انجمن تونل ایران

کارگروه فضاهای زیرزمینی و محیط زیست

اثرات حفاری تونل بر رژیم های هیدروژئولوژیکی شناخت و راهکارها

دکتر جعفر حسن پور
مهندس مسعود مرسلی
مهندس اشکان لطفی پور

- حفر تونل در سازندهای سخت
- تاثیرات بر شرایط هیدروژئولوژی و زیست محیطی
- مهمترین نمود: کاهش آبدهی و یا خشک شدن منابع آبی
- مشکلات زیست محیطی، اجتماعی و سیاسی تغییر آبدهی چشمه ها
- شناخت عوامل و پیش بینی تاثیرات و میزان آن
- فاصله از محور تونل و نفوذ پذیری توده سنگ مهمترین عوامل
- منابع آبی یک منطقه تحت تاثیر عوامل :
- طبیعی: مانند تغییرات بارندگی سالیانه و فصلی شرایط هیدروژئولوژیکی
- مصنوعی: آب ورودی به تونل

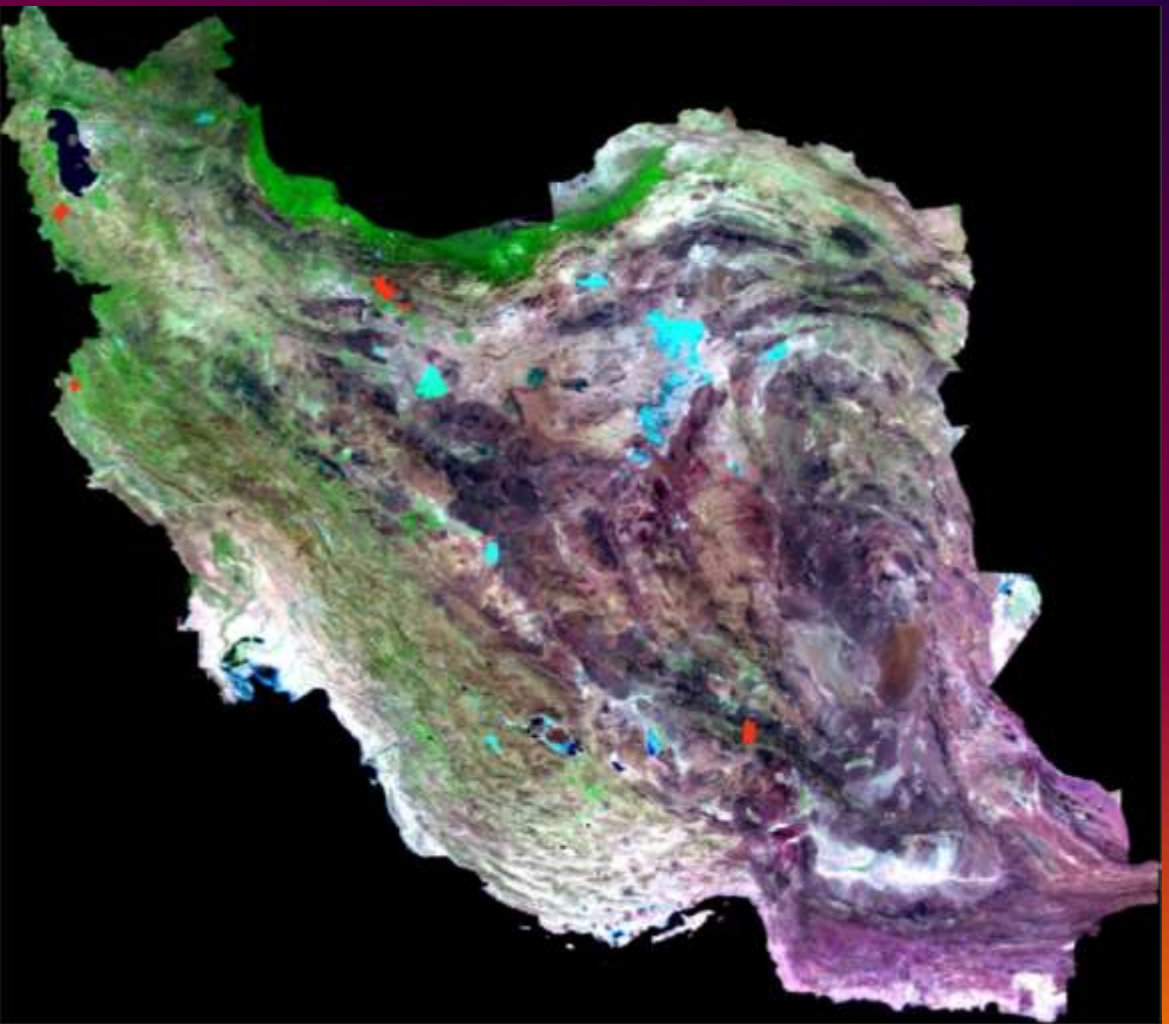
مطالعات کلاسیک: حریم

- مفهوم حریم:
- حریم منابع آب به معنای میزان فاصله‌ای است که تاثیرات هیدروژئولوژیکی در بیش از آن فاصله موثر نخواهد بود.
- روابط مختلفی برای مناطق مختلف وجود دارد (ریچاردز)
- به طور معمول استاندارد حریم آب برای قنوات و چاههای پر آب بین ۳۰۰ الی ۵۰۰ متر است.
- آیا این مسئله کفایت دارد؟

سابقه مطالعات

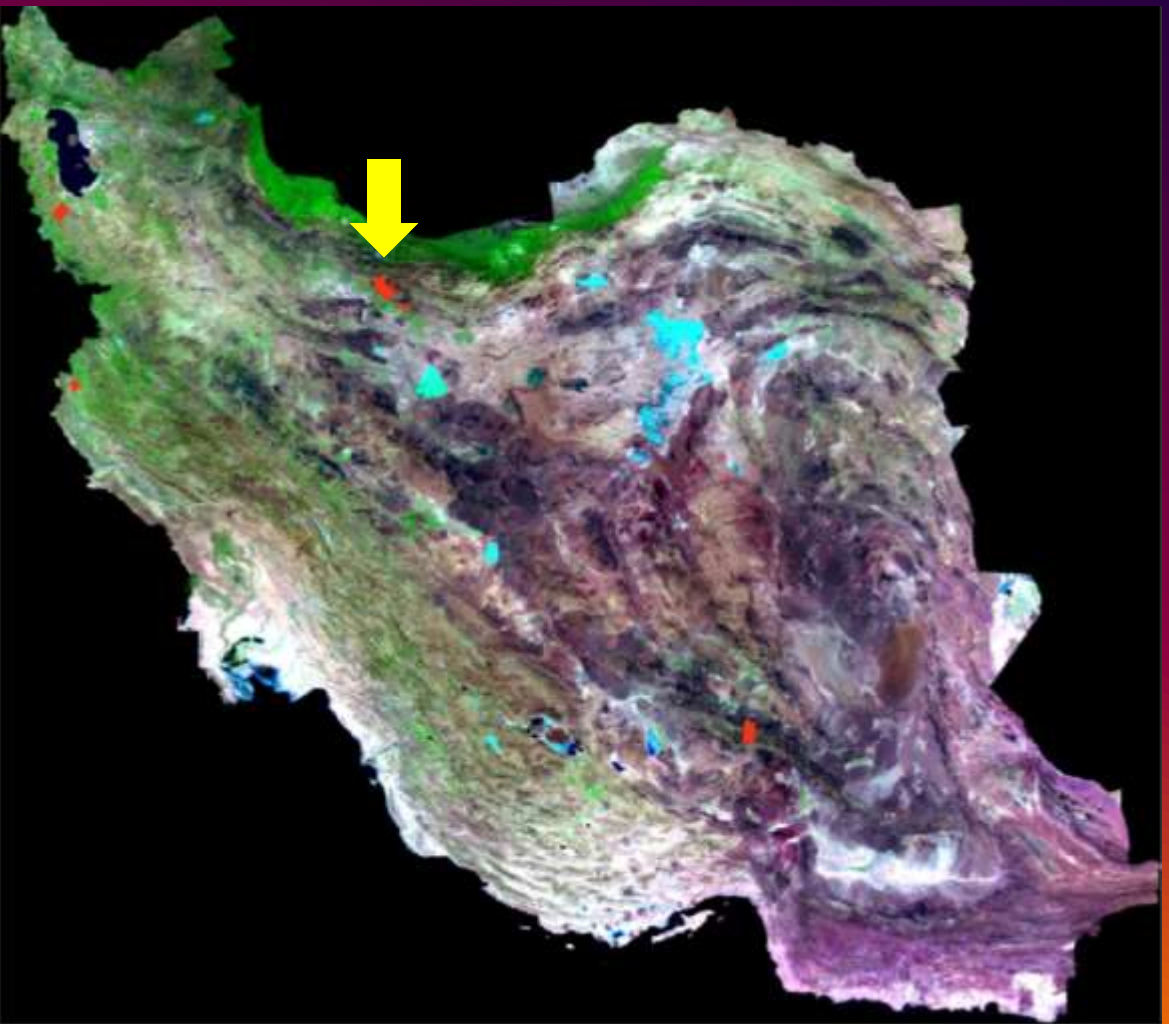
- هادسون (Hodson, 1992)
- جیانو (Jiano, 1995)
- لئوپولد (Leopold, 1971)
- ماتریس ارزیابی اثرات زیست‌محیطی به عنوان یک روش پارامتری
- الوفسون (Olofsson, 1991)
- پیش‌بینی جریان آب زیرزمینی در برخورد با تونل با استفاده از ابزارهای تحلیلی و عددی اغلب به علت نادیده گرفتن پارامترهای مهم شکست خورده است
- دماتیس و کالمارس (Dematteis & Kalmaras, 2001) و سزانو (Cesano, 2001)
- با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف اندیس خطر افت (DHI) ارائه دادند. در روش DHI ابتدا پارامتر PI برای تونل تعریف و سپس با در نظر گرفتن ارتباط تونل با چشمه، فاصله افقی تا چشمه و نوع چشمه، نمایه خطر افت یا DHI تعیین می‌شود.
- توری و دماتیس(Torri and Dematteis, 2007)
- مدل اولیه‌ای جهت پیش‌بینی و صحت سنجی تأثیرپذیری چشمه‌ها و چاه‌ها در اثر حفر تونل‌ها
- وینچنزی و همکاران (Vincenzi et al., 2010)
- مدل مفهومی اولیه

تجربیات

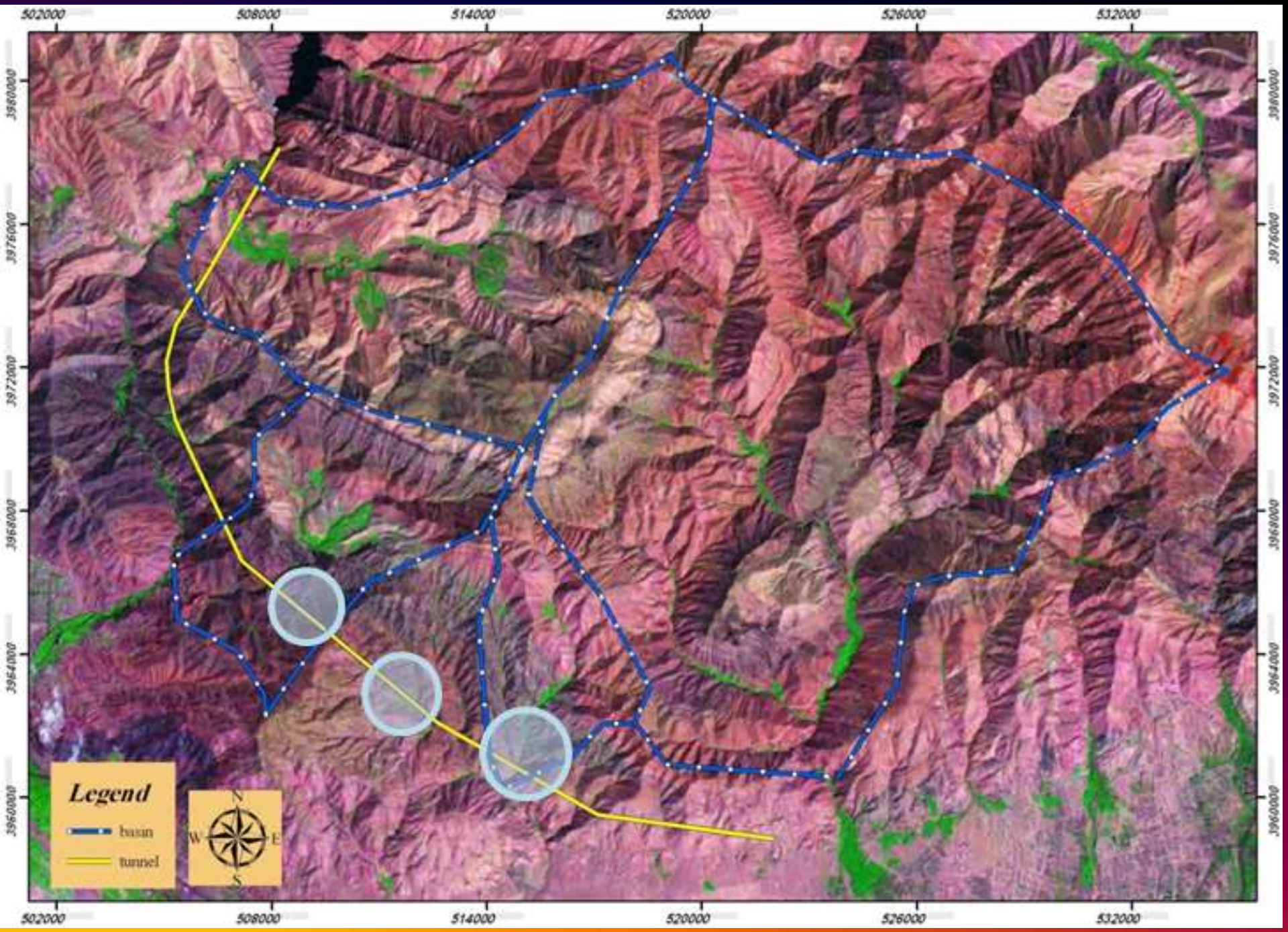


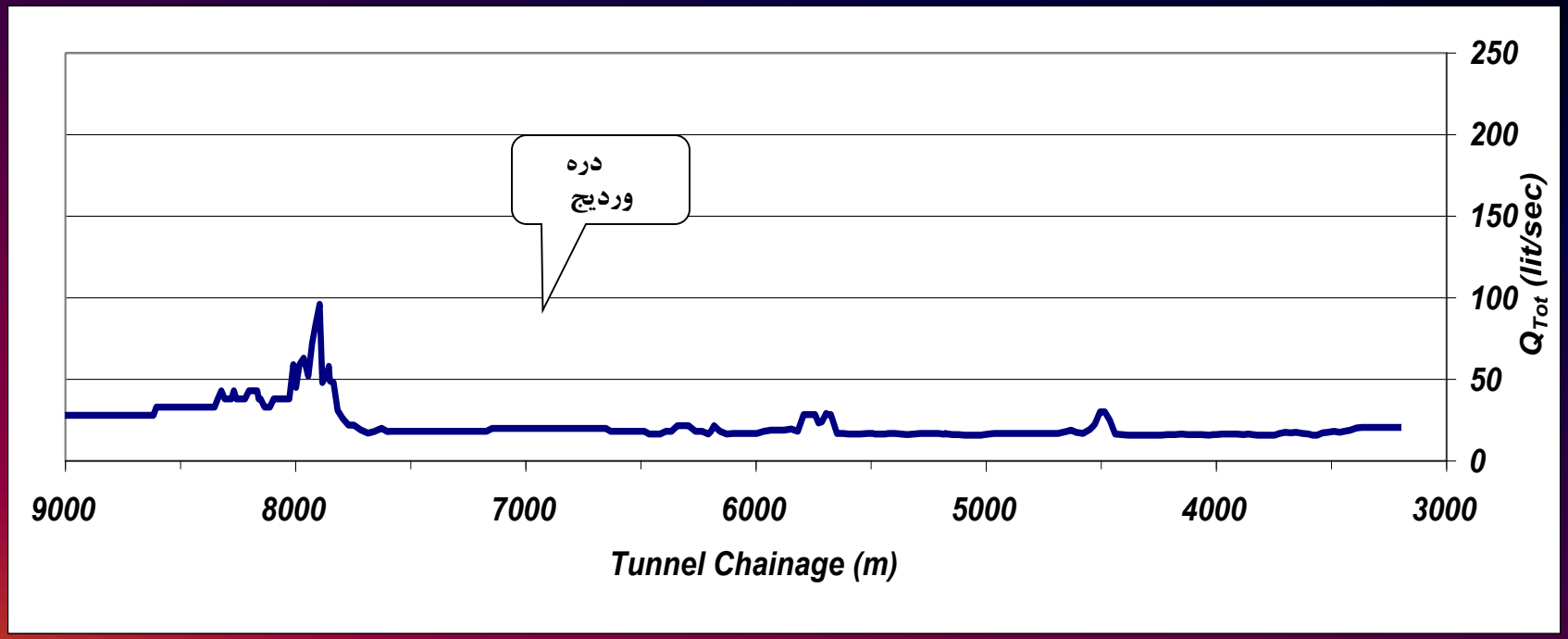
- تونل کرج
- تونل گلاس
- تونل کرمان
- تونل خط شش
- تونل بازی دراز

