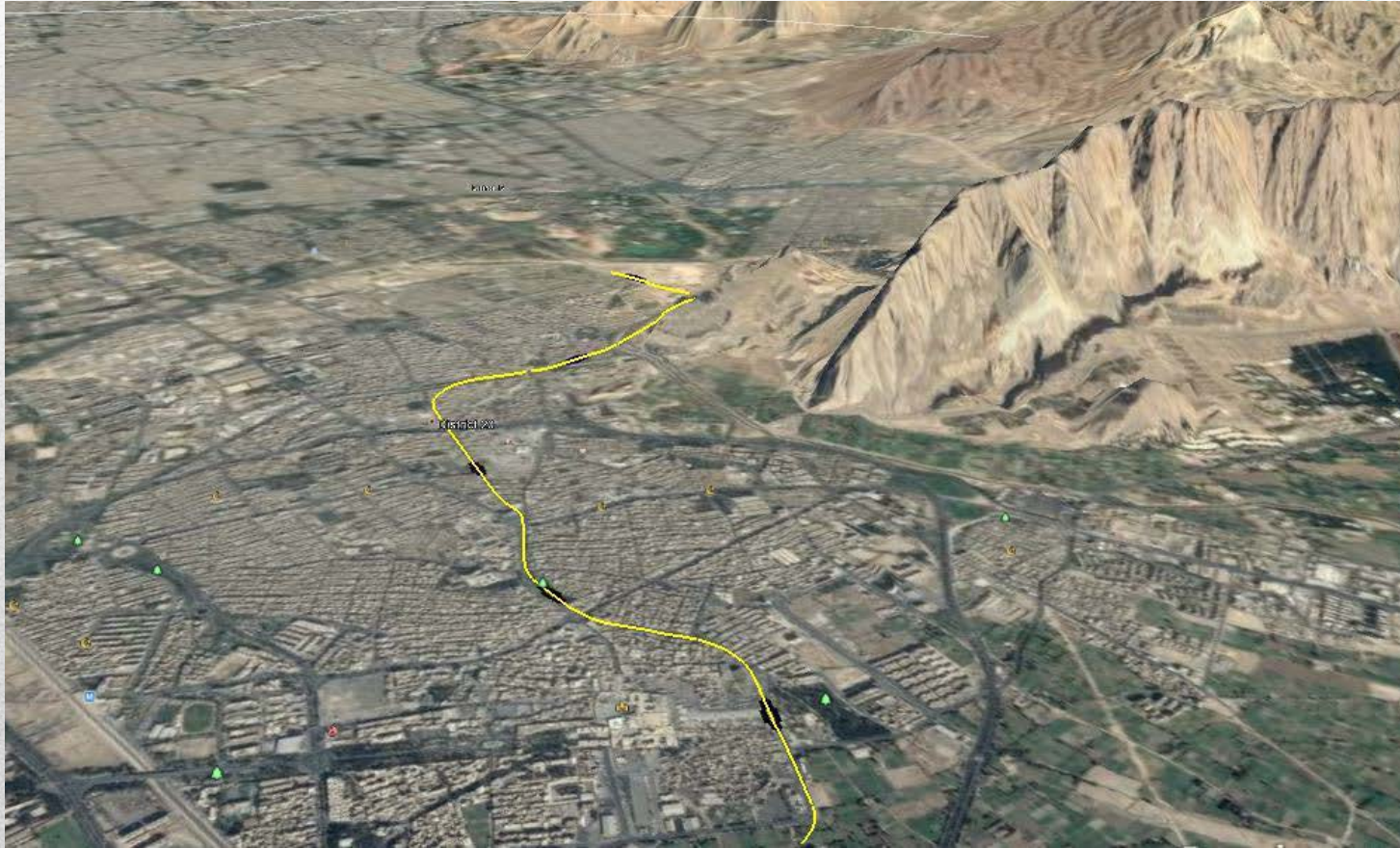
- برای کاهش تعداد چشمه‌های تحت مطالعه و داشتن یک پژوهش جامع بهتر است چشمه‌های کم اهمیت و کم ریسک از مطالعات حذف شوند. فاصله چشمه‌ها از تونل، نوع چشمه‌ها، ارتباط هیدرولیکی با تونل و اهمیت چشمه چهار پارامتر ذکر شده برای محدود کردن تعداد چشمه‌ها هستند. در صورت گذر هر یک از چشمه‌ها از این غربال‌ها، با استفاده از شاخص TIS به بررسی تاثیر حفاری بر روی آینده چشمه‌ها پرداخته خواهد شد.
- در صورتی که چشمه در یکی از دو رده دو و سه قرار بگیرد، باید مطالعات جامع‌تری پیرامون وضعیت آن چشمه صورت بگیرد. این مطالعات می‌توانند شامل کارهای میدانی و یا مدل‌سازی‌های عددی باشد.



# بررسی اثر تونل متروی توسعه جنوبی خط ۶ بر آبدهی چشمه علی شهرری

















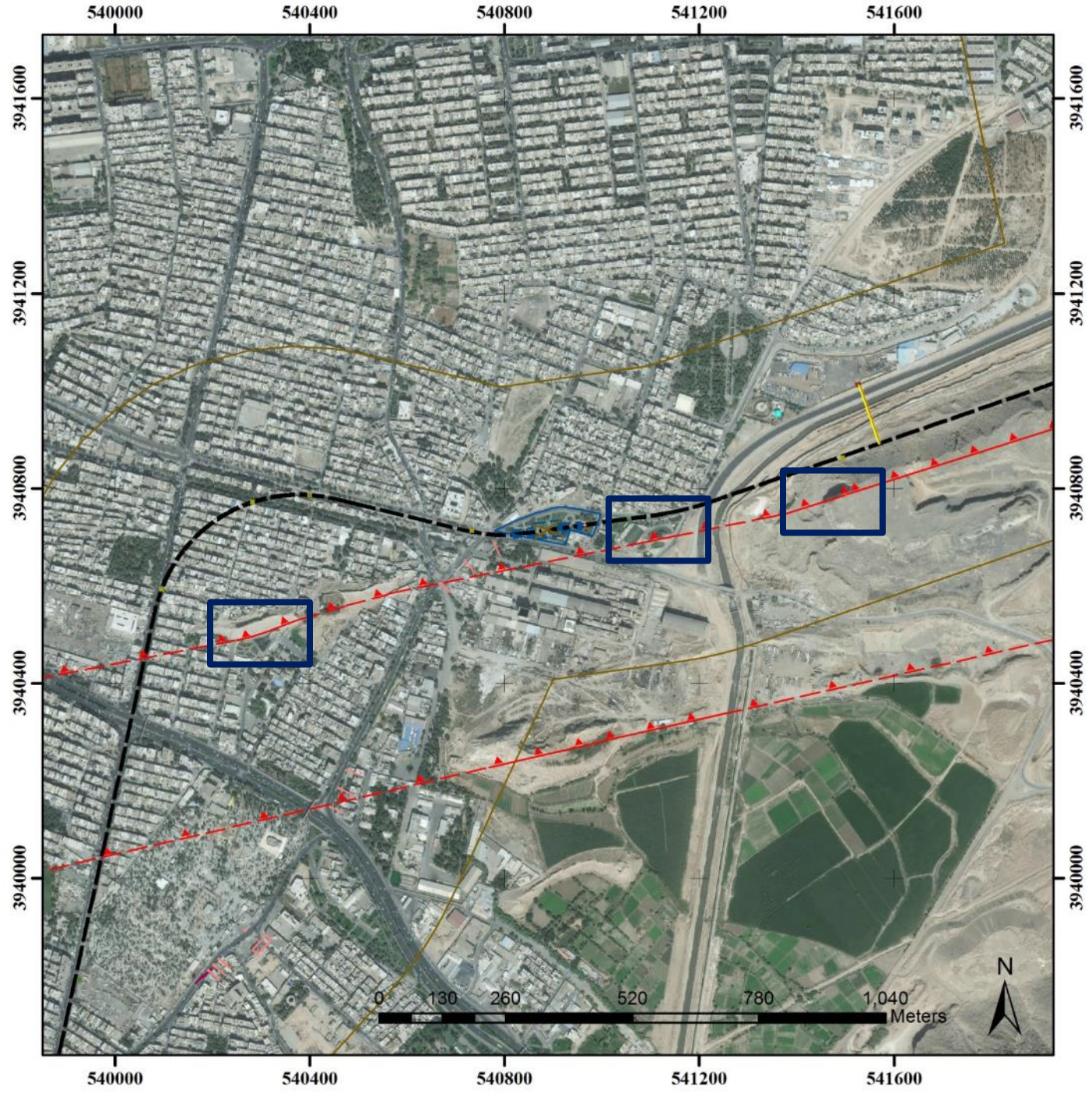


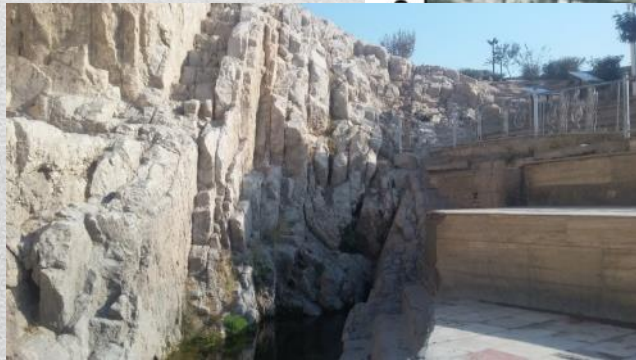
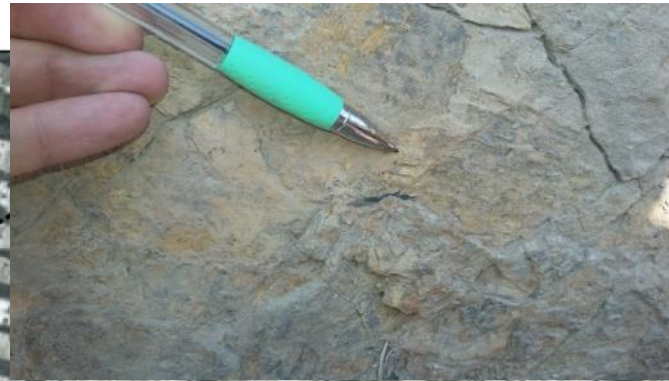




Image © 2016 GNS / Astrum  
Image © 2016 DigitalGlobe  
Image © 2016 DigitalGlobe  
Image Landsat / Copernicus