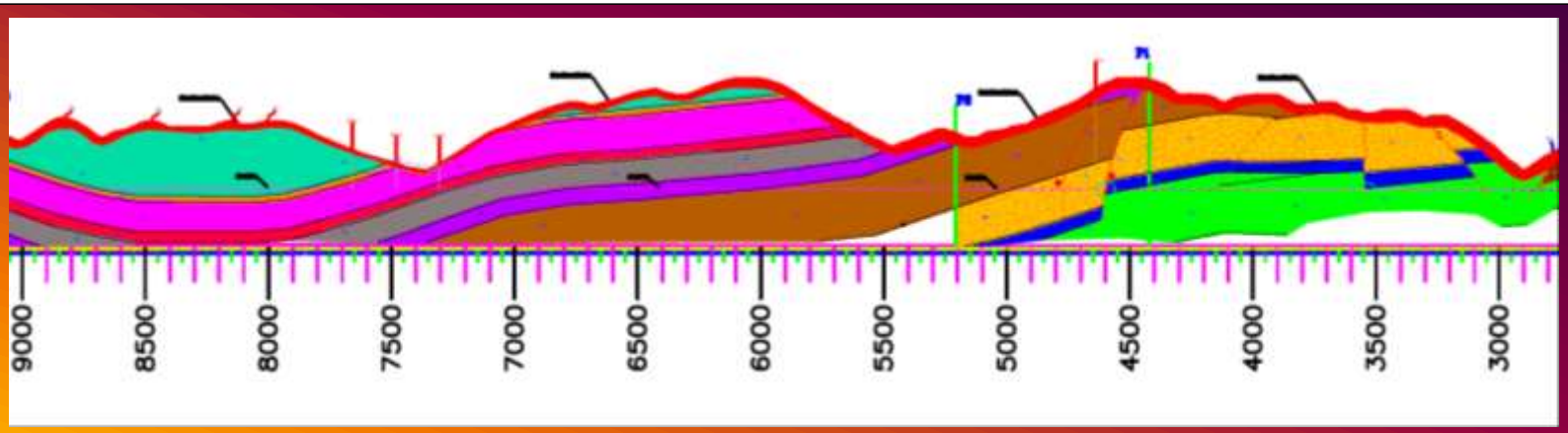
تجربیات

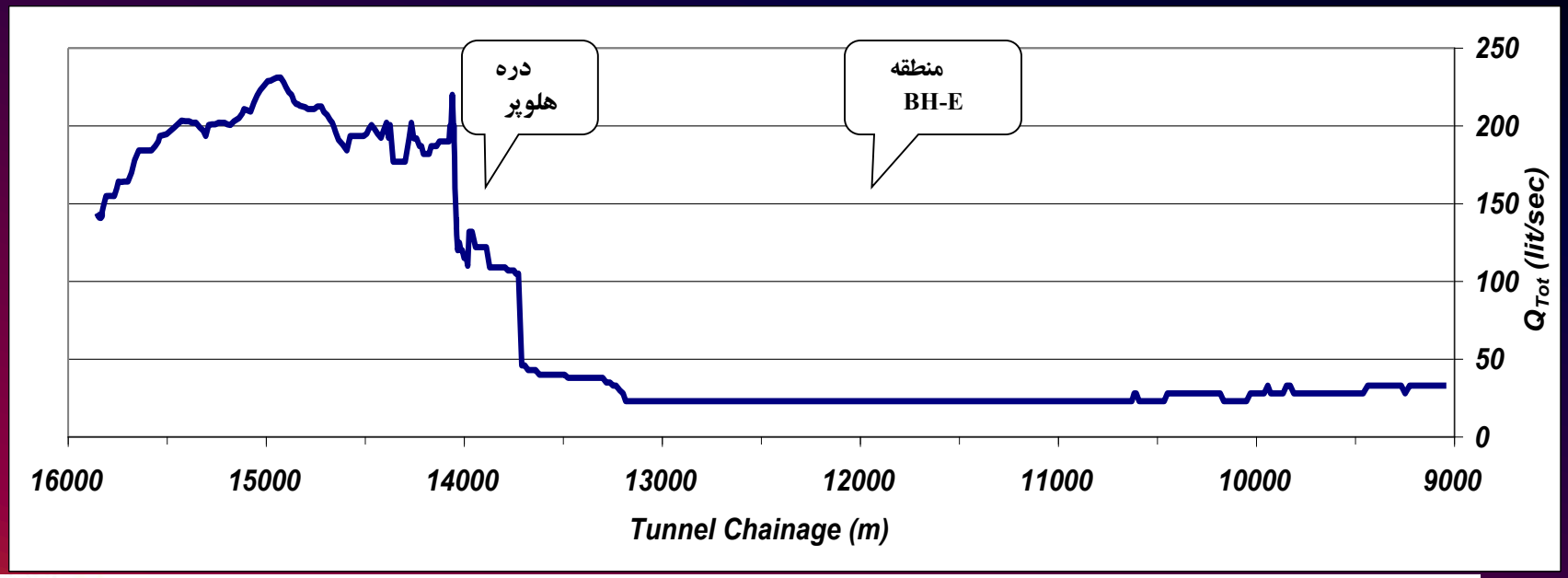


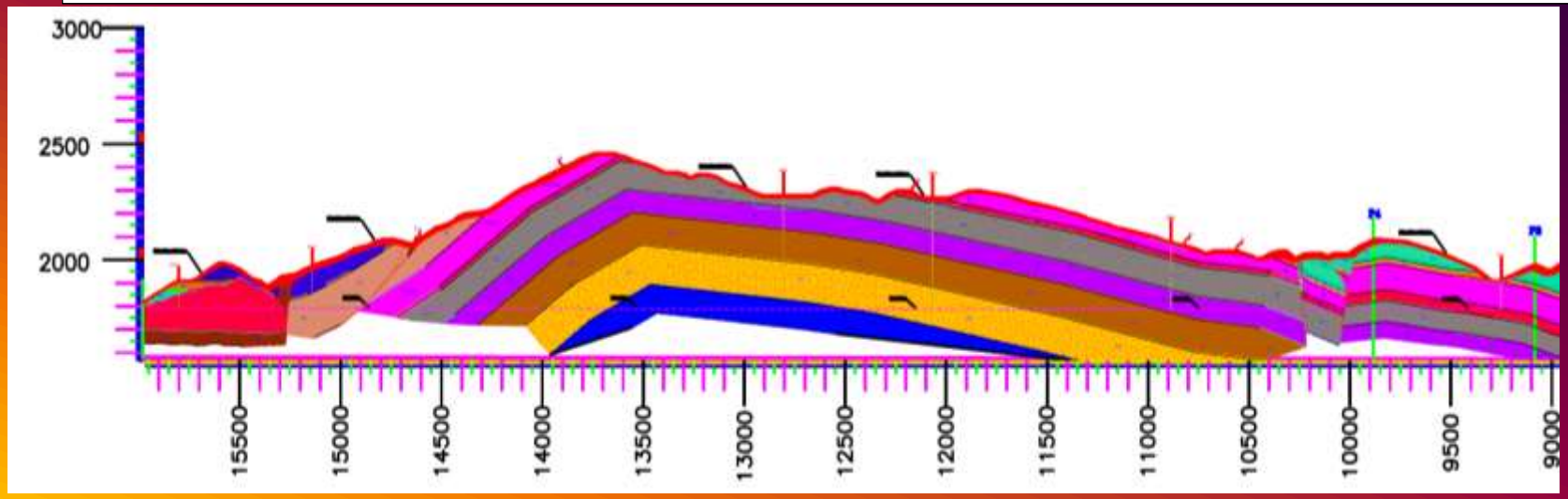
- تونل کرج
- تونل گلاس
- تونل کرمان
- تونل خط شش
- تونل بازی دراز

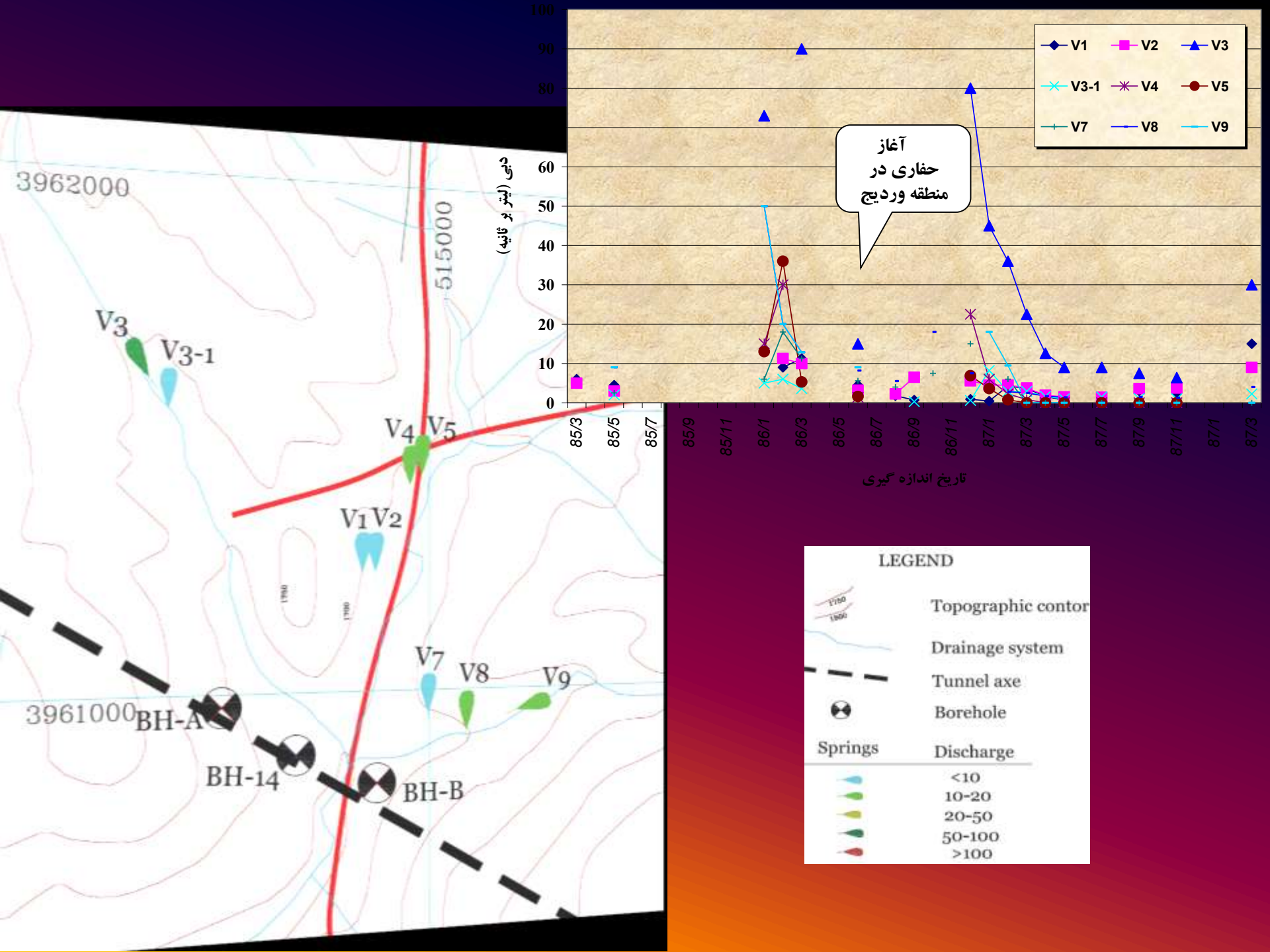

502000
508000
514000
520000
526000
532000
3980000
3976000
3972000
3968000
3964000
3960000
Legend
basin
tunnel
N
W
E
S

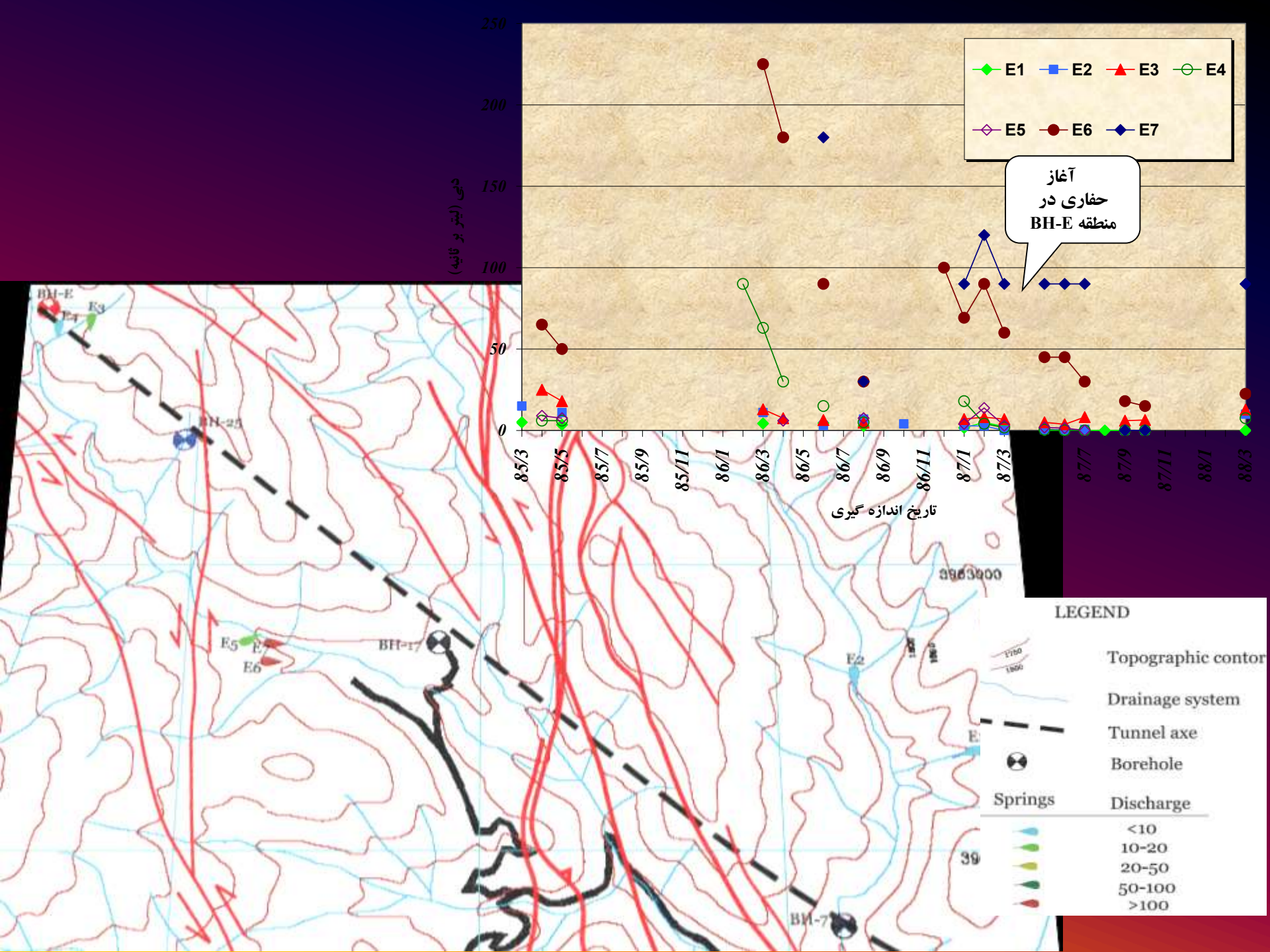

دره
وردیج
250
200
150
100
50
0
Q_{Tot} (lit/sec)
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
Tunnel Chainage (m)

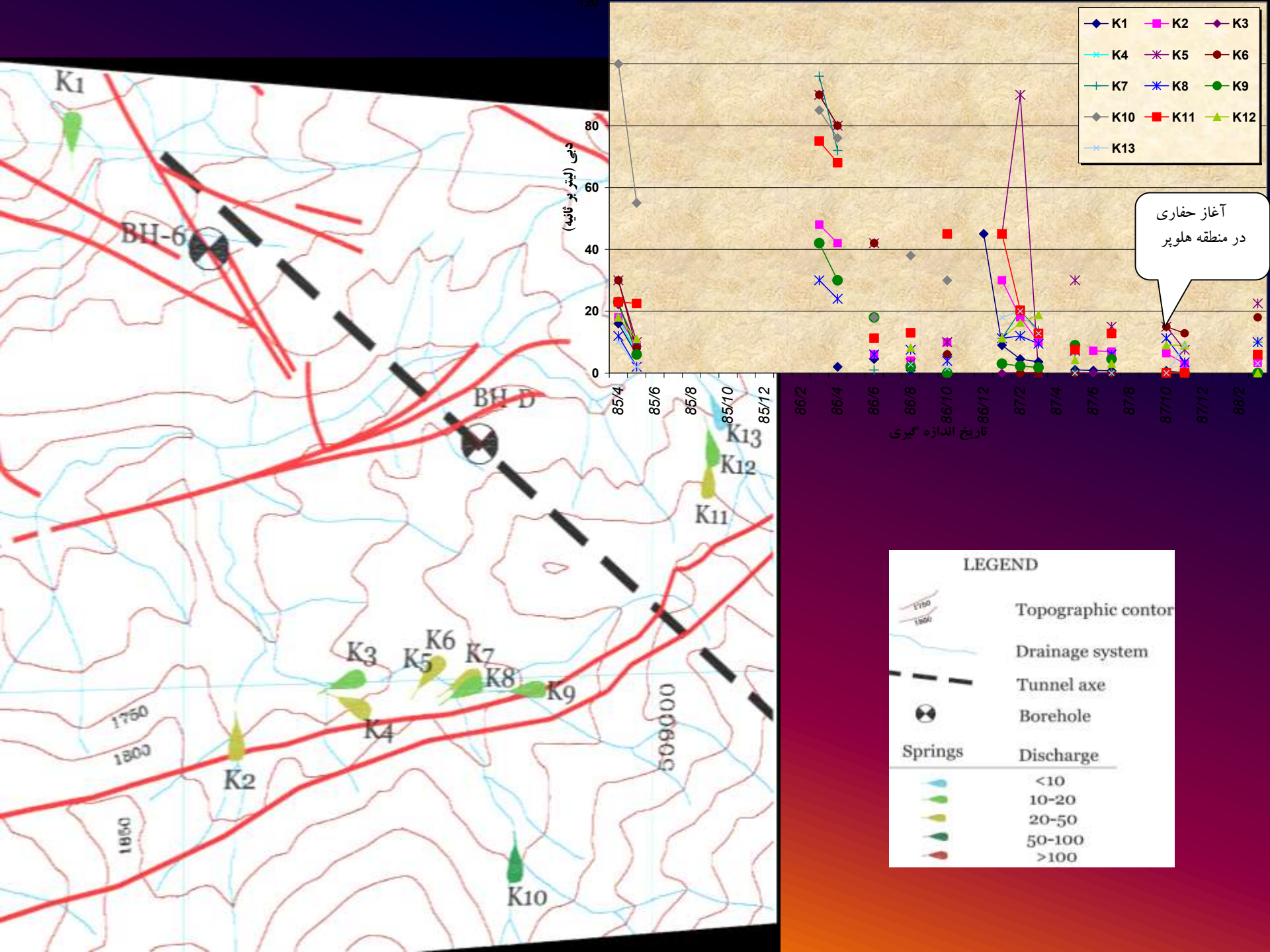

9000
8500
8000
7500
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000


دره
هلوپر
منطقه
BH-E
250
200
150
100
50
0
Q_{Tot} (lit/sec)
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
9000
Tunnel Chainage (m)

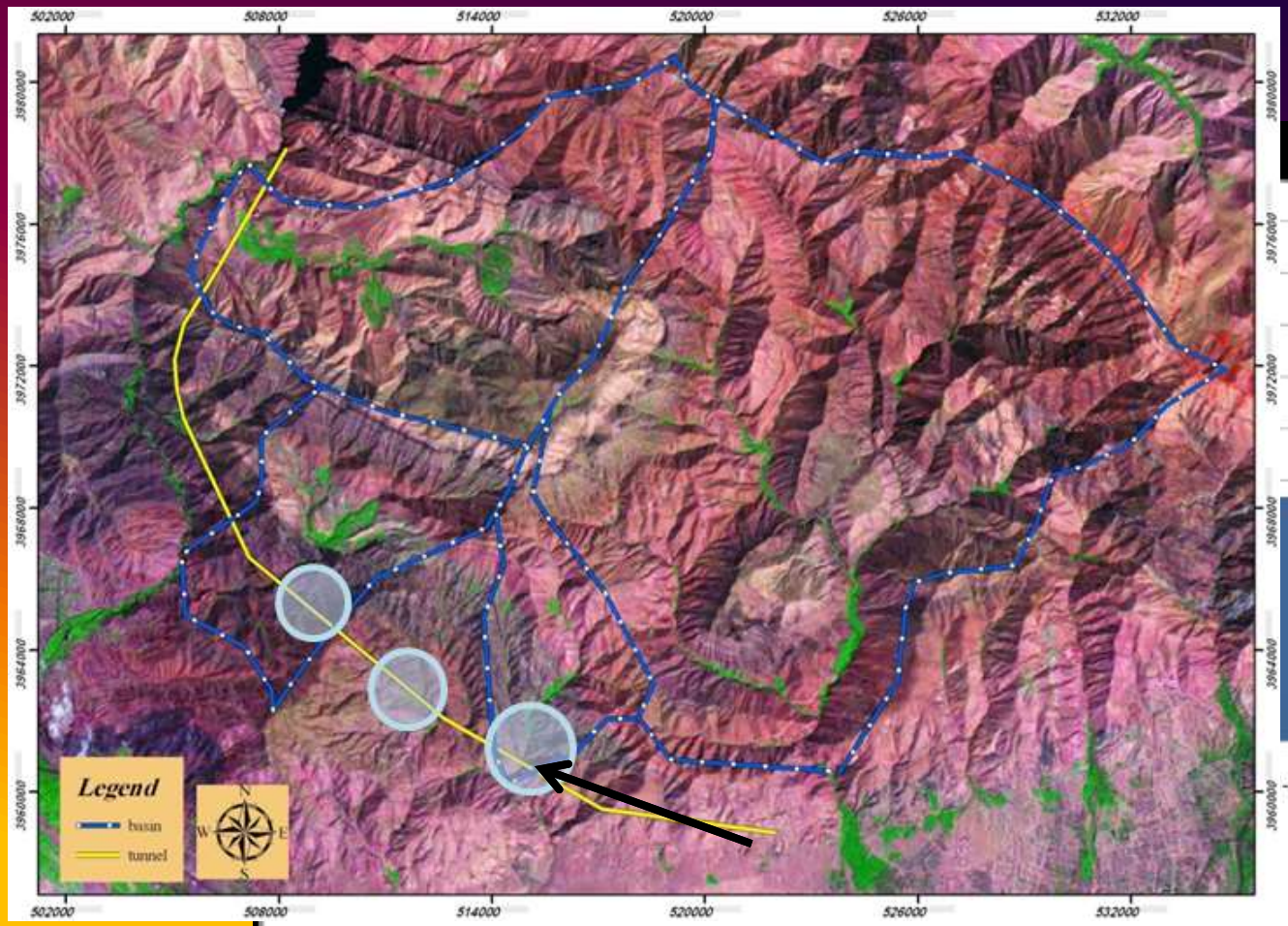

3000
2500
2000
15500
15000
14500
14000
13500
13000
12500
12000
11500
11000
10500
10000
9500
9000