Google earth





3940400









3940800

10 280 Meters

541200





00



541600



3940800



00



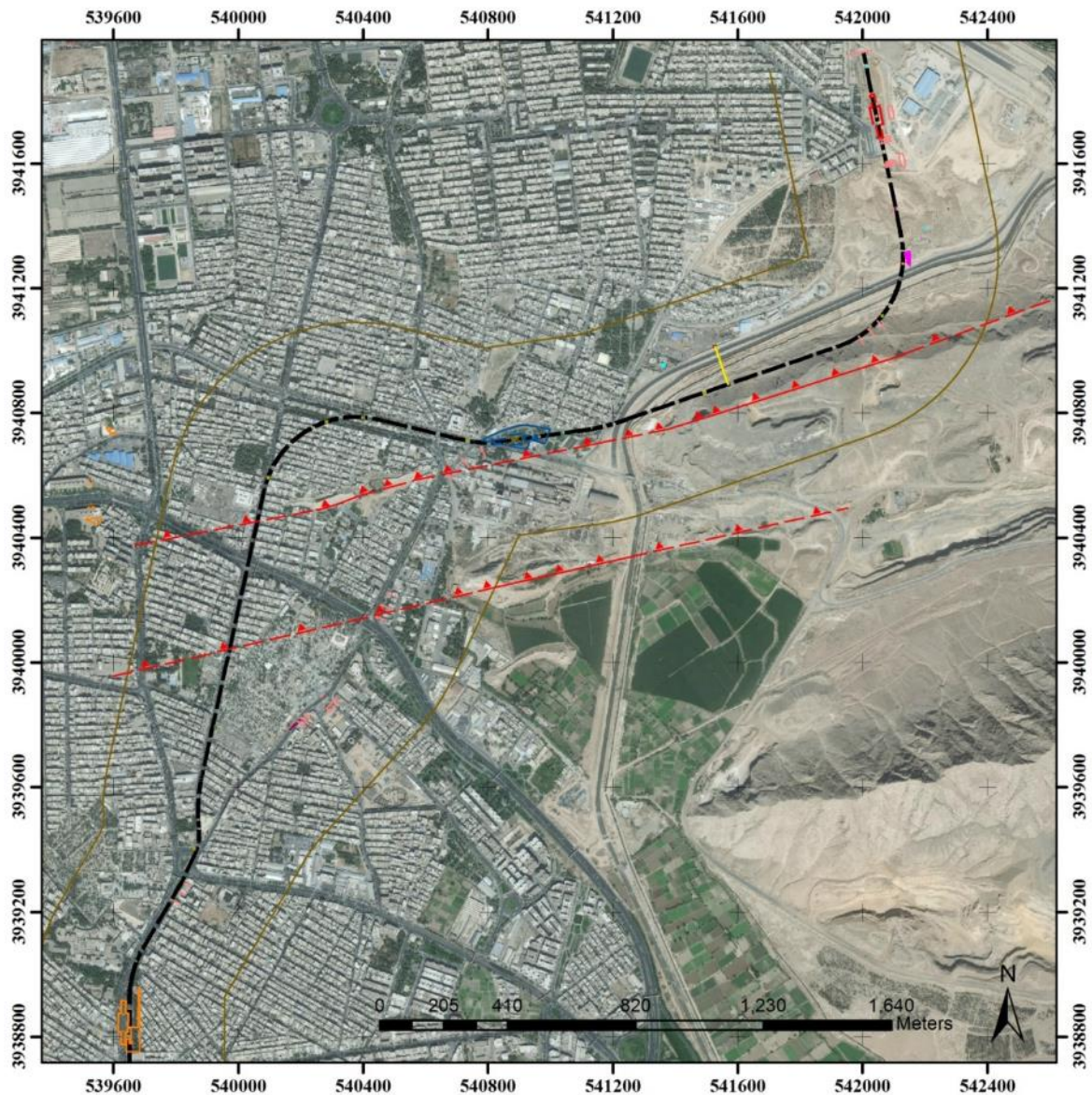
80  
Meters

1600

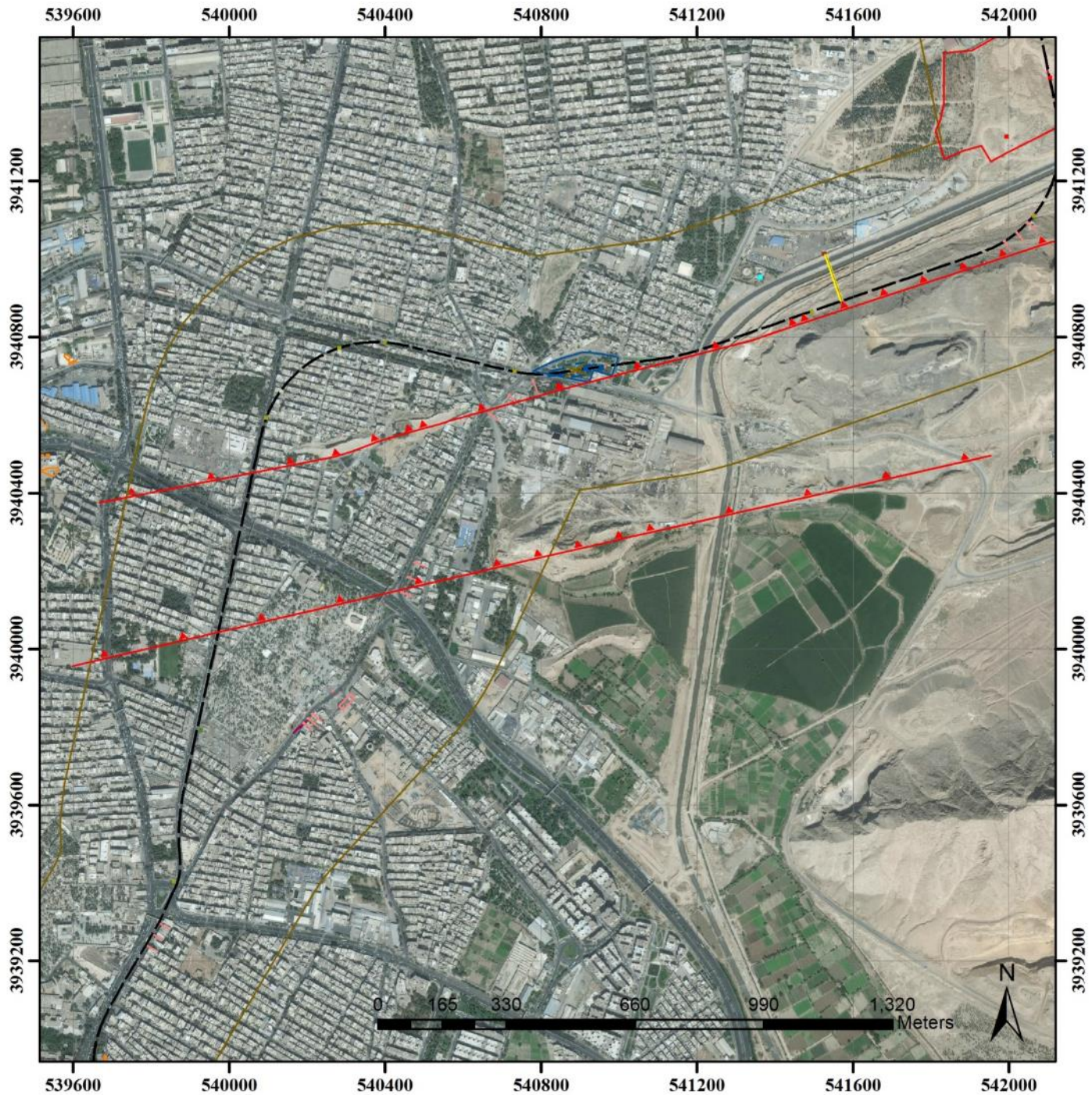