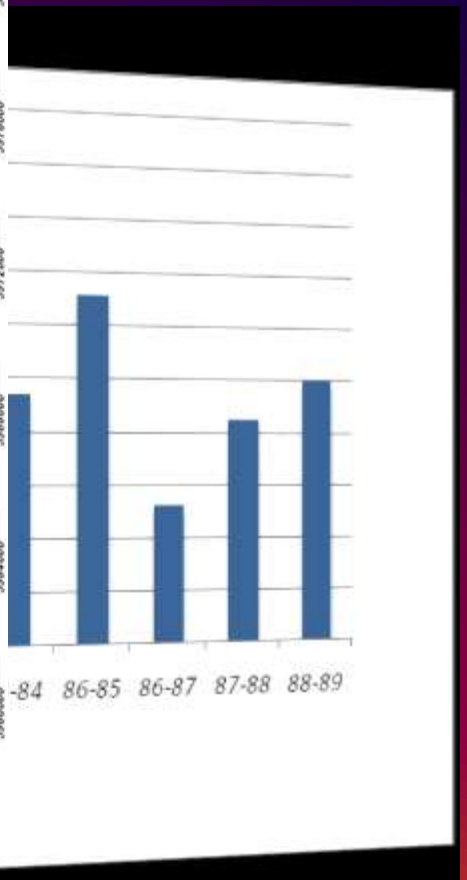

3962000
515000
3961000
V3
V3-1
V4
V5
V1
V2
V7
V8
V9
BH-A
BH-14
BH-B
دبی (لیتر بر ثانیه)
100
90
80
60
50
40
30
20
10
0
V1
V2
V3
V3-1
V4
V5
V7
V8
V9
آغاز
حفاری در
منطقه وردیج
85/3
85/5
85/7
85/9
85/11
86/1
86/3
86/5
86/7
86/9
86/11
87/1
87/3
87/5
87/7
87/9
87/11
87/1
87/3
تاریخ اندازه گیری
LEGEND
Topographic contor
Drainage system
Tunnel axe
Borehole
Springs
Discharge
<10
10-20
20-50
50-100
>100


E1
E2
E3
E4
E5
E6
E7
آغاز
حفاری در
منطقه BH-E
دبی (لیتر بر ثانیه)
250
200
150
100
50
0
85/3
85/5
85/7
85/9
85/11
86/1
86/3
86/5
86/7
86/9
86/11
87/1
87/3
87/7
87/9
87/11
88/1
88/3
تاریخ اندازه گیری
BH-E
BH-25
BH-17
BH-7
LEGEND
Topographic contor
Drainage system
Tunnel axe
Borehole
Springs
Discharge
<10
10-20
20-50
50-100
>100

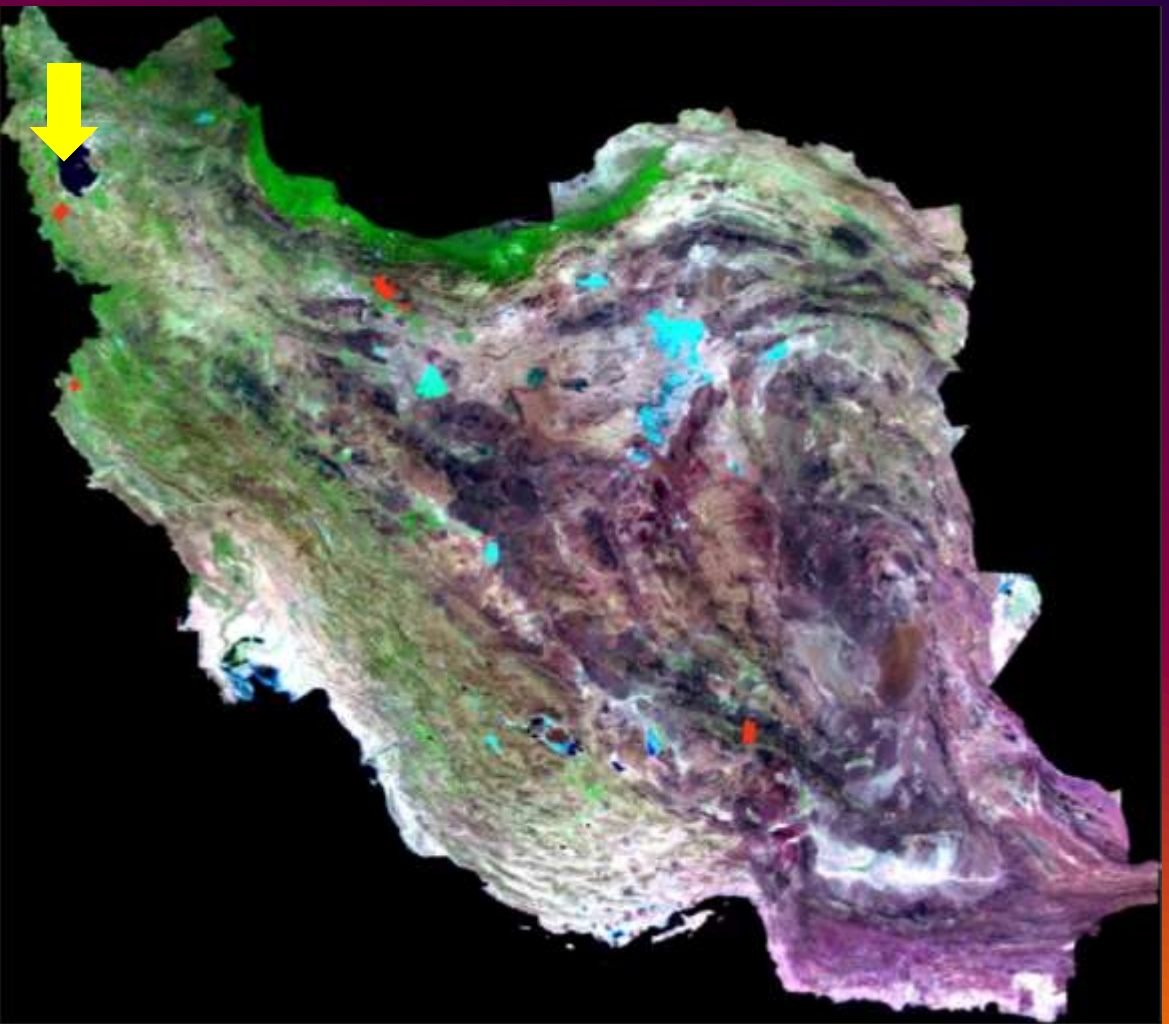

K1
BH-6
BH-D
K13
K12
K11
K3
K5
K6
K7
K8
K9
K4
K2
K10
1750
1800
1850
509000
LEGEND
Topographic contor
Drainage system
Tunnel axe
Borehole
Springs
Discharge
<10
10-20
20-50
50-100
>100
K1
K2
K3
K4
K5
K6
K7
K8
K9
K10
K11
K12
K13
دبی (لیتر بر ثانیه)
0
20
40
60
80
85/4
85/6
85/8
85/10
85/12
86/2
86/4
86/6
86/8
86/10
86/12
87/2
87/4
87/6
87/8
87/10
87/12
88/2
تاریخ اندازه گیری
آغاز حفاری
در منطقه هلوپر

- آبدهی اکثر چشمه‌های مسیر تونل در بهار ۱۳۸۷ در مقایسه با بهار ۱۳۸۶ کاهش قابل توجهی یافته
- کاهش آبدهی چشمه های محدوده کندور (چشمه‌های k) همزمان با چشمه های دره وردیج