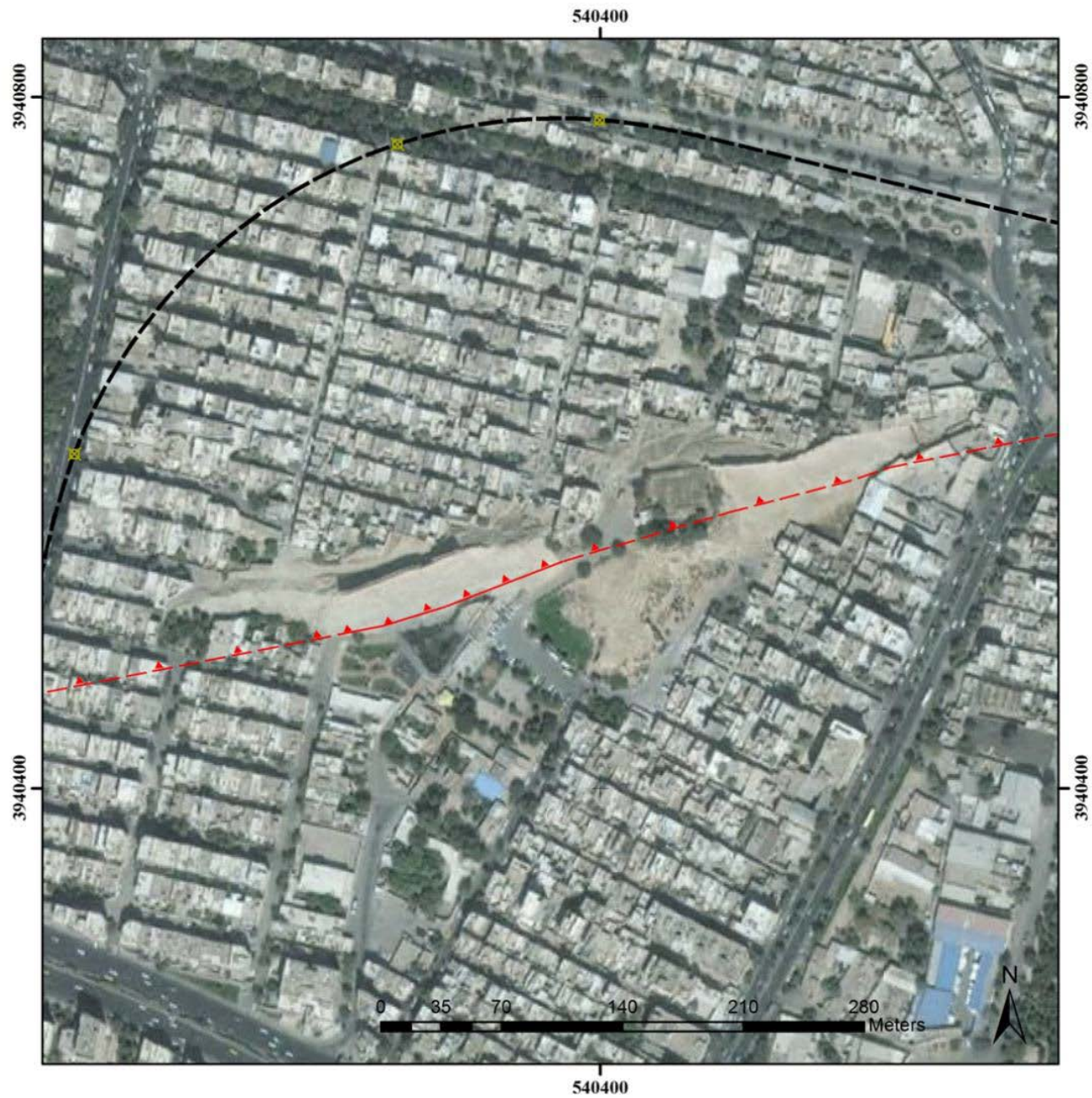








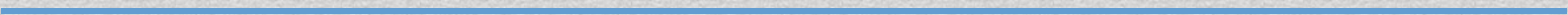
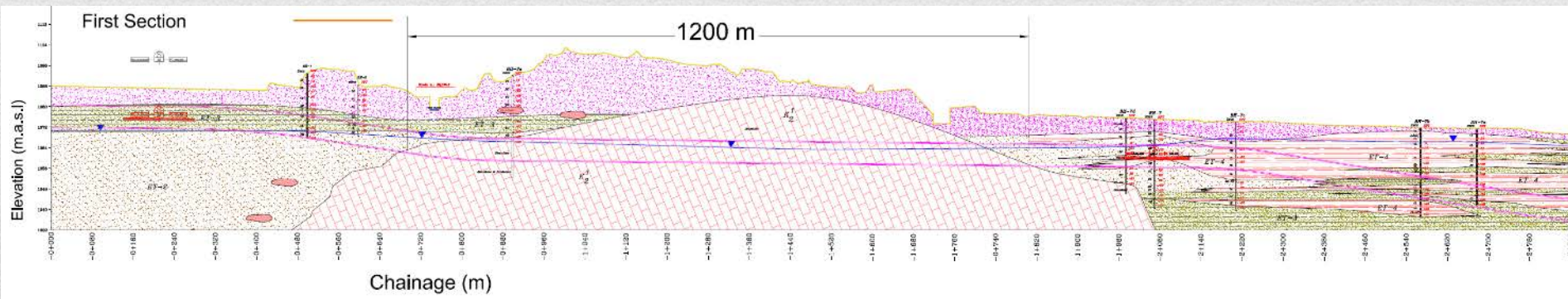
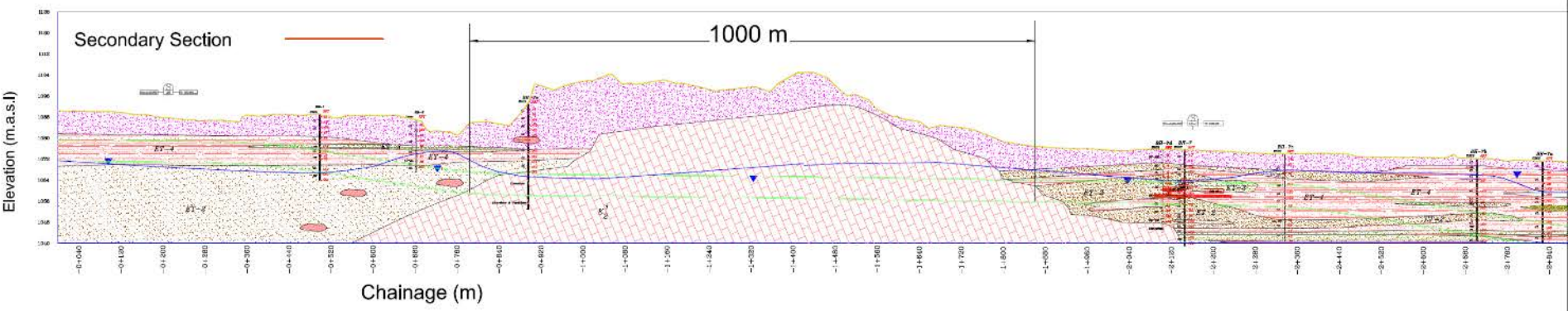




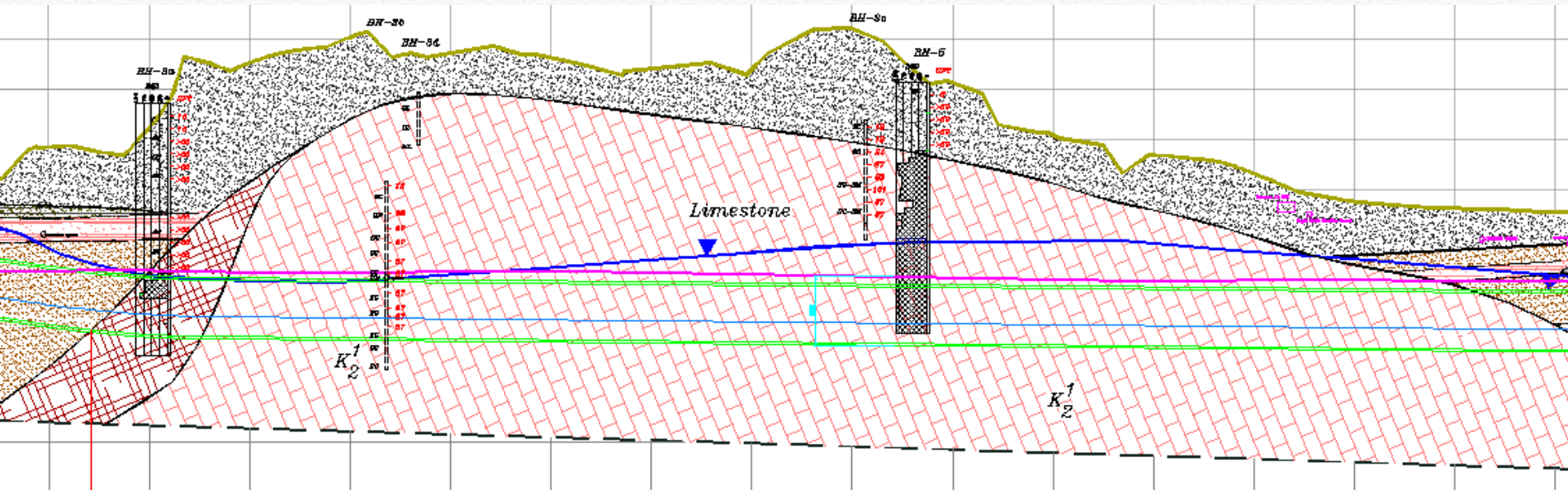




















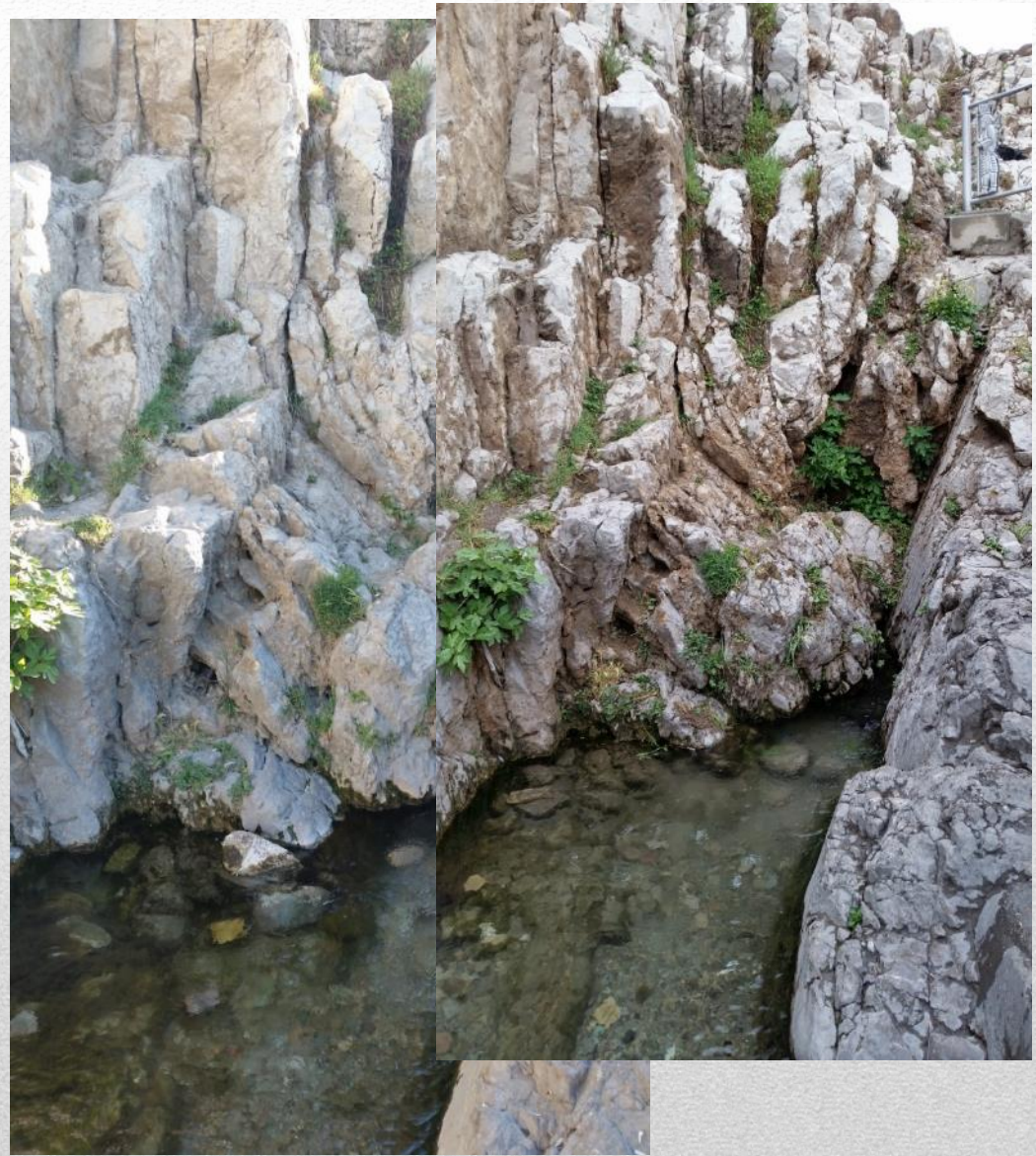






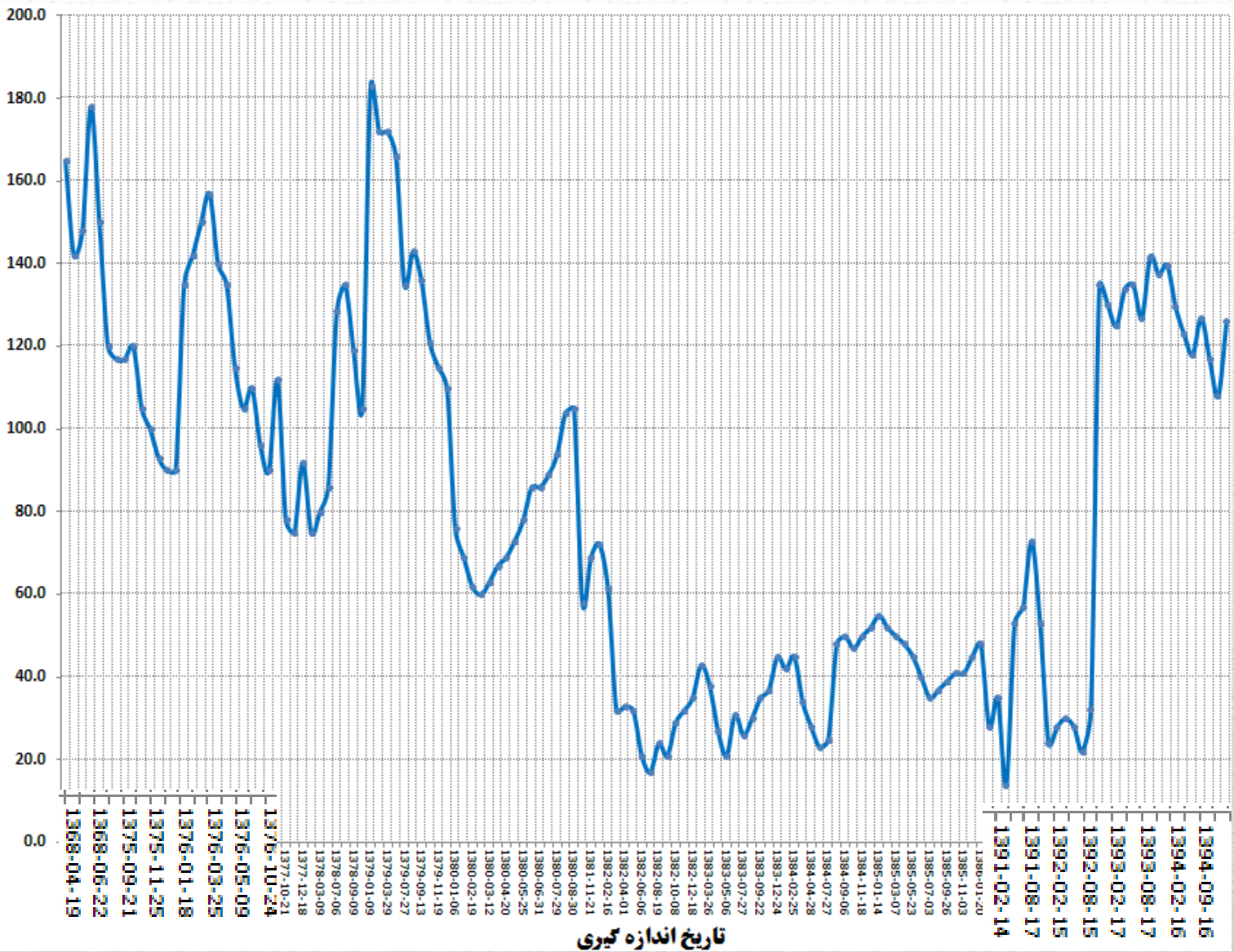






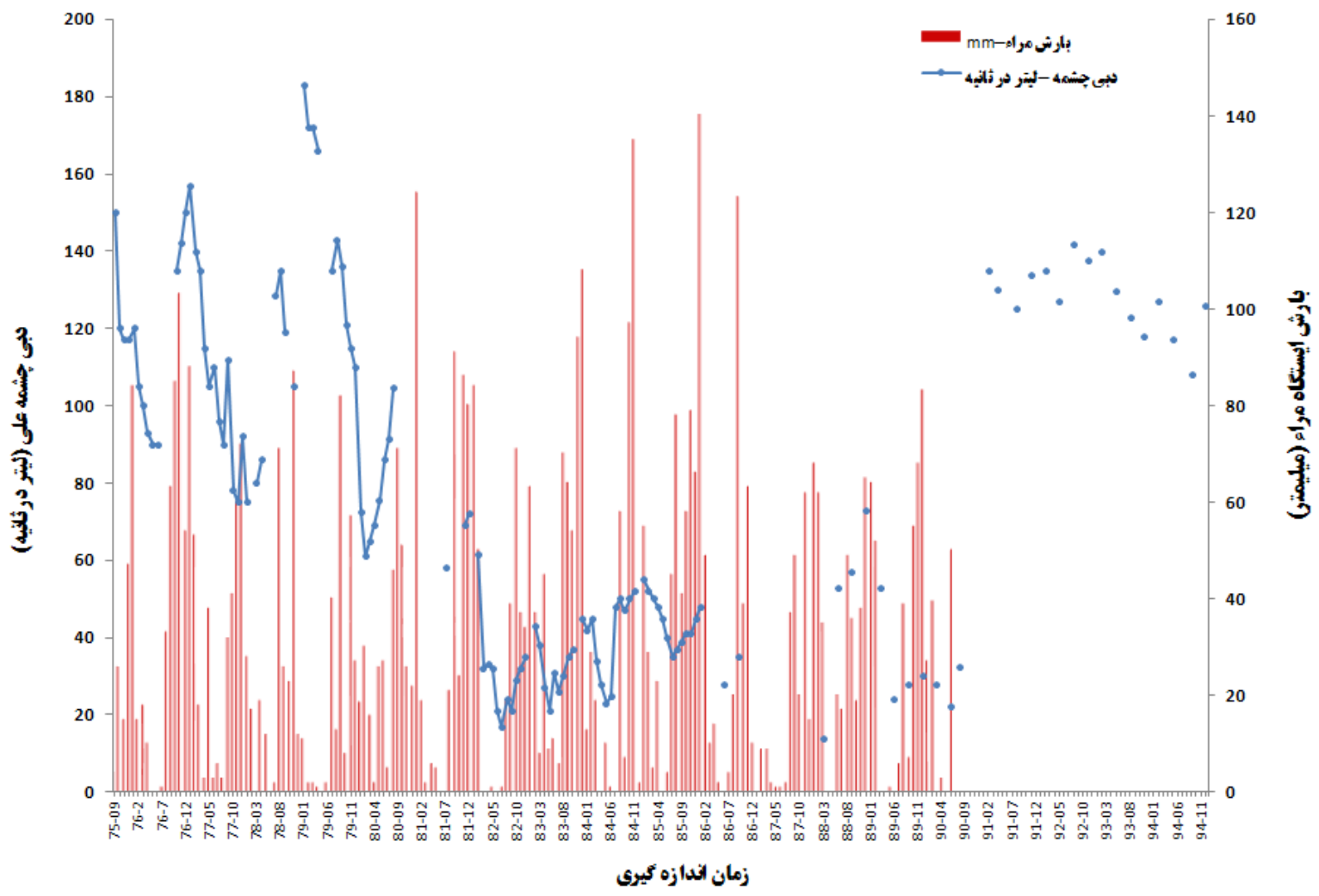


دبی لیتر در ثانیه



تاریخ اندازه گیری

### تغییرات دبی چشمه علی - بارش ایستگاه مرآ











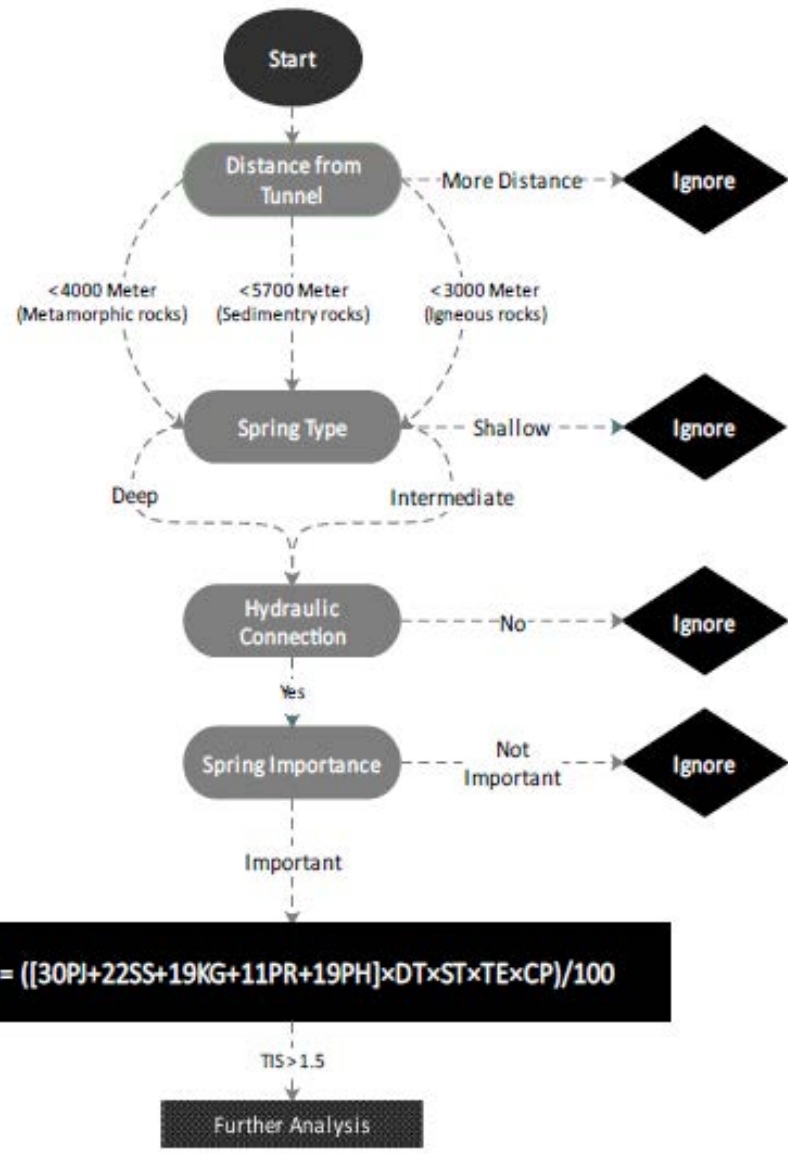




video\_2018-07-26\_16-25-31.mp4



video\_2018-04-24\_18-00-39.mp4



$$TIS = ([30PJ+22SS+19KG+11PR+19PH] \times DT \times ST \times TE \times CP) / 100$$

Further Analysis



$$\text{TIS} = \frac{[30\text{P}] + 22\text{SS} + 19\text{KG} + 11\text{PR} + 19\text{PH}] \times \text{DT} \times \text{ST} \times \text{TE} \times \text{CP}}{100}$$

$$\text{TIS} = \frac{[30(1)+22(1.5)+19(0.5)+11(2)+19(0.5)] \times 1.5 \times 2 \times 2 \times 2}{100} = 12.48$$



Class	TIS Index	Impact
Class 1	TIS > 3	Completely Dried
Class 2	1.5 < TIS < 3	Lower Discharge
Class 3	TIS < 1.5	Negligible