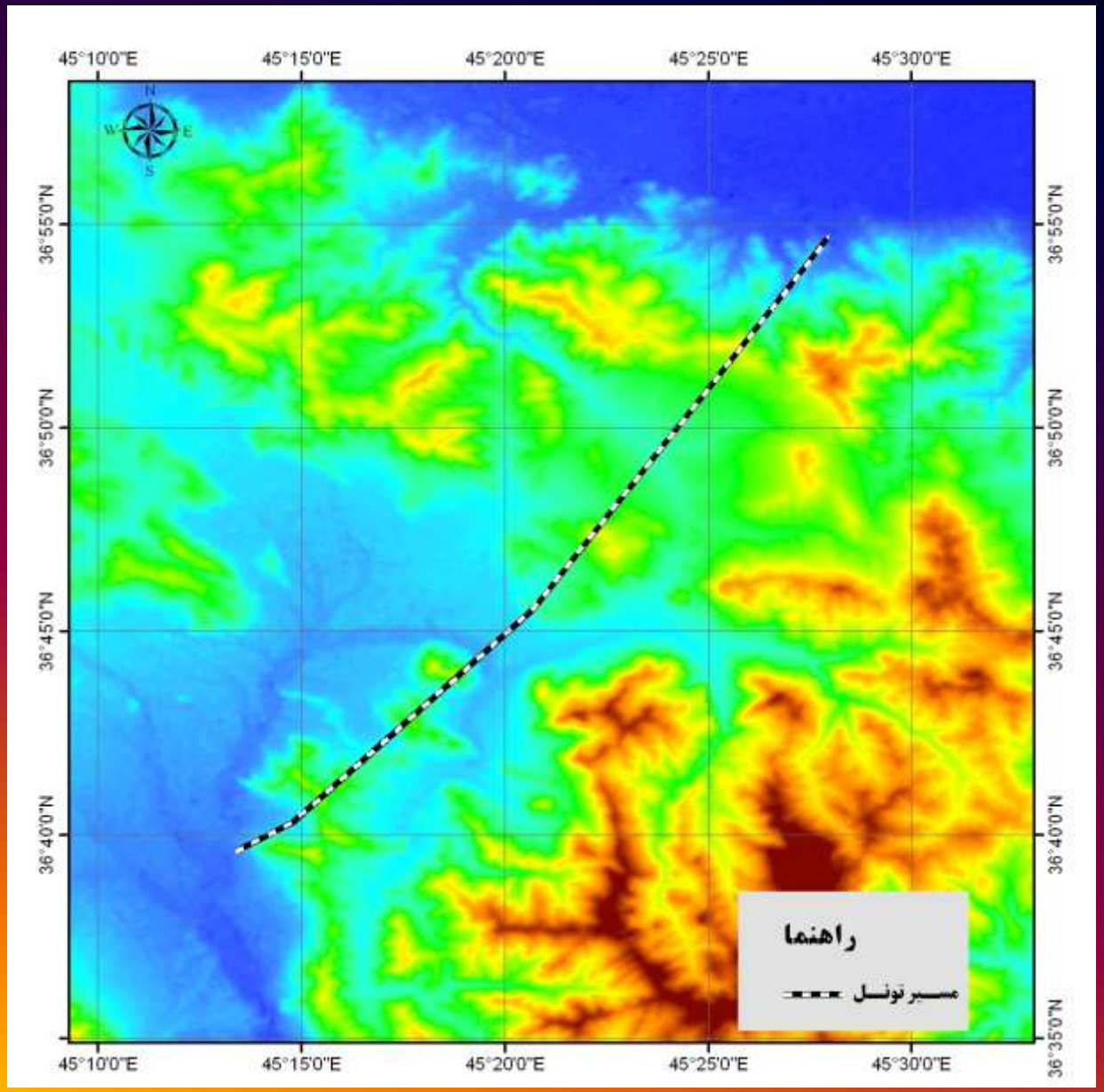


تجربیات

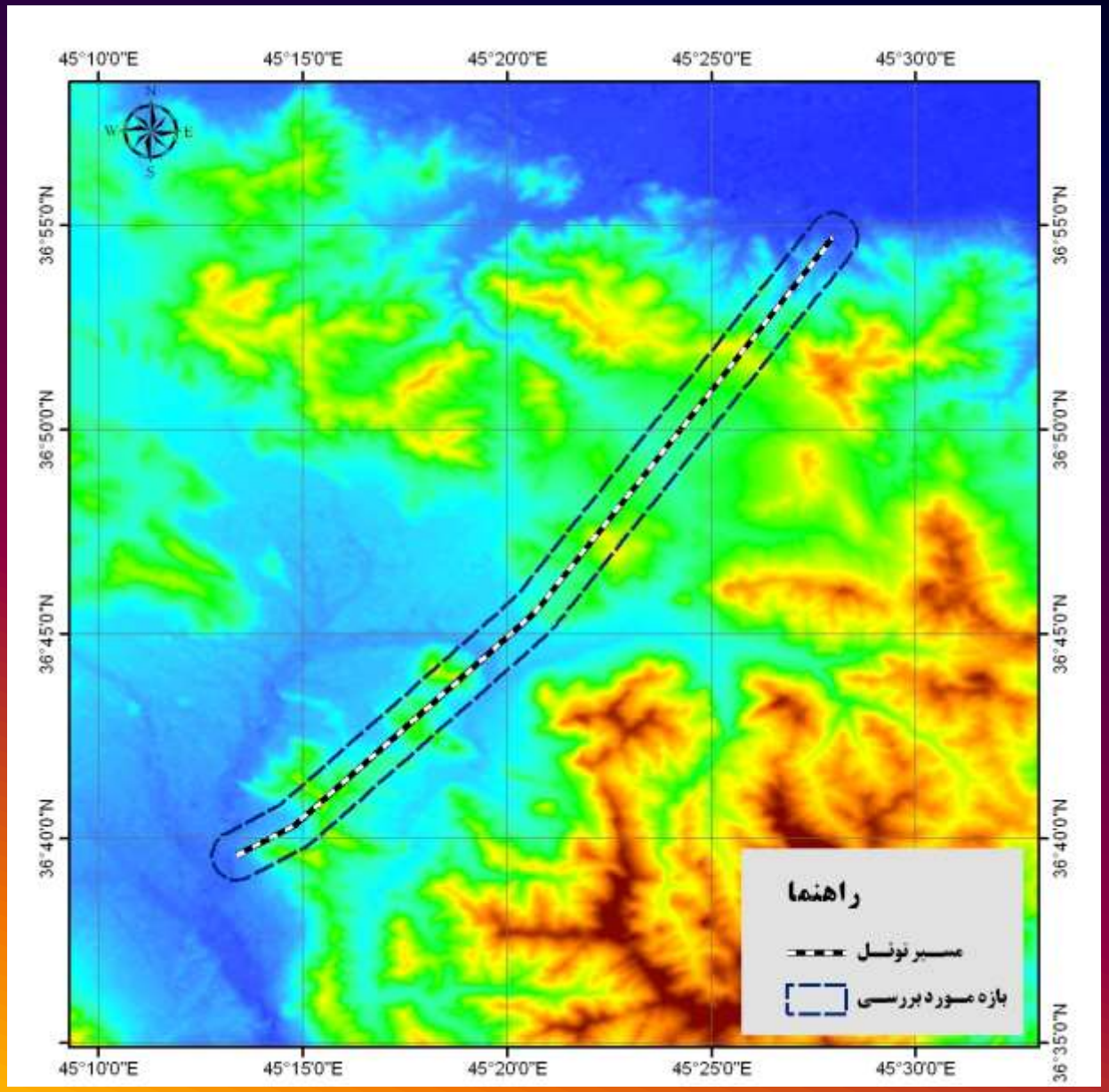


- تونل کرج
- تونل گلاس
- تونل کرمان
- تونل خط شش
- تونل بازی دراز

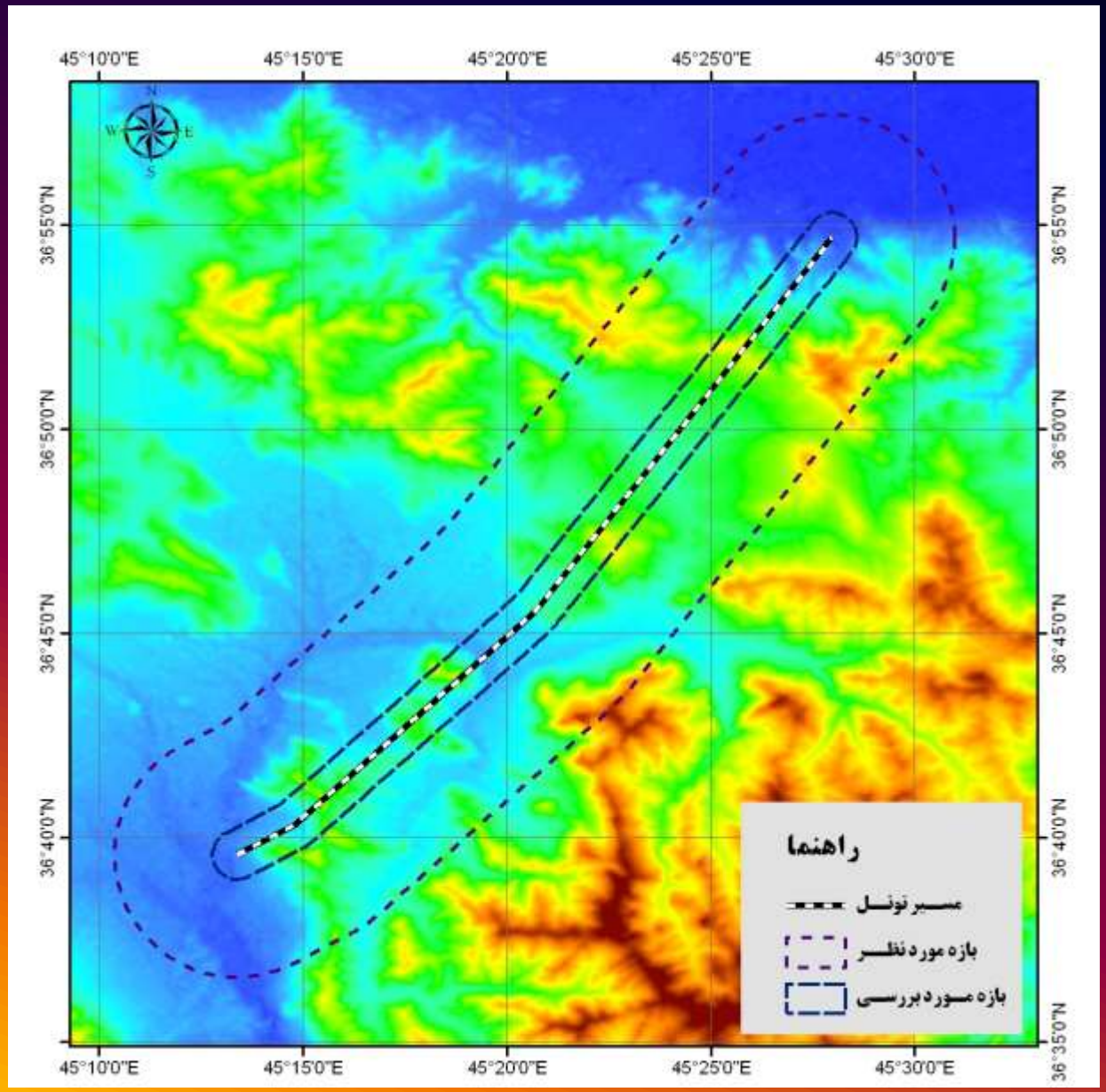
مسیر و ارتفاعات



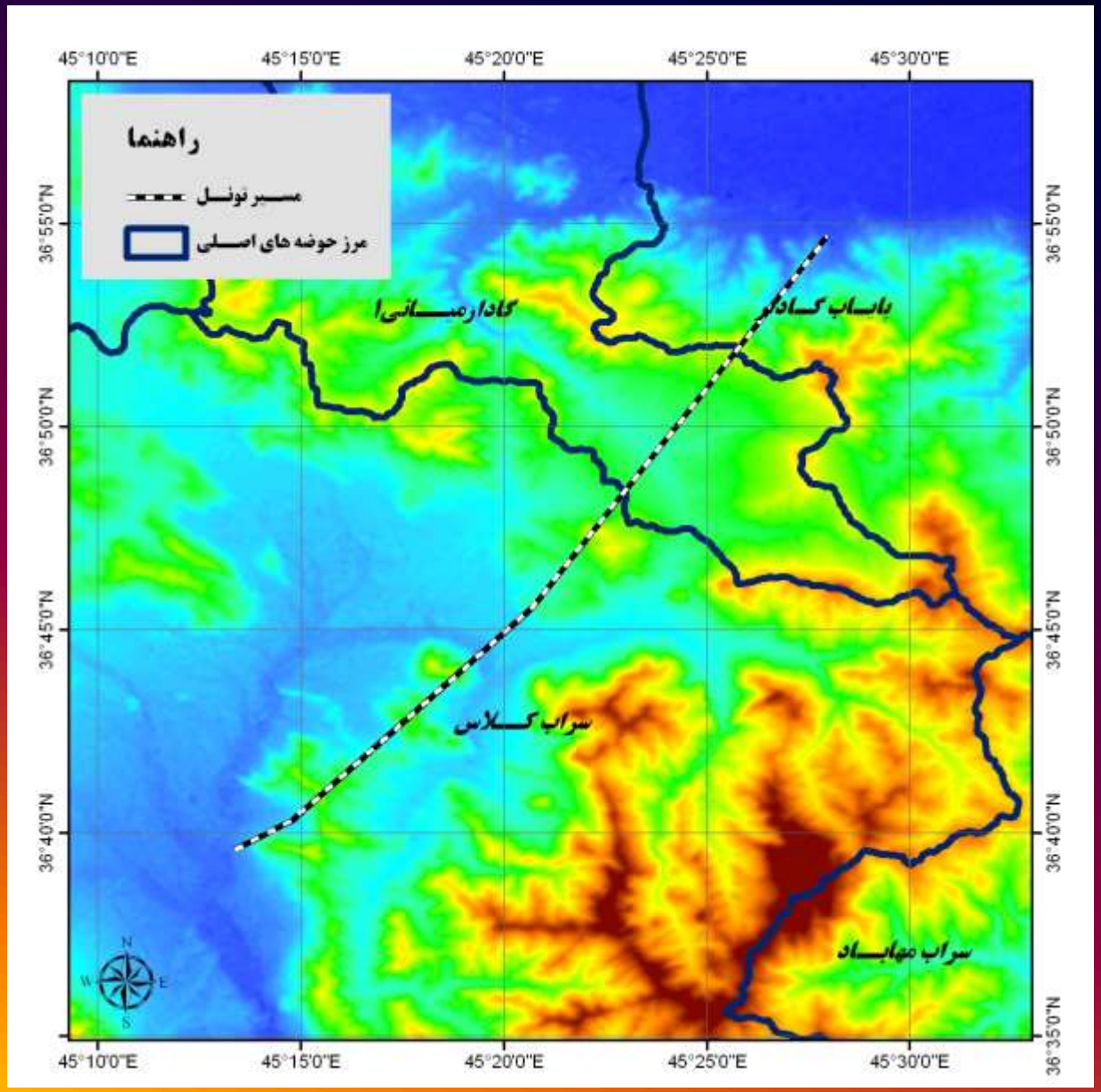
بازه مورد بررسی



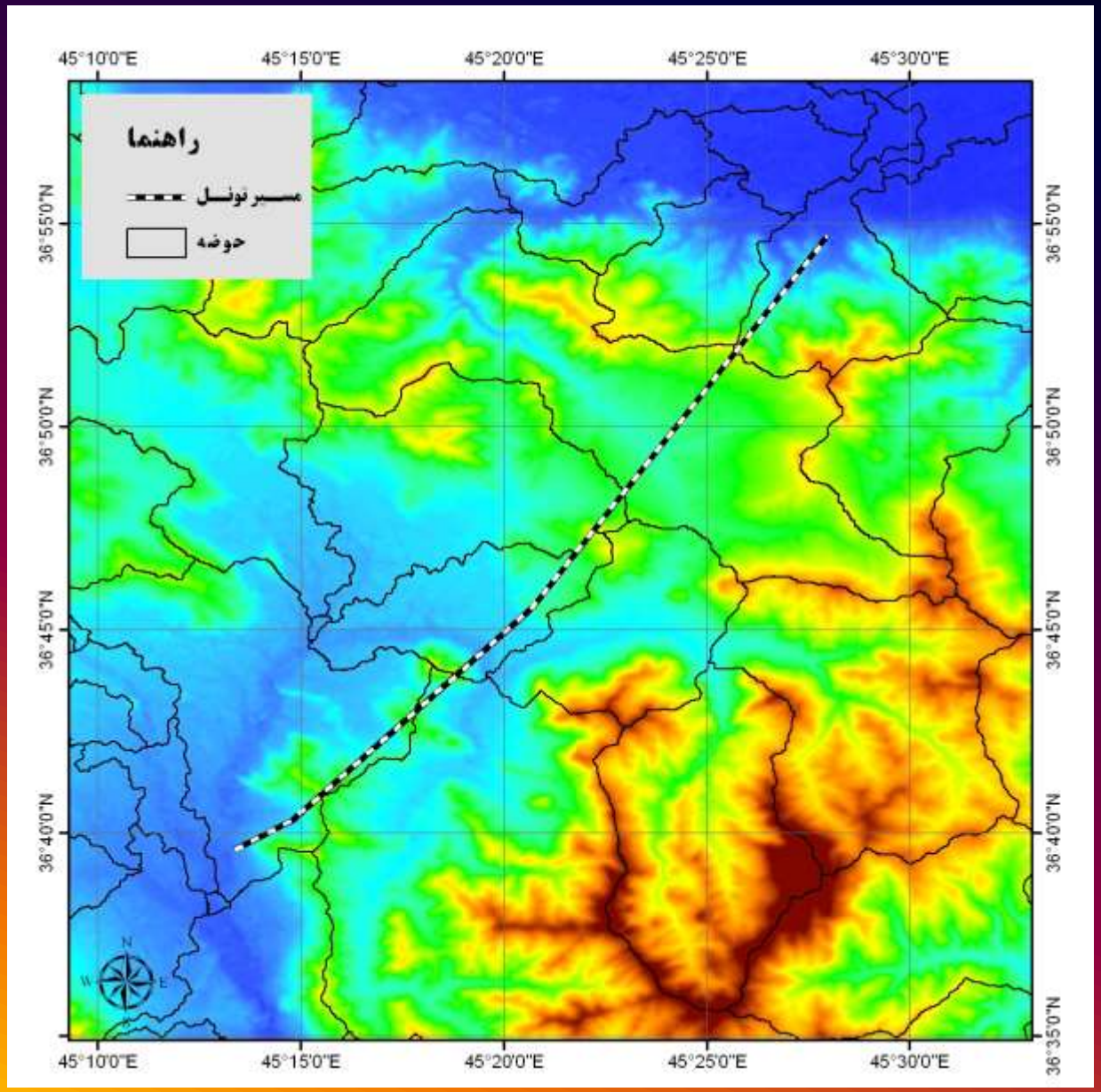
بازه مورد نظر

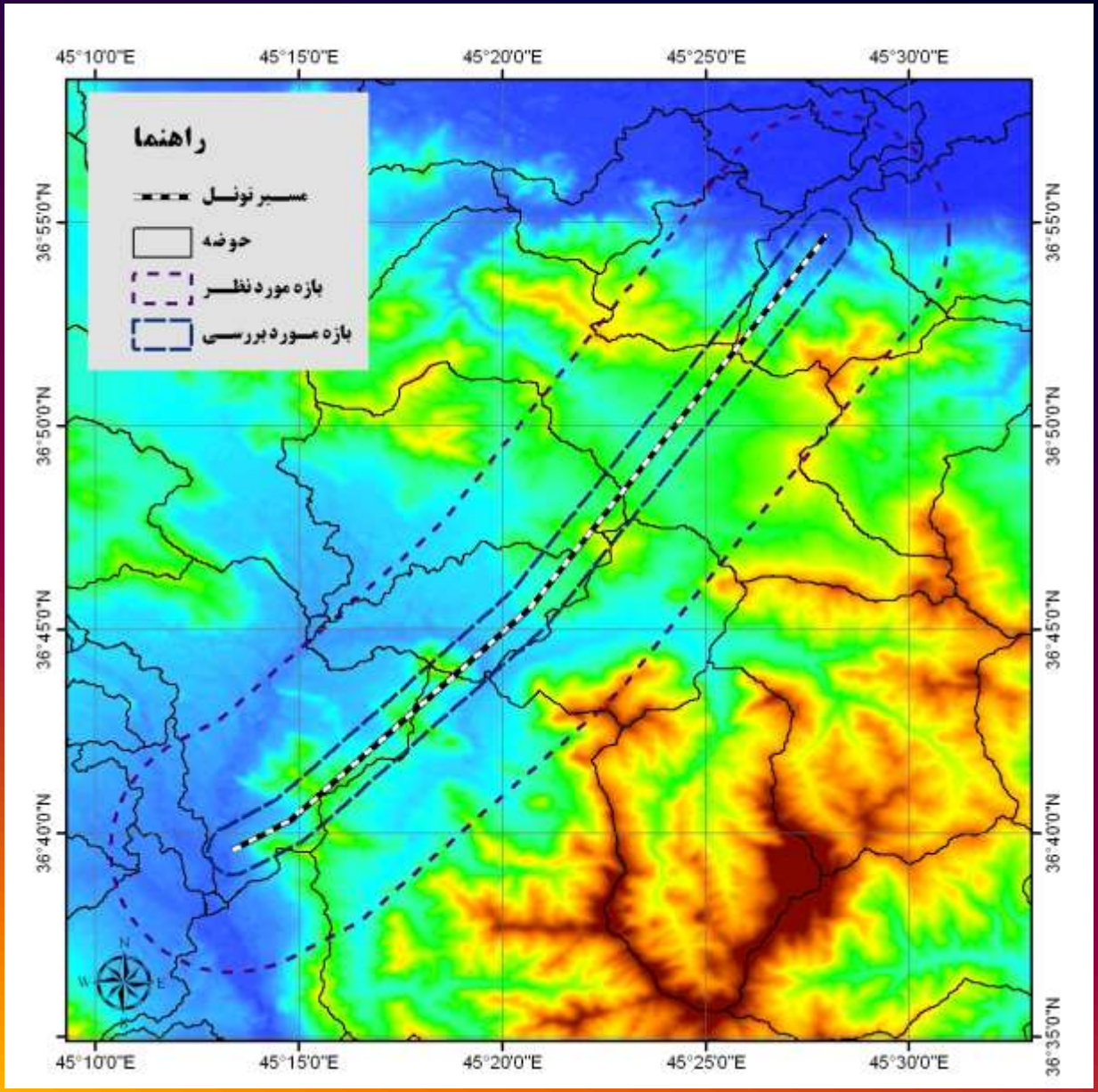


حوضه های اصلی



حوضه های منطقه

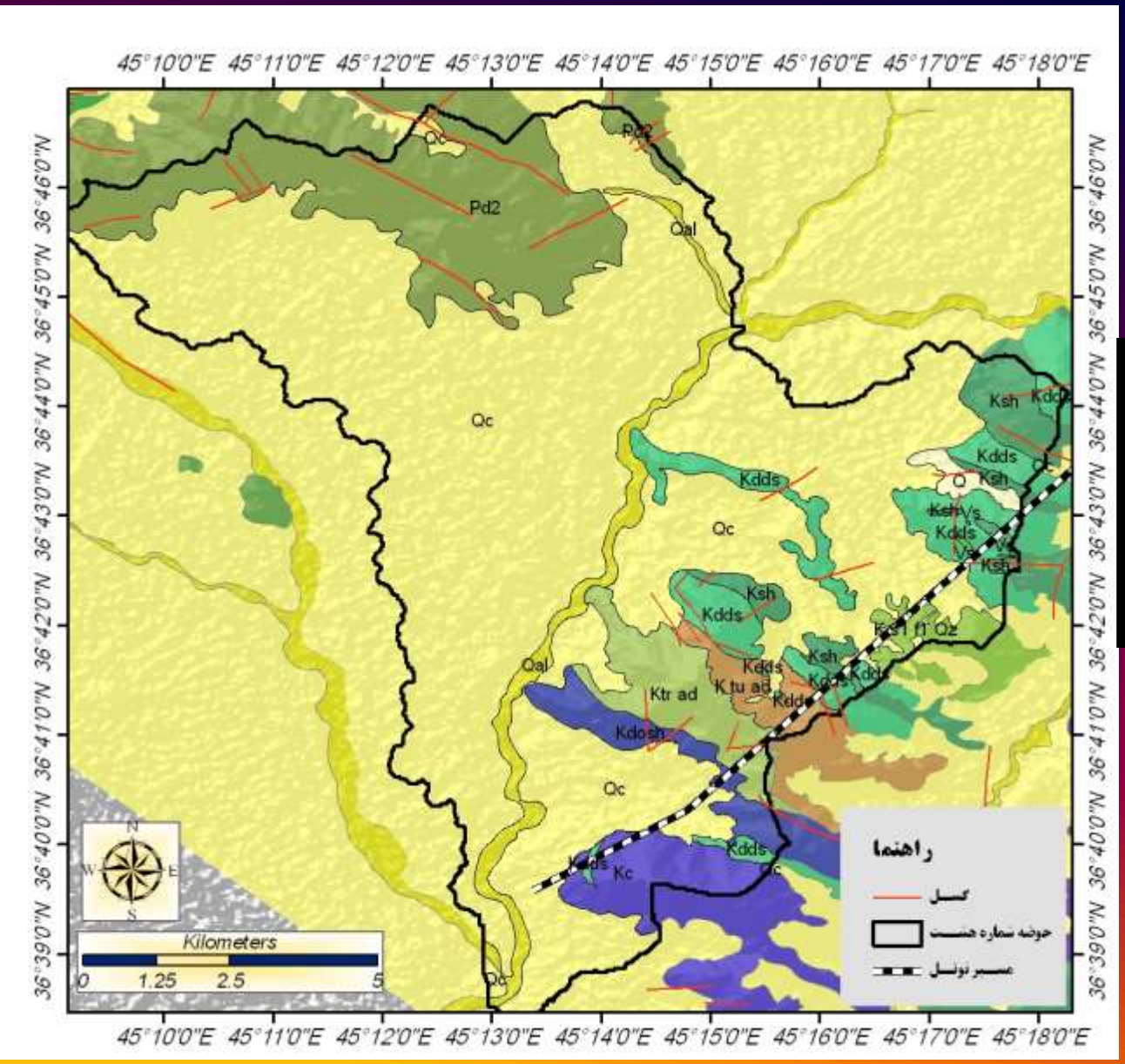


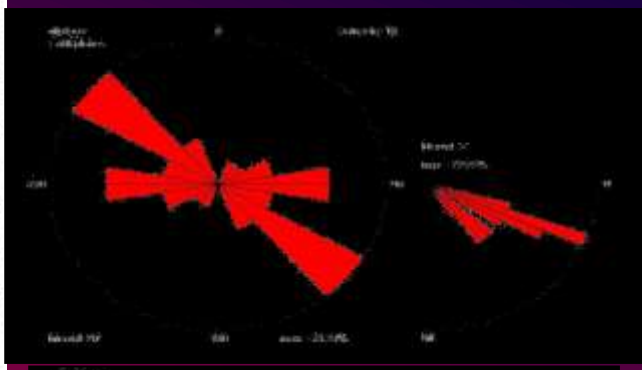

راهنما
مسیر تونل
حوضه
بازه مورد نظر
بازه مورد بررسی
45°10'0"E
45°15'0"E
45°20'0"E
45°25'0"E
45°30'0"E
36°55'0"N
36°50'0"N
36°45'0"N
36°40'0"N
36°35'0"N

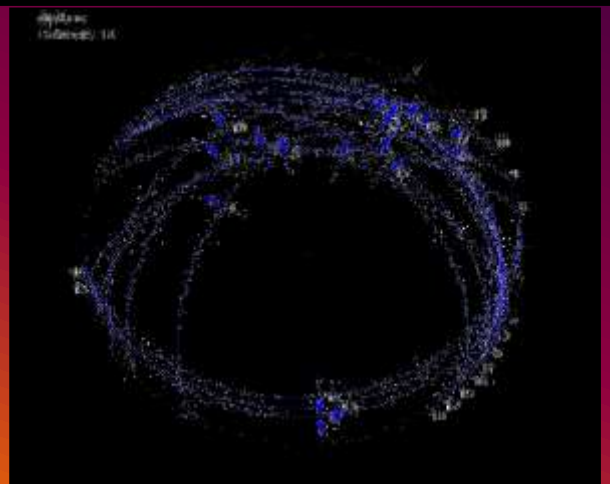
- **زون‌های هیدروژئولوژیکی محدوده مورد مطالعه**

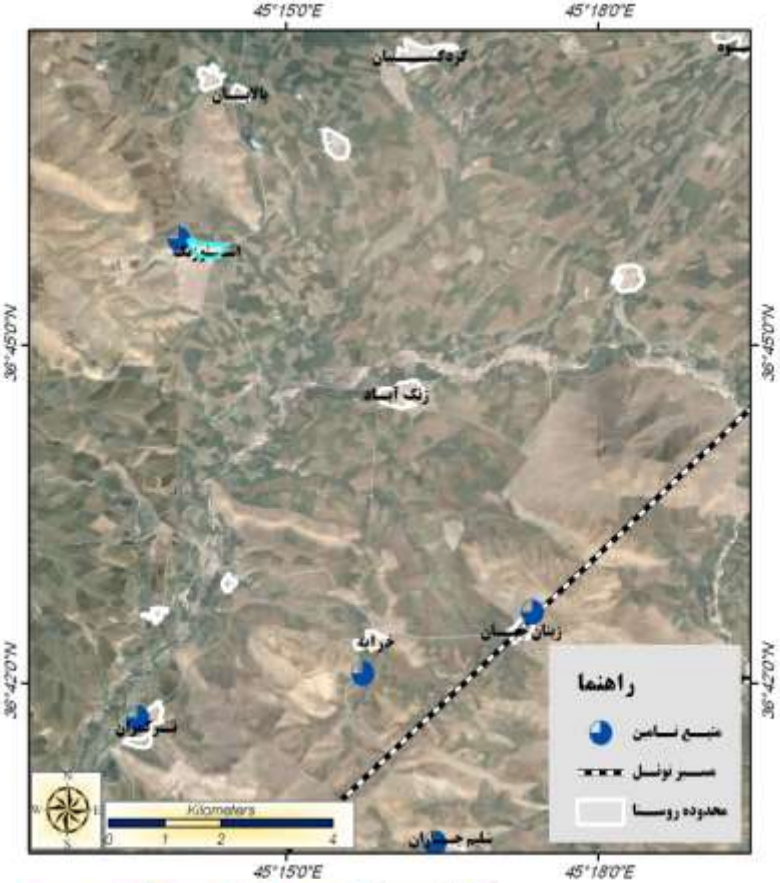
زون هیدرو ژئولوژیکی	توصیف زمین شناسی
HG1	Gray medium bedded limestone
HG2	Crystallized dolomite dolomite limestone
HG3	Gray microcrystallized limestone
HG4	Cristalized limestone and dolomite
HG5	Dolomite calcareous dolomite
HG6	Cream-Dark Dolomite and sandy dolomite with intercalation of chert
HG7	Alternation of limestone dolomaite and limestone
HG8	Dolomite with interbed of Slate and Schist
HG9	alternation of dolomite and shale
HG10	Alternation of slaty shale limestone dolomaite
HG11	Granite and Granodiorite
HG12	Shale,Slate and phyllite
HG12	Shale and slaty shale
HG13	Silica Vein
HG14	Conglomerate
HG15	Genesis

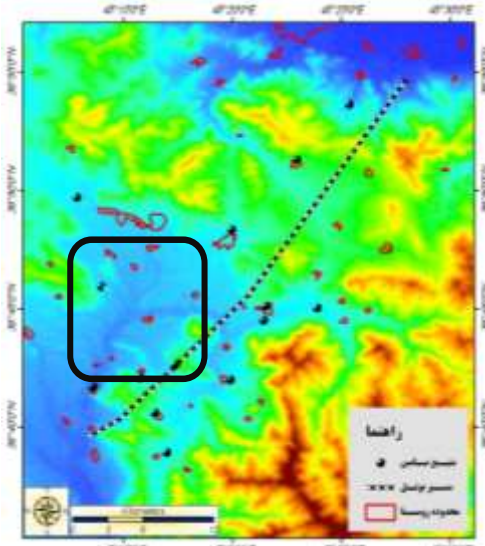
افزایش توانایی ذخیره و انتقال آب زیرزمینی

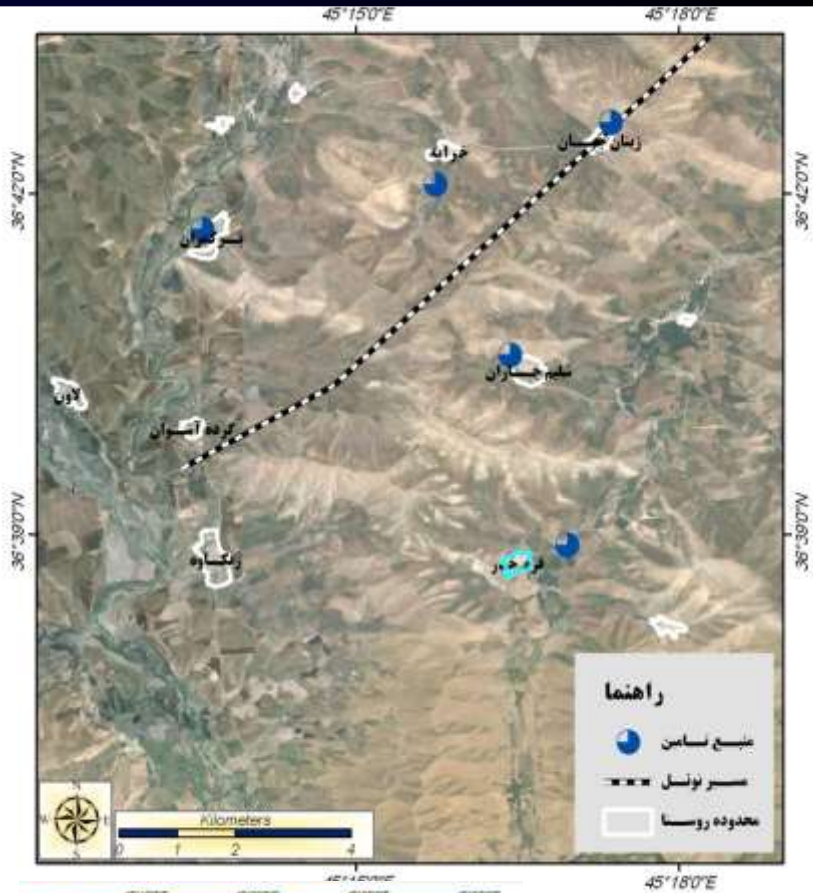

45°10'0"E 45°11'0"E 45°12'0"E 45°13'0"E 45°14'0"E 45°15'0"E 45°16'0"E 45°17'0"E 45°18'0"E
36°46'0"N 36°45'0"N 36°44'0"N 36°43'0"N 36°42'0"N 36°41'0"N 36°40'0"N 36°39'0"N
Pd2
Qc
Qal
Ksh
Kdds
Ktr ad
Kdosh
Kc
راهنما
کسل
حوضه شماره هشت
مسیر تونل
Kilometers
0 1.25 2.5 5