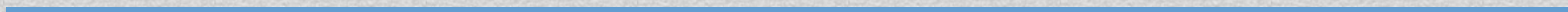




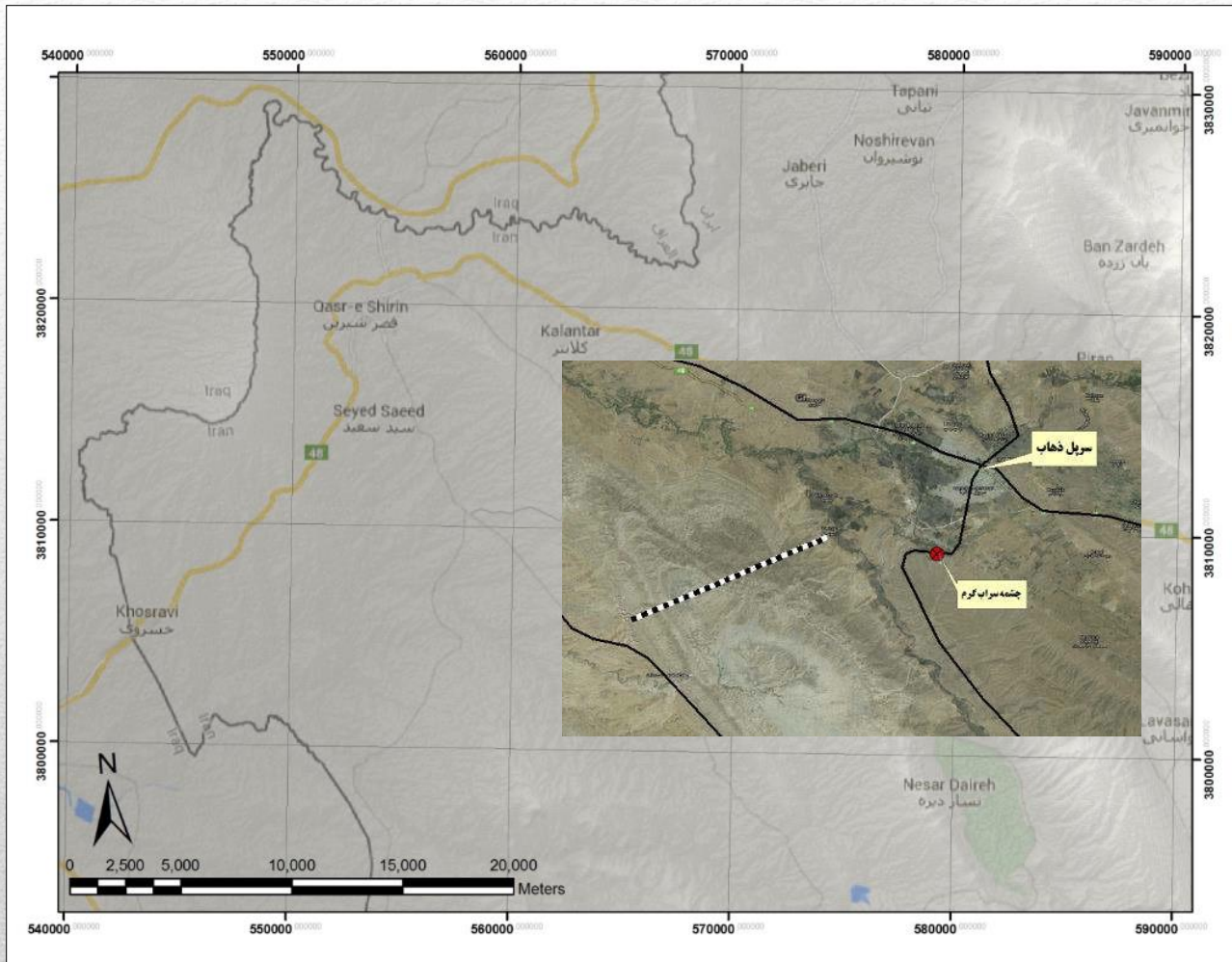




# بررسی اثر تونل بازی دراز بر آبدهی چشمه سراب گرم



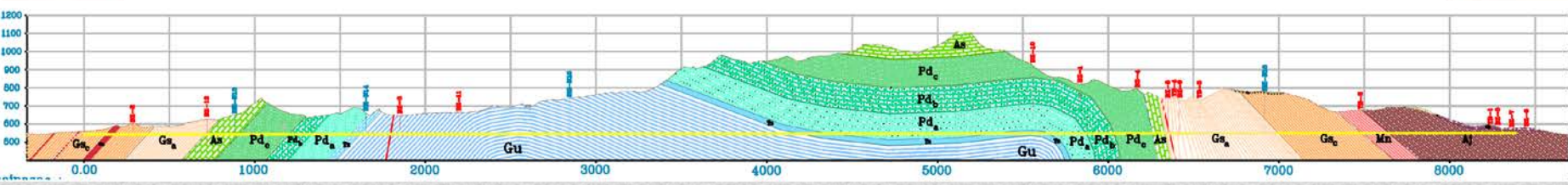
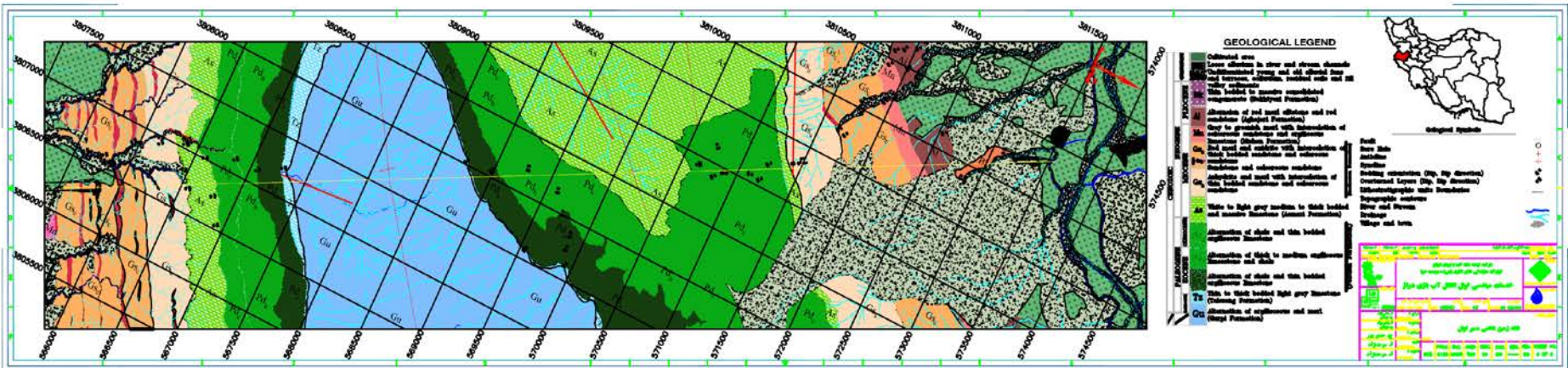




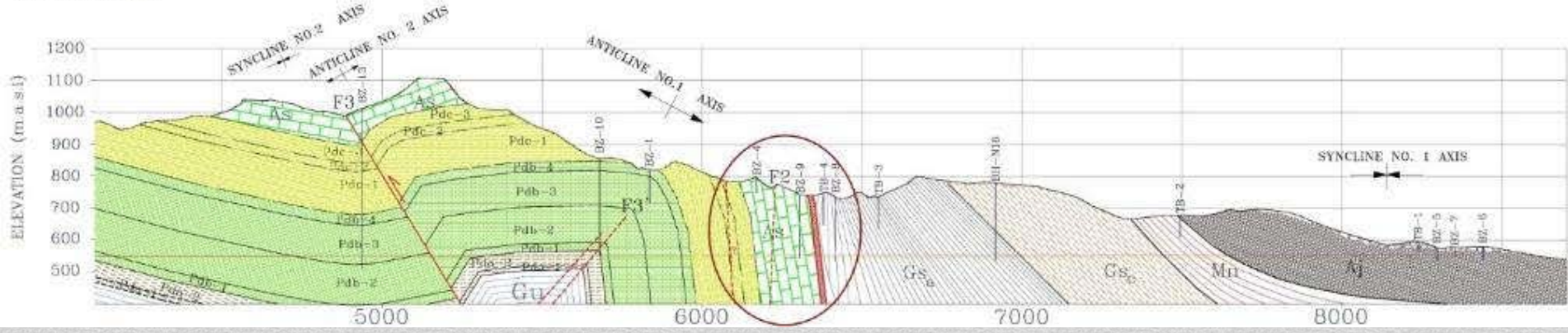
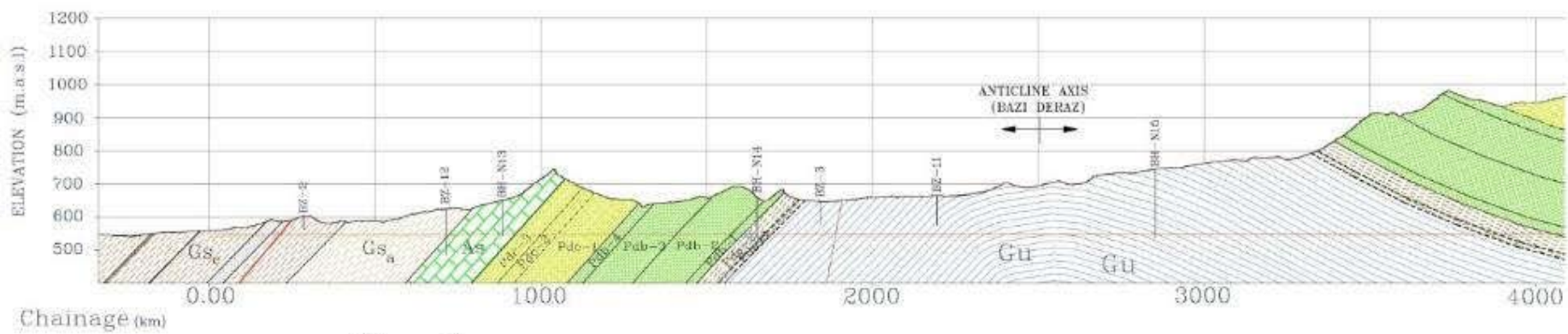