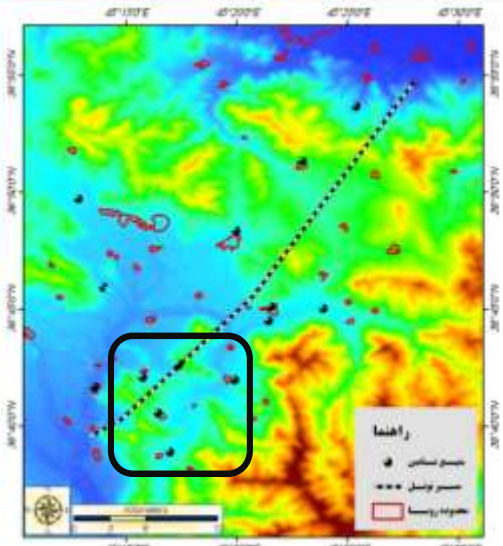




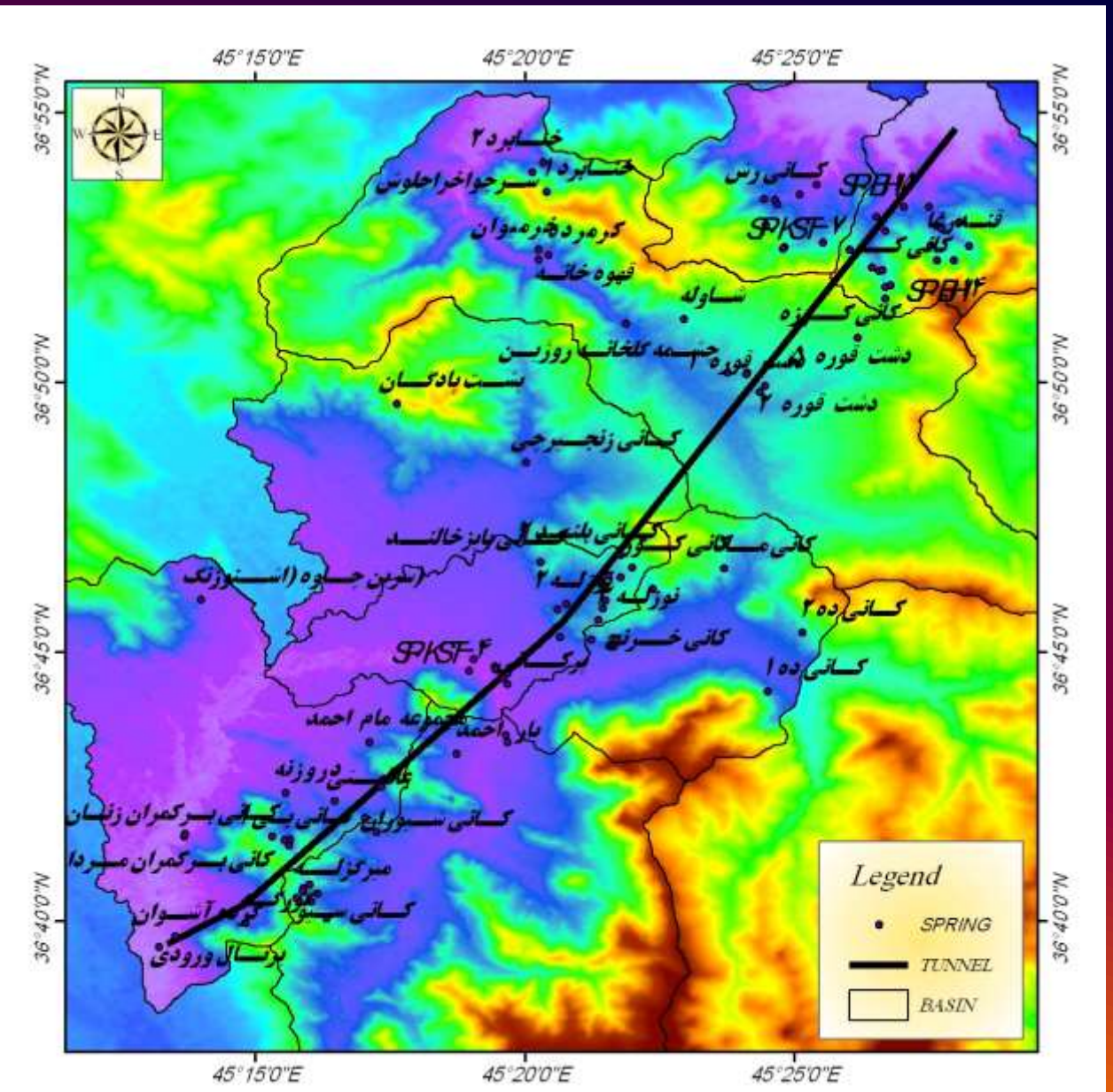

45°15'0"E
45°18'0"E
36°45'0"N
36°42'0"N
زنگ آباد
زنان جیان
خرابات
راهنما
منبع تامین
مسیر تونل
محدوده روستا
Kilometers
0 1 2 4



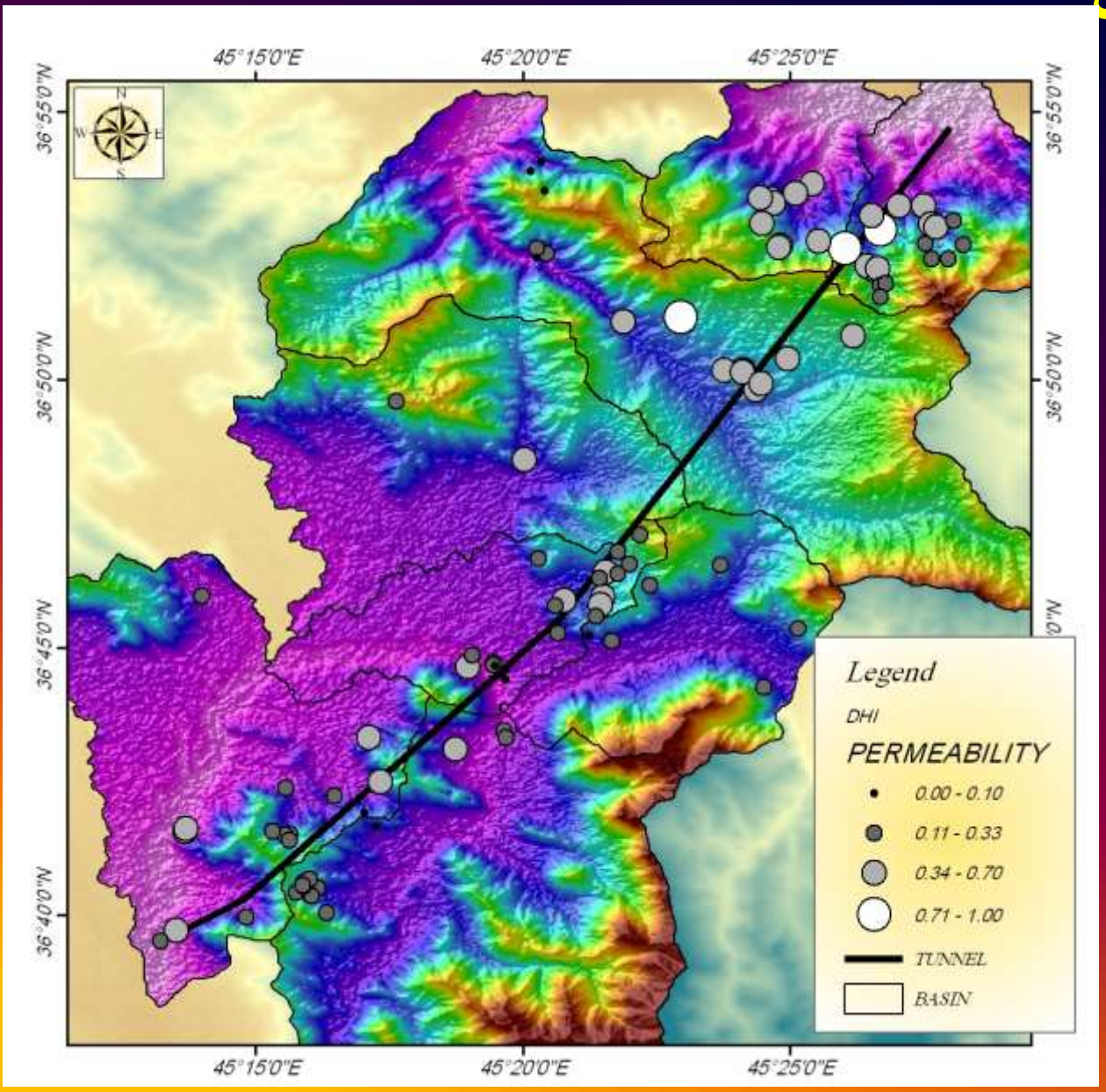

45°15'0"E
45°18'0"E
36°42'0"N
36°39'0"N
زنان جیان
خرابات
سرخوان
سلیم جیان
گرده آبیان
زنگاوه
فرخور
راهنما
منبع تامین
مسیر تونل
محدوده روستا
Kilometers
0 1 2 4



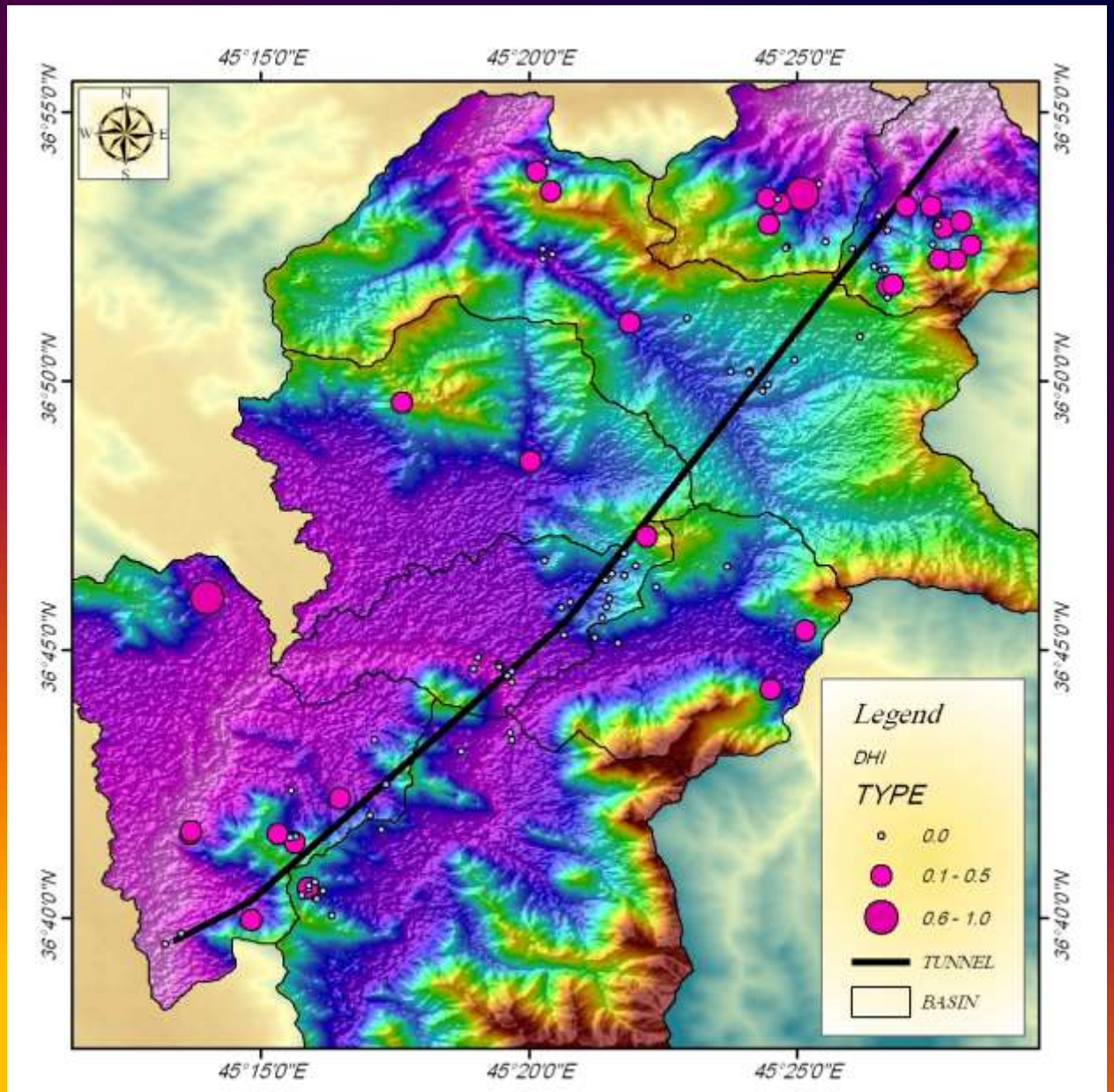
- **موقعیت و اسامی چشمه‌های مسیر تونل**



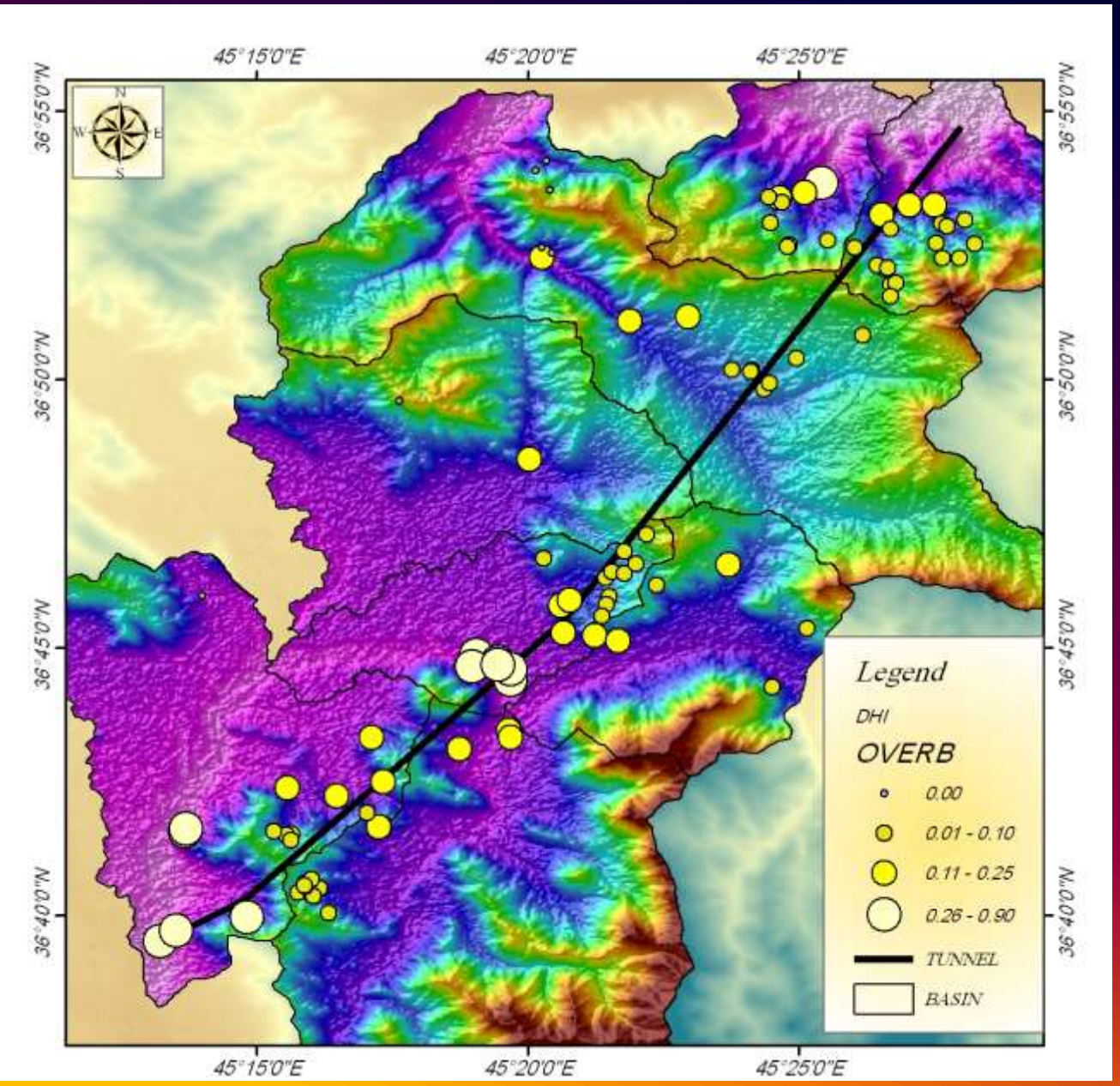
- **طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس نفوذپذیری**



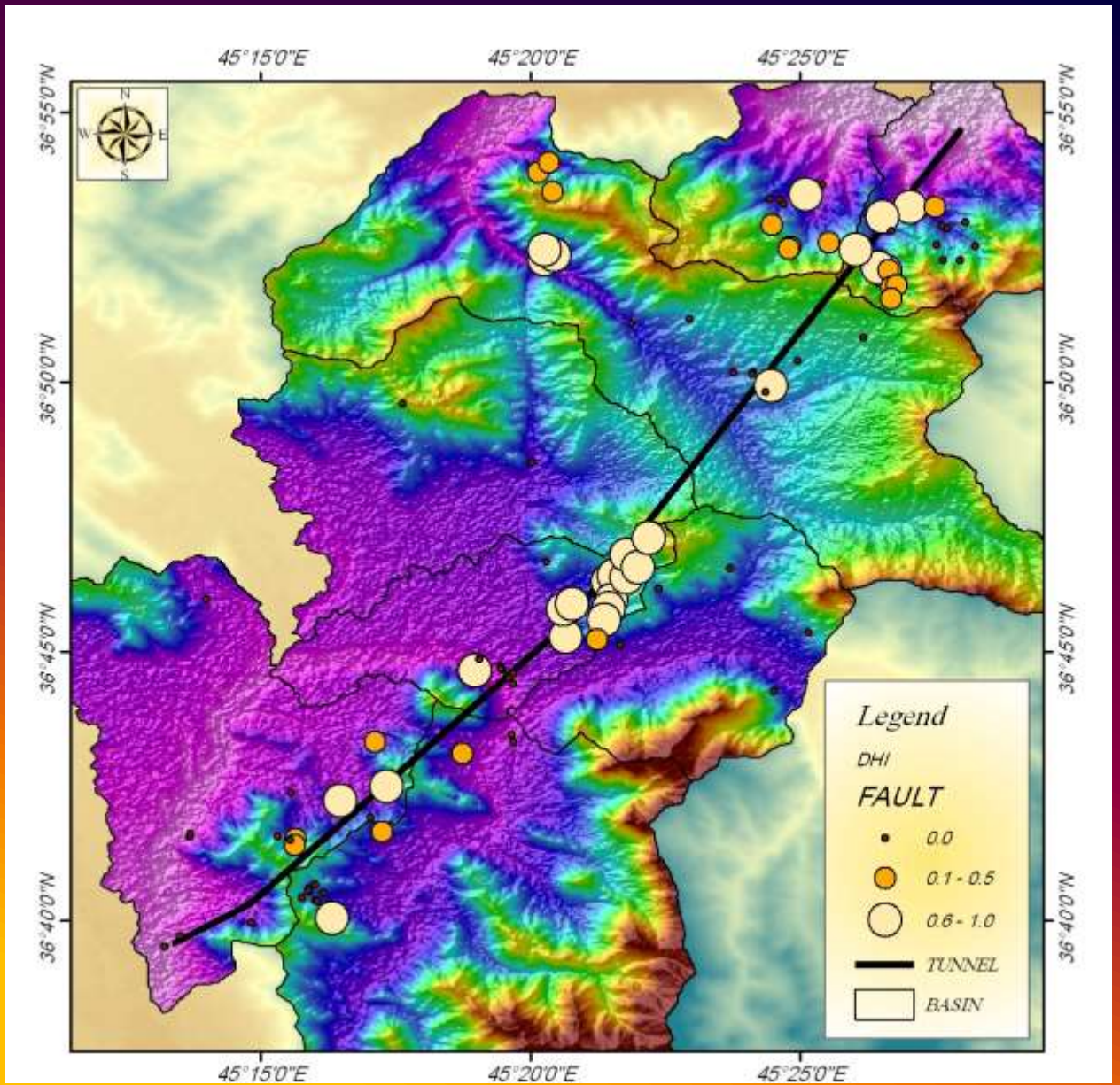
- طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس نوع هیدروژئولوژی چشمه‌ها



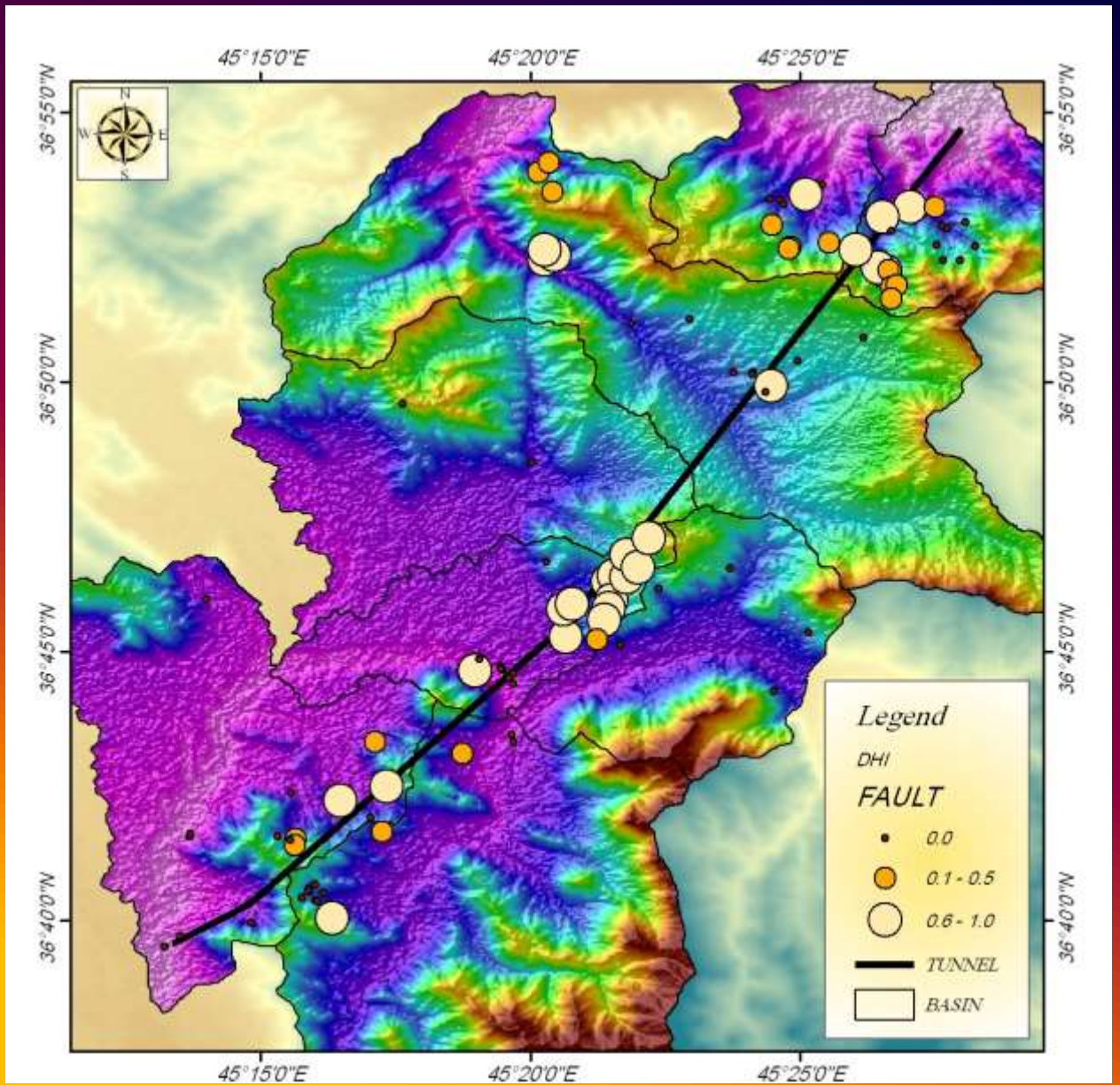
- طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس روباره



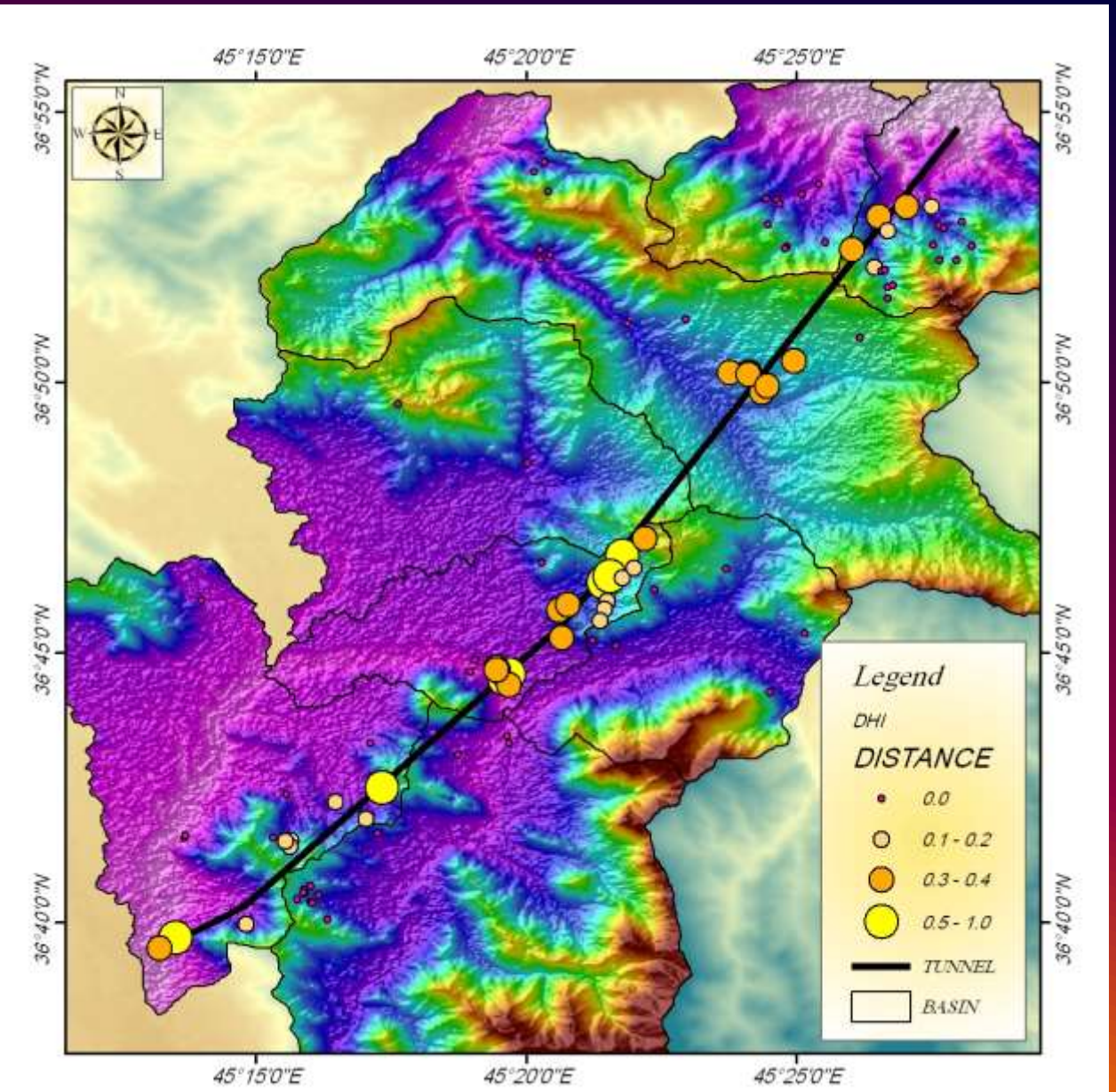
- طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس گسل‌ها



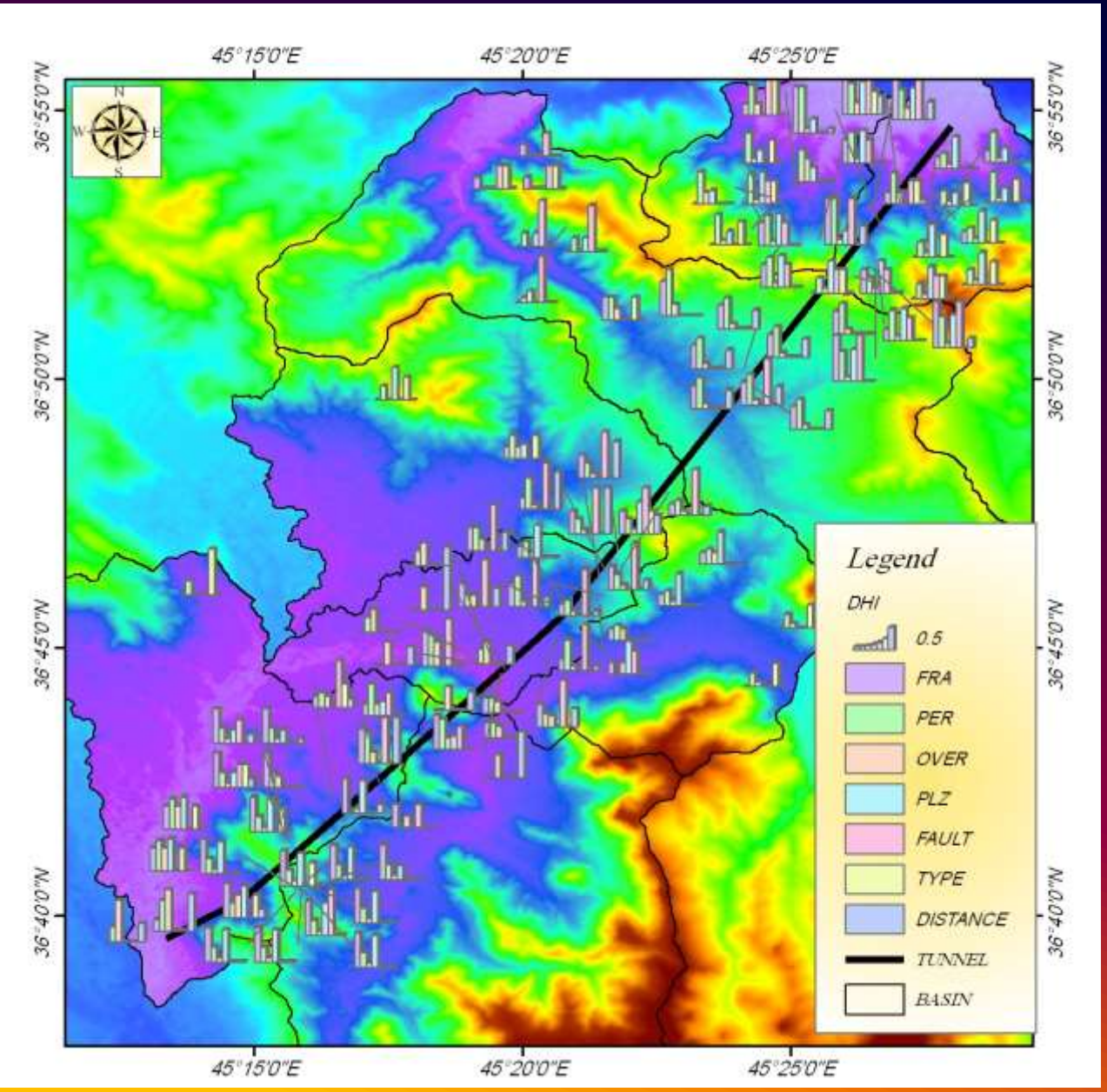
- **طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس شکستگی‌ها**



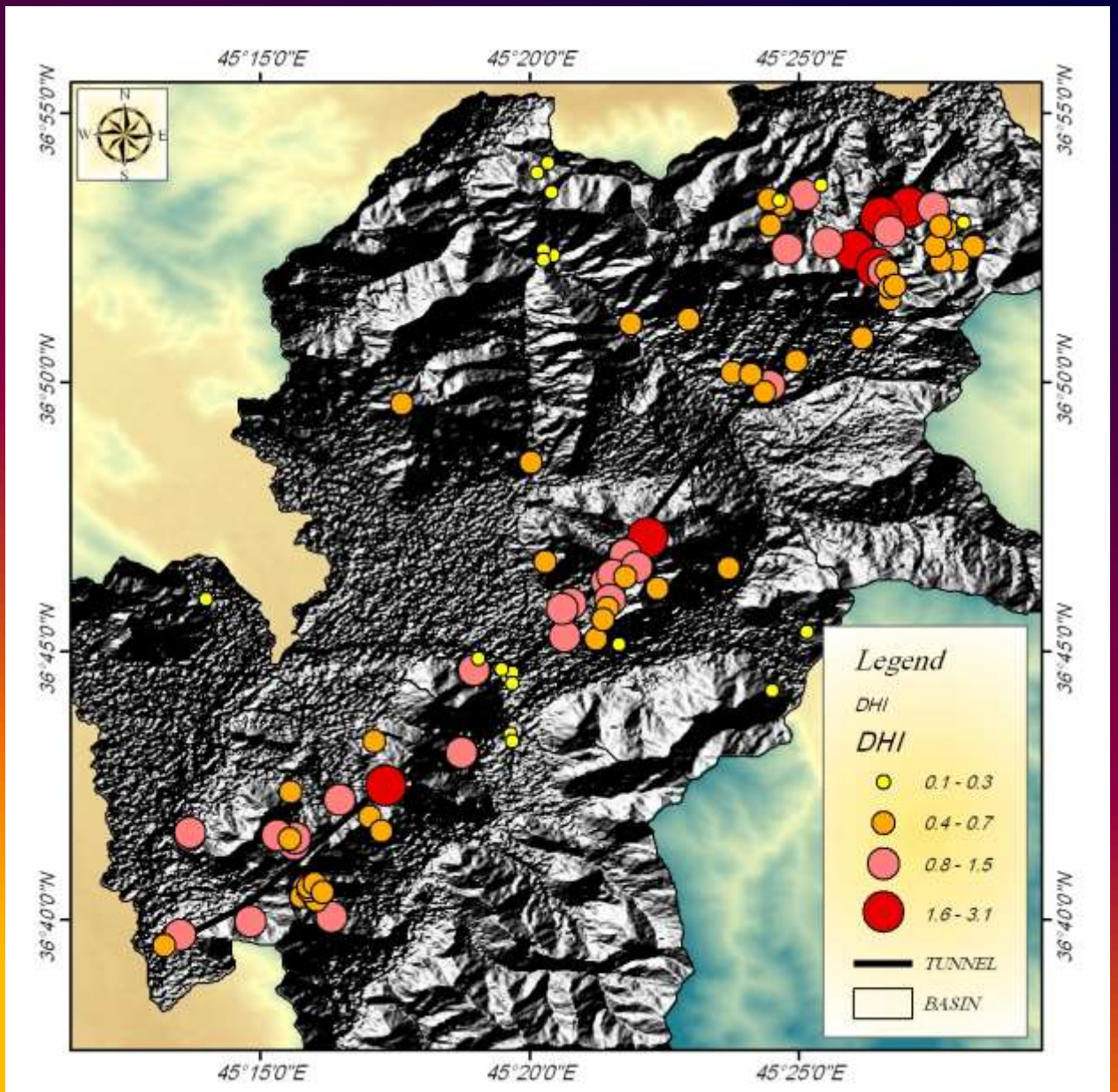
- طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس فاصله



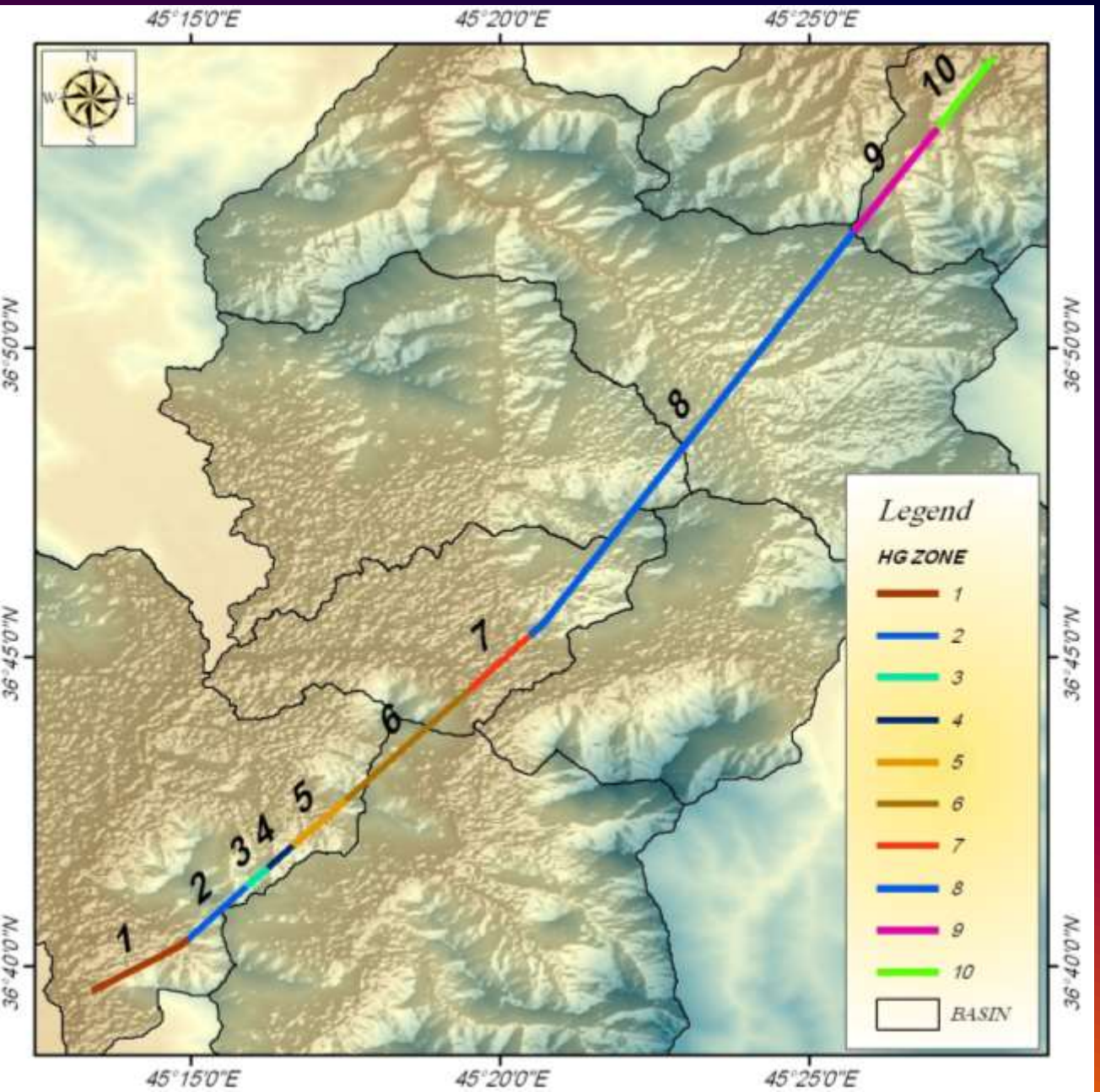
- **طبقه‌بندی چشمه‌های منطقه بر اساس تمامی پارامترهای** DHI