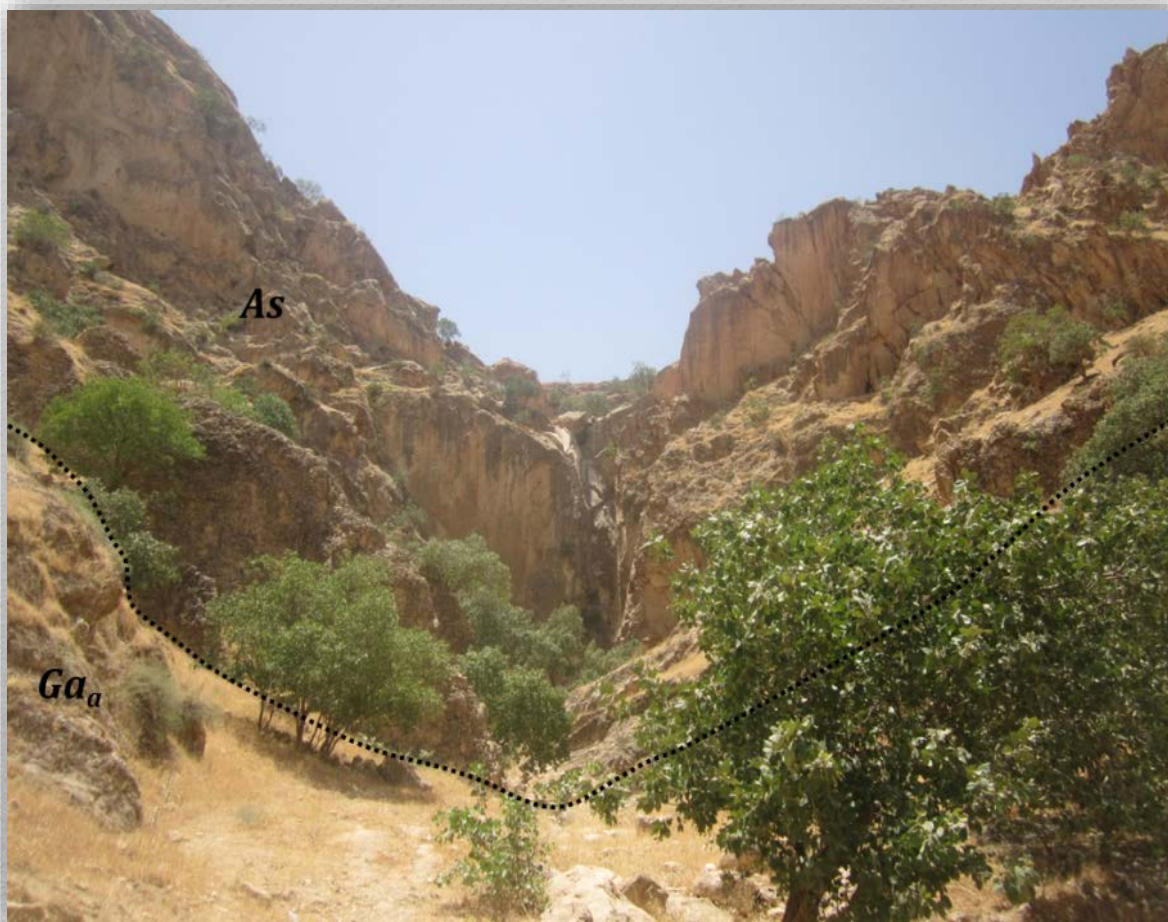










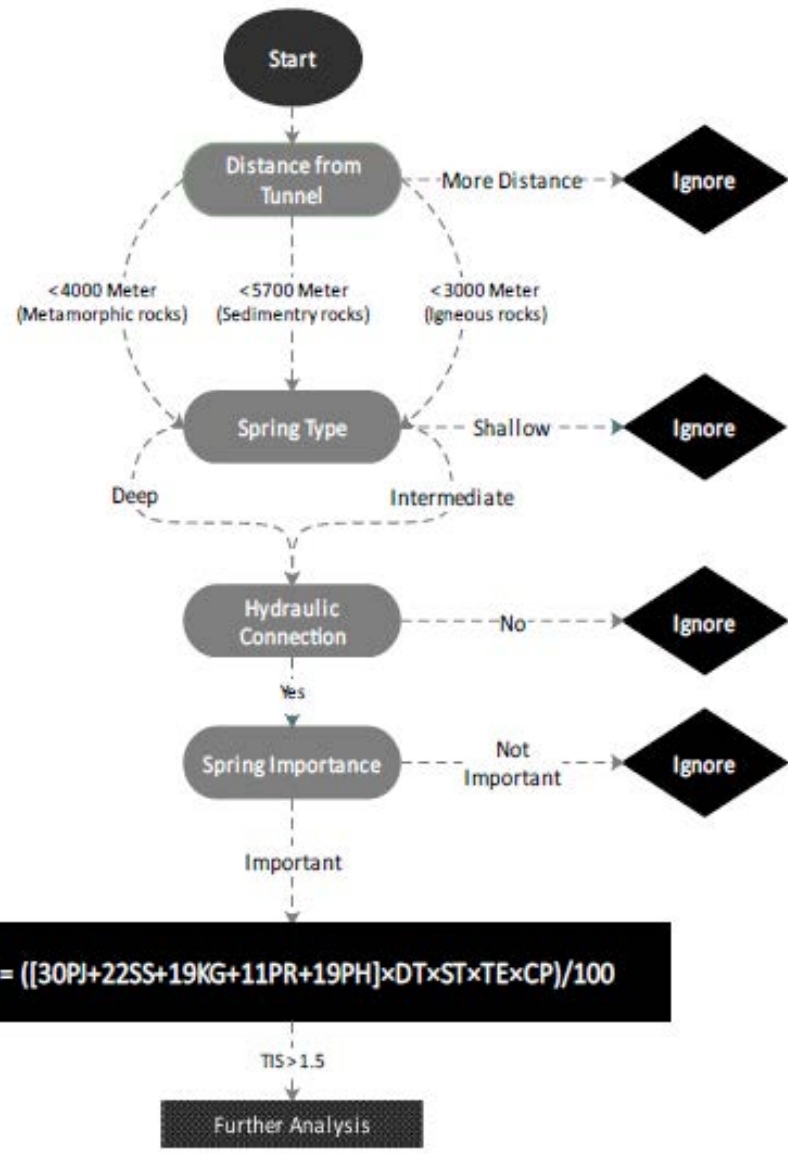












$$TIS = ([30PJ+22SS+19KG+11PR+19PH] \times DT \times ST \times TE \times CP) / 100$$

TIS > 1.5  
Further Analysis



$$\text{TIS} = \frac{[30\text{P}] + 22\text{SS} + 19\text{KG} + 11\text{PR} + 19\text{PH}] \times \text{DT} \times \text{ST} \times \text{TE} \times \text{CP}}{100}$$

$$\text{TIS} = \frac{[30(1)+22(1.5)+19(0.1)+11(1)+19(1)] \times 0.5 \times 2 \times 1 \times 1}{100} = 0.95$$

Class	TIS Index	Impact
Class 1	TIS > 3	Completely Dried
Class 2	1.5 < TIS < 3	Lower Discharge
Class 3	TIS < 1.5	Negligible

➔