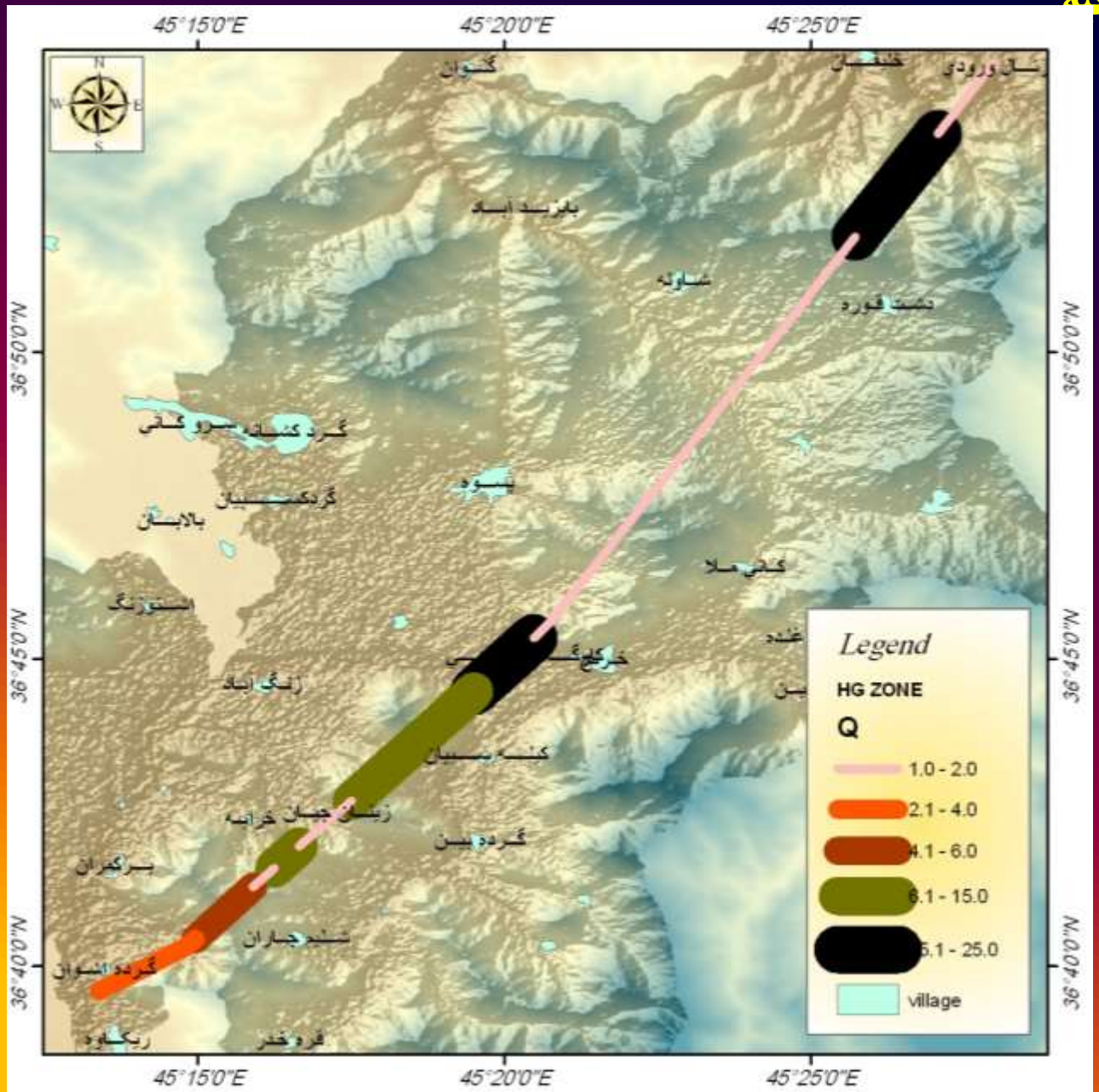
- **احتمال خشک‌شدگی چشمه‌ها بر اساس شاخص** DHI



- زون‌های هیدروژئولوژیکی مسیر



- زون‌های هیدروژئولوژیکی بر اساس دبی لیتر بر ثانیه در ۱۰۰ متر زون



- نتایج بدست آمده بر اساس طبقه‌بندی فورد ویلیامز

Intact rock strength (N-type Schmidt Hammer 'R')

Total rating and classification of Kanisib Tunnel

Parameter	1	2	3	4	5
Parameter	Very strong	Strong	Moderate	Weak	Very weak
Rating	100–91	90–71	70–51	50–26	<26
HYDROGEOLOGICAL ZONE	8,10	3,4,6,9	1,5	2	7

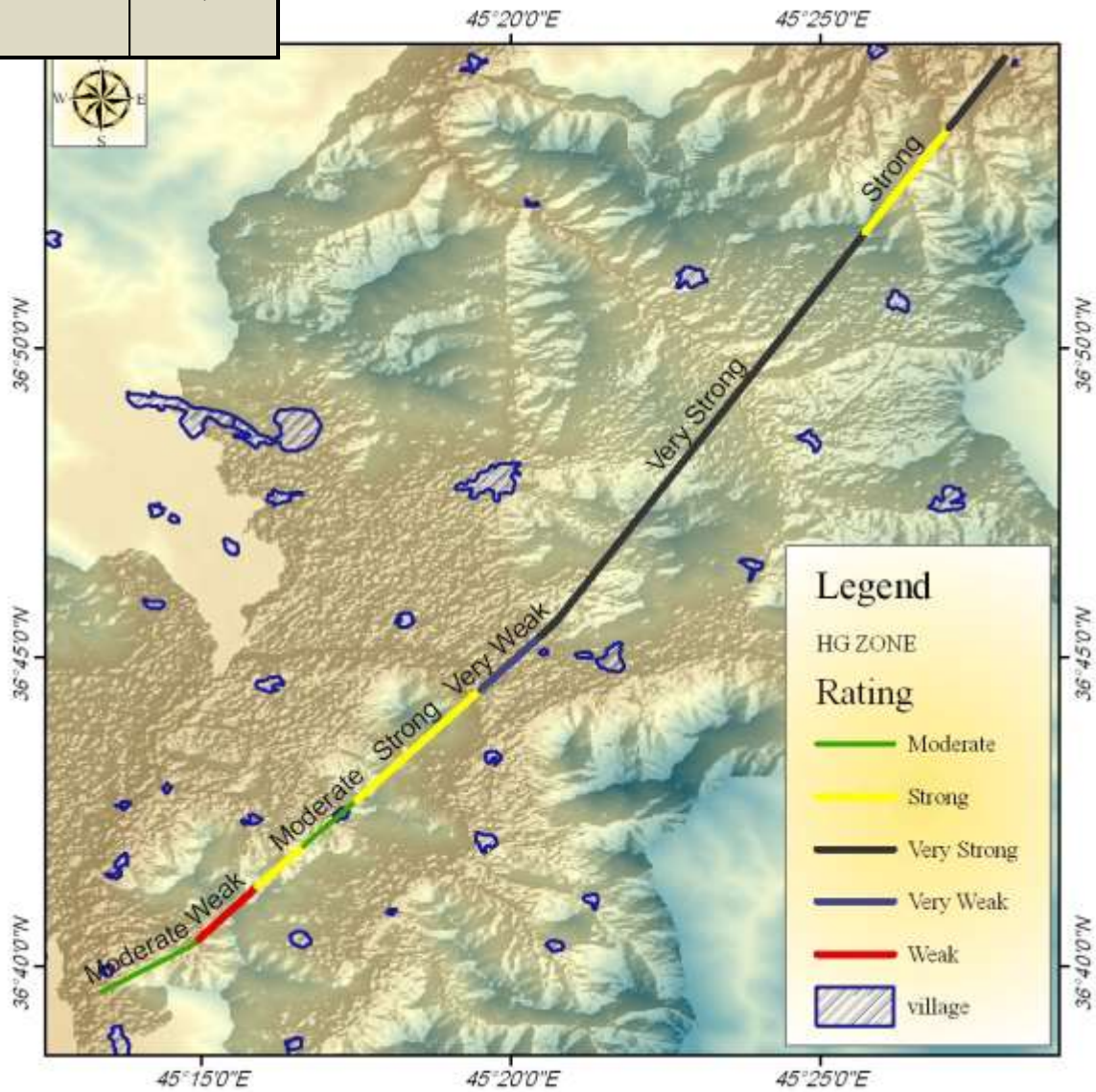
Spacing of fissures				
Parameter	>3 m	3–1 m	1–0.3 m	300–50 mm
Rating	30	28	21	15
Tunnel Hydrogeologic zone		*8,10*	*3,4,6,9*	*1,2,5*

Fissure orientations				
Parameter	Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable
Rating	20	18	14	9
Tunnel Hydrogeologic zone		*3,4,6,8,9,10*		*1,2,5*

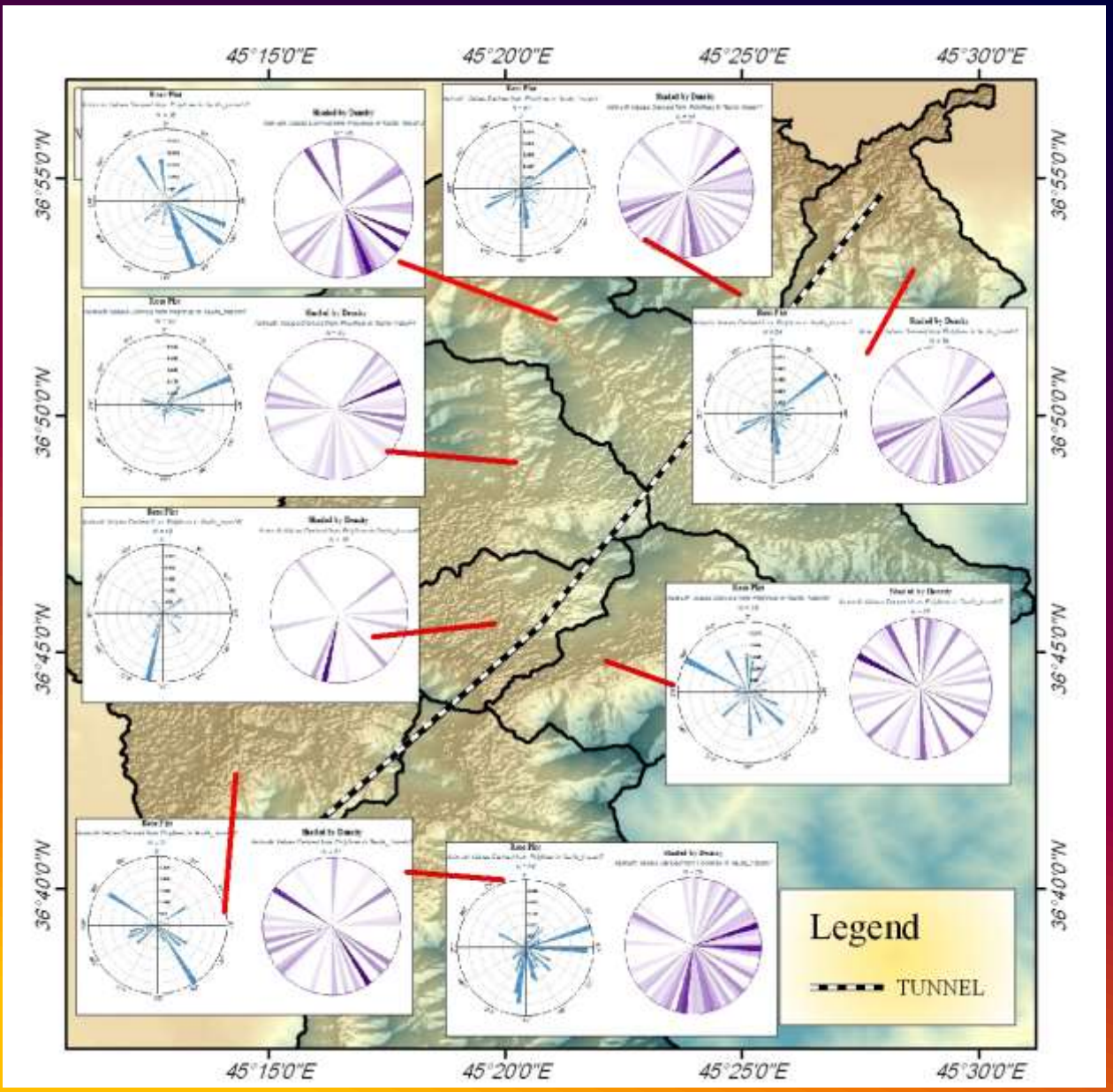
Width of fissures				
Parameter	<0.1mm	0.1–1mm	1–5mm	5–20 mm
Rating	7	6	5	4
Tunnel Hydrogeologic zone	*8,10*	*9*	*3,4,6*	*1,2,5*

Continuity of fissures				
Parameter	None continuous	Few continuous	Continuous, no infill	Continuous, thin in
Rating	7	6	5	4
Tunnel Hydrogeologic zone	*8,9,10*		*3,4,6*	*1,2,5*

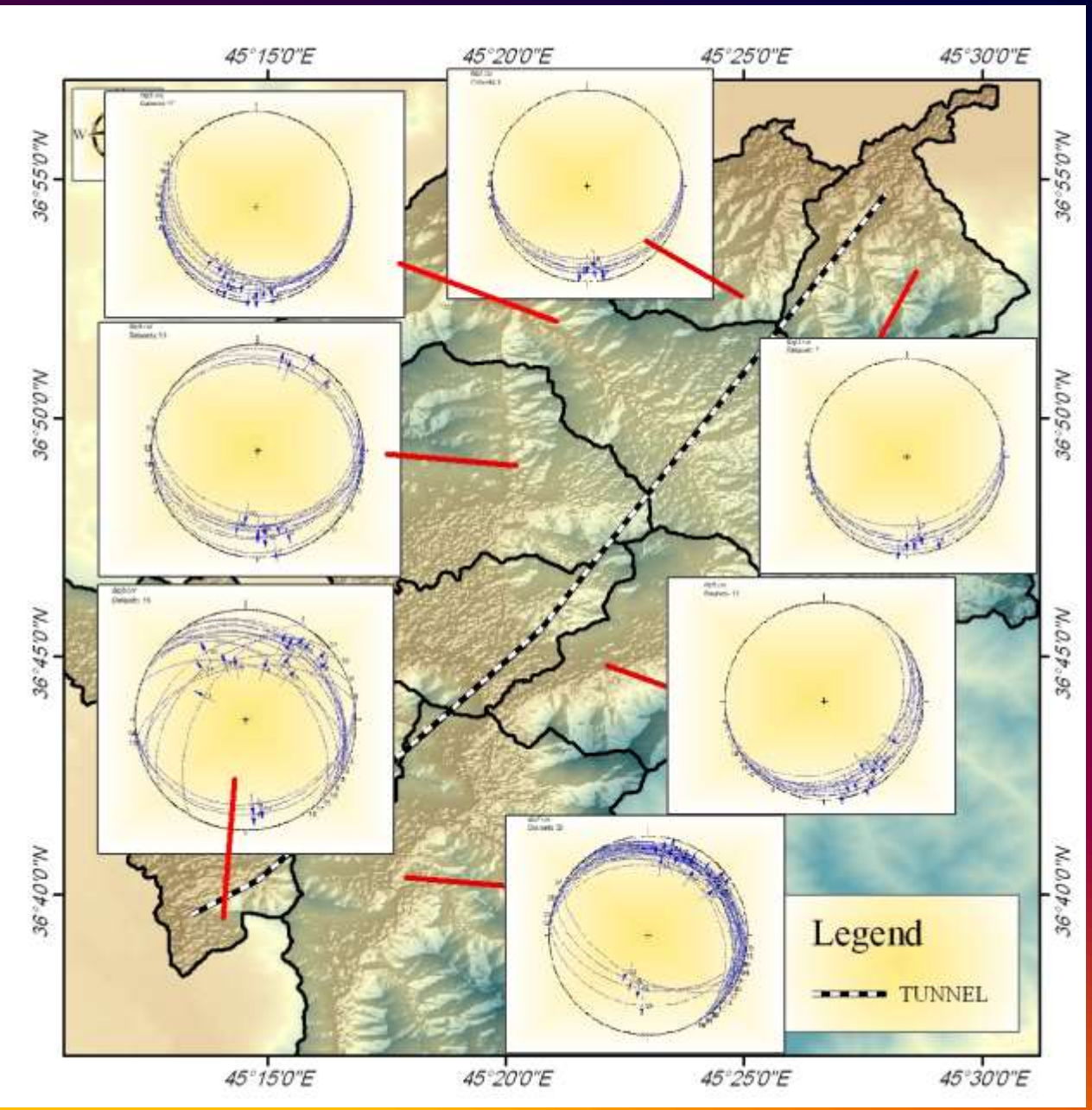
Outflow of groundwater				
Parameter	None	Trace	Slight	Moderate
Rating	6	5	4	3
Tunnel Hydrogeologic zone		*3,5,8,10*	*1,2*	*4,6,7,9*



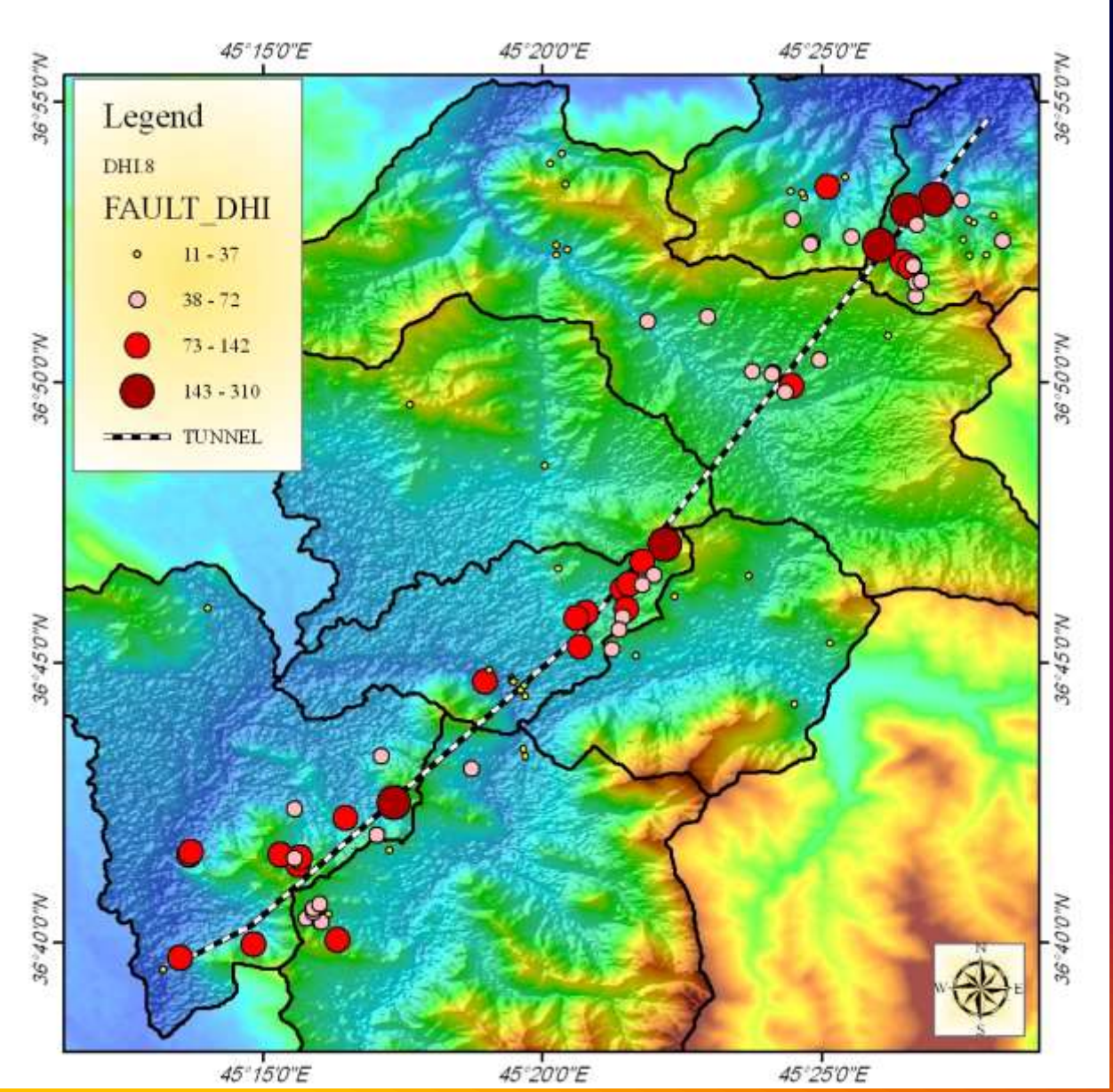
- **شرایط شکستگی‌های حوضه‌ها**



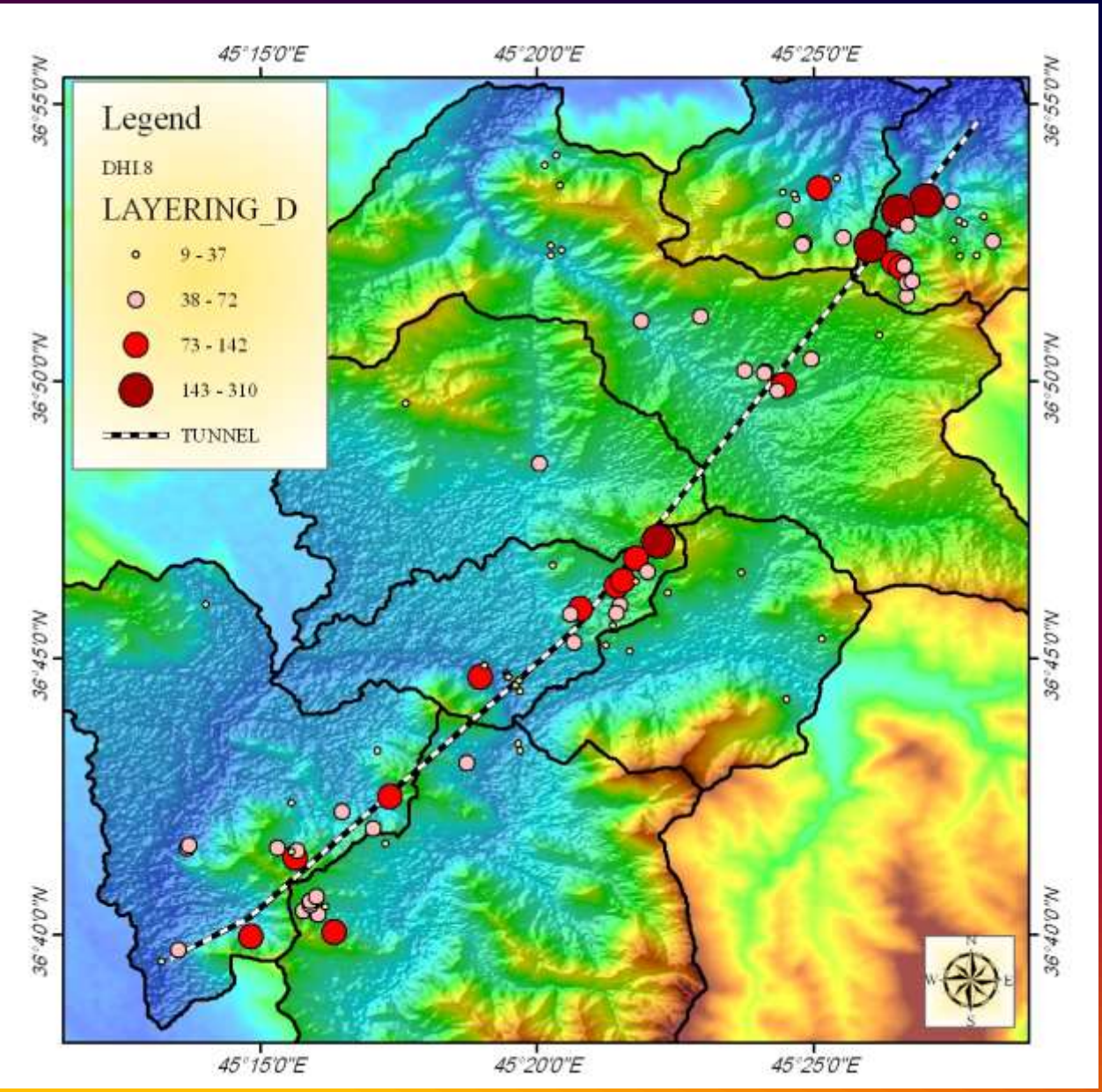
- شرایط لایه‌بندی‌های حوضه‌ها



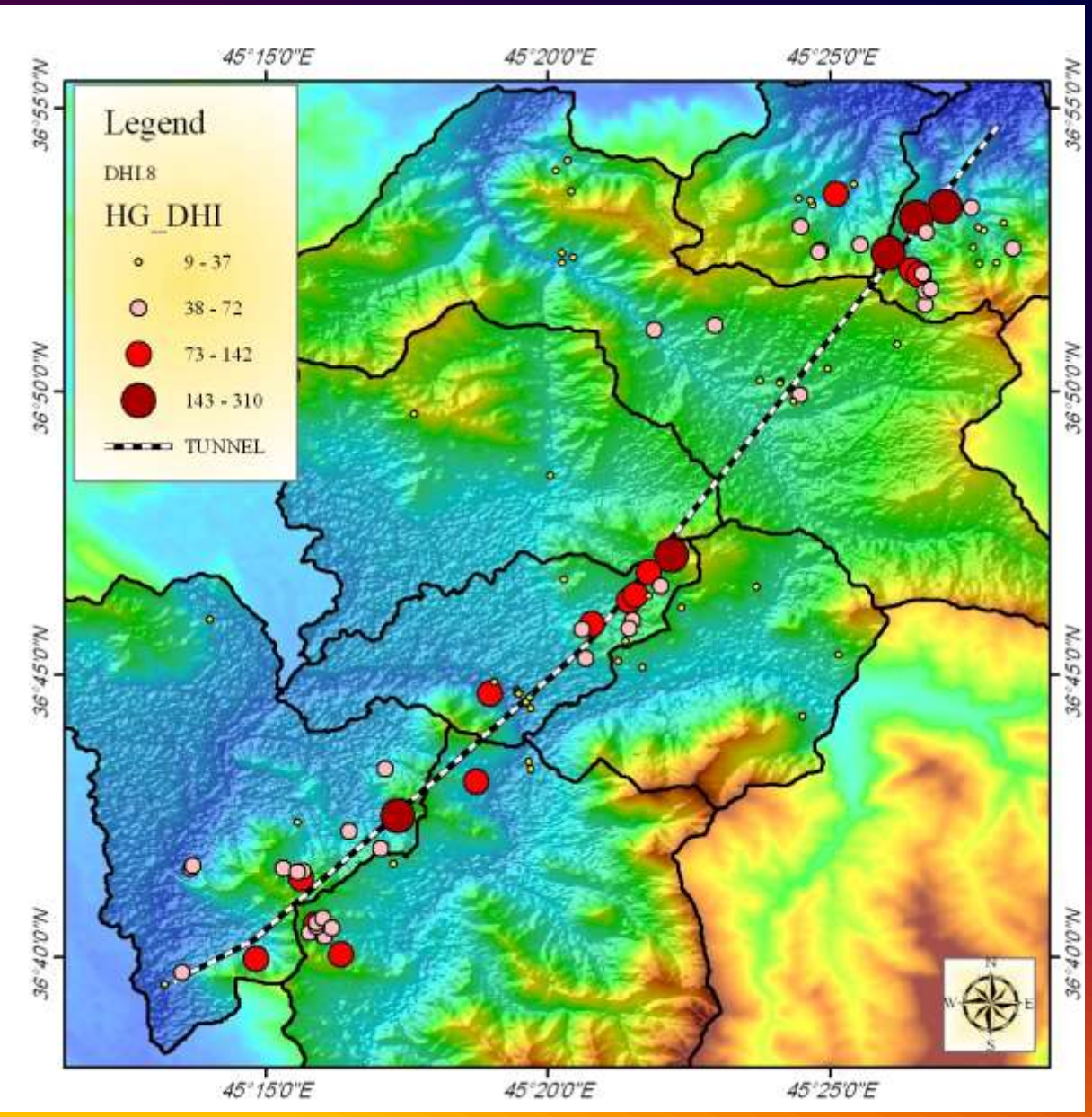
- شاخص خشک‌شدگی با اعمال ضریب گسلها



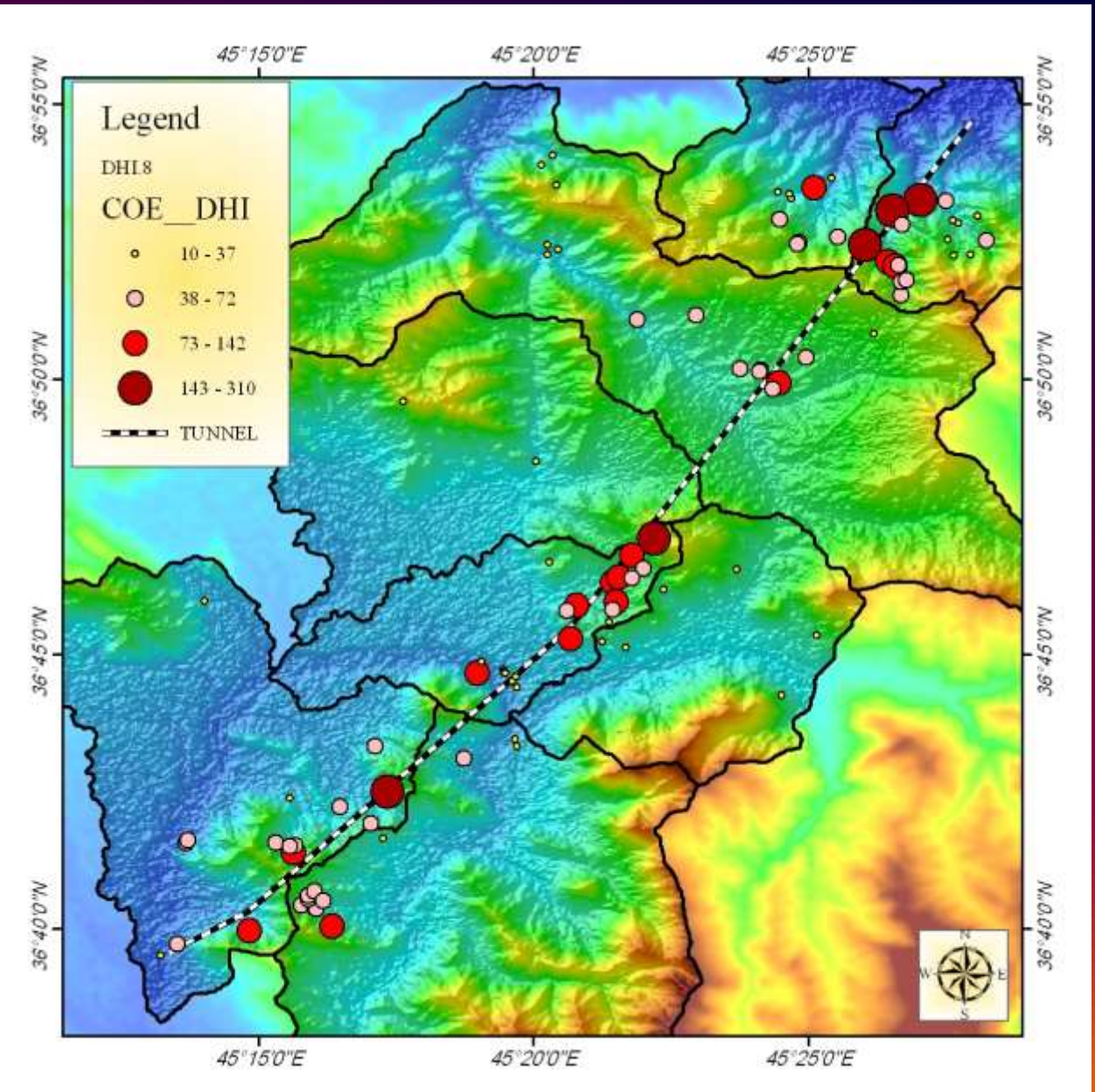
- شاخص خشک‌شدگی با اعمال ضریب لایه‌بندی



- شاخص خشک‌شدگی با اعمال ضریب زون‌های هیدروژئولوژی



- شاخص خشک‌شدگی با اعمال تمامی ضرایب



تونل انتقال اب مازاد رودخانه گلاس به دریاچه ارومیه

کارفرما: شرکت توسعه اب و نیروی ایران

مشاور:

برگه صورتجلسه ابدهی چشمه های منتخب مسیر تونل

نام چشمه:

فاصله از محور تونل (متر):

نام آبادی:

اختلاف ارتفاع از محور تونل (متر):

نام مالک یا مالکین:

نام دهیار:

UTM X:	
UTM Y:	
Z:	

تاریخ برداشت	ابدهی (لیتر در ثانیه)	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتیمتر)	نام و امضا اماربردار	نام و امضا مالک و یا نماینده مالکین	نام و امضاء شورای روستا

توضیحات:

نمودار تغییرات ابدهی با گذشت زمان:

تونل انتقال اب مازاد رودخانه گلاس به دریاچه ارومیه

کارفرما: شرکت توسعه اب و نیروی ایران

مشاور:

برگه صورتجلسه ابدهی چاههای منتخب مسیر تونل

نام چاه:

فاصله از محور تونل (متر):

نام آبادی:

اختلاف ارتفاع از محور تونل (متر):

عمق چاه (متر):

قطر چاه - قطر لوله (اینچ):

نوع مصرف:

نام مالک یا مالکین:

شماره مجوز پروانه:

کنتور حجمی:

عمق نصب، نوع و قدرت پمپ:

دبی مجوز:

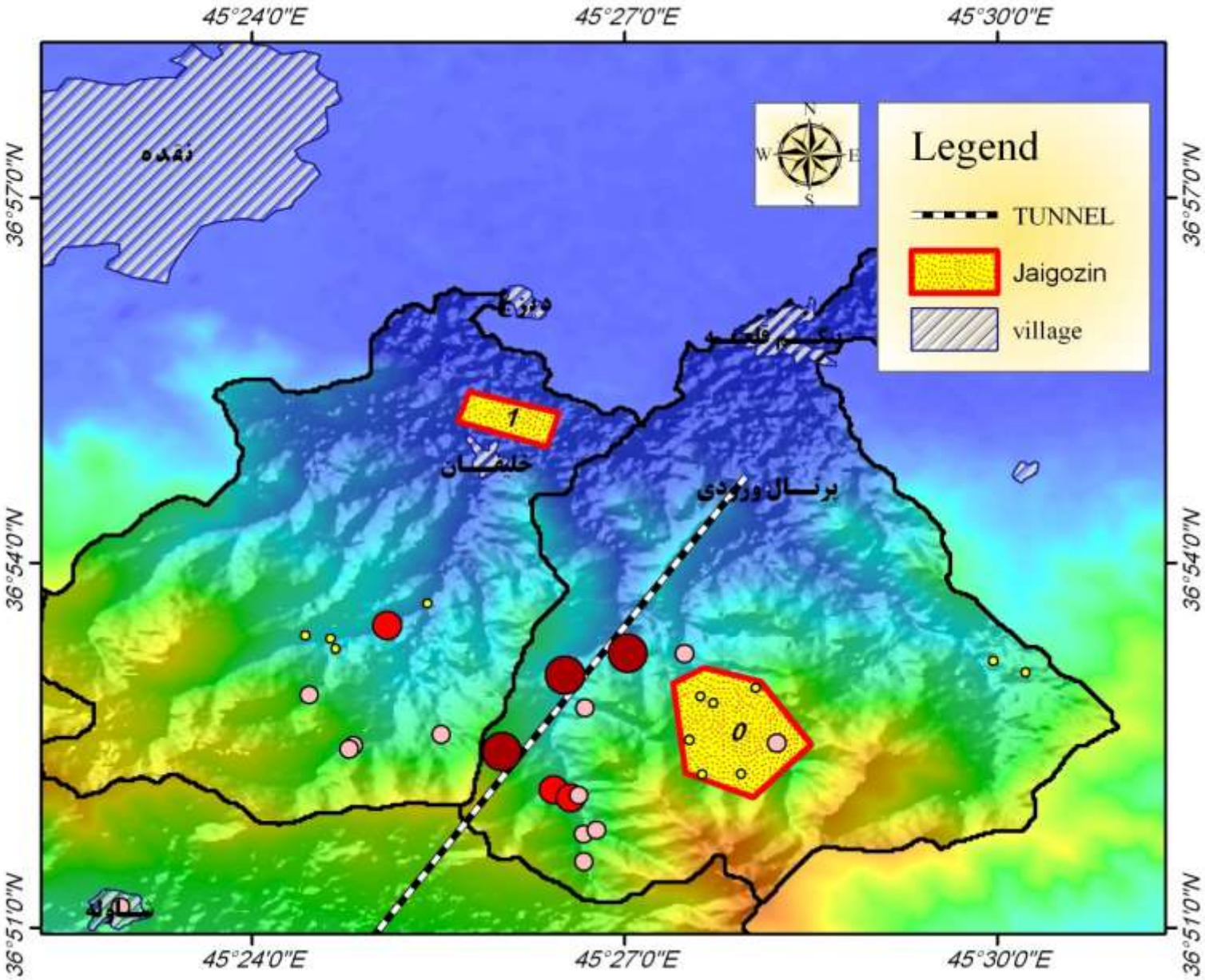
UTM X:	
UTM Y:	
Z:	

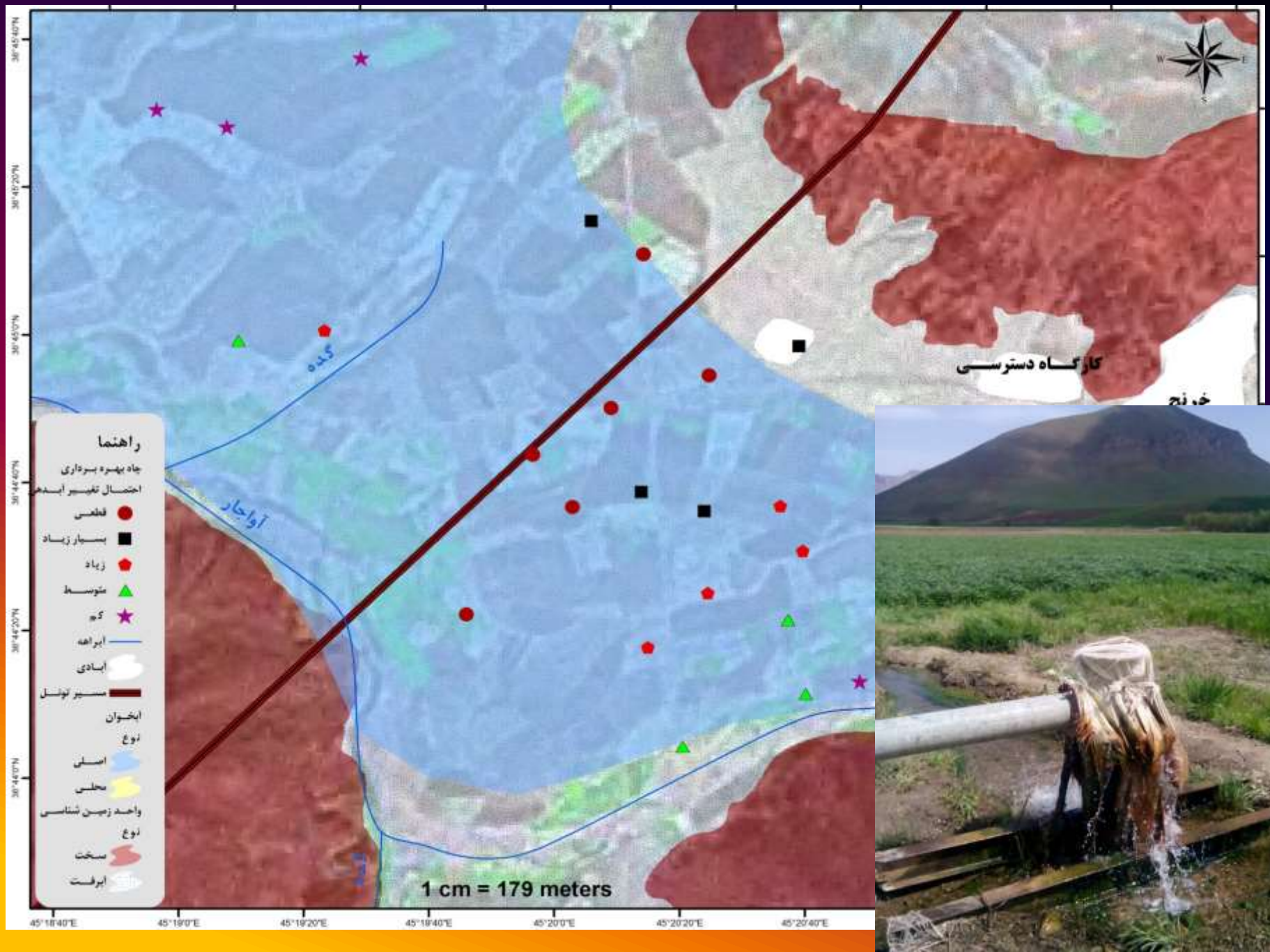
تاریخ برداشت	ابدهی (لیتر در ثانیه)	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتیمتر)	نام و امضا اماربردار	نام و امضا مالک و یا نماینده مالکین	نام و امضاء شورای روستا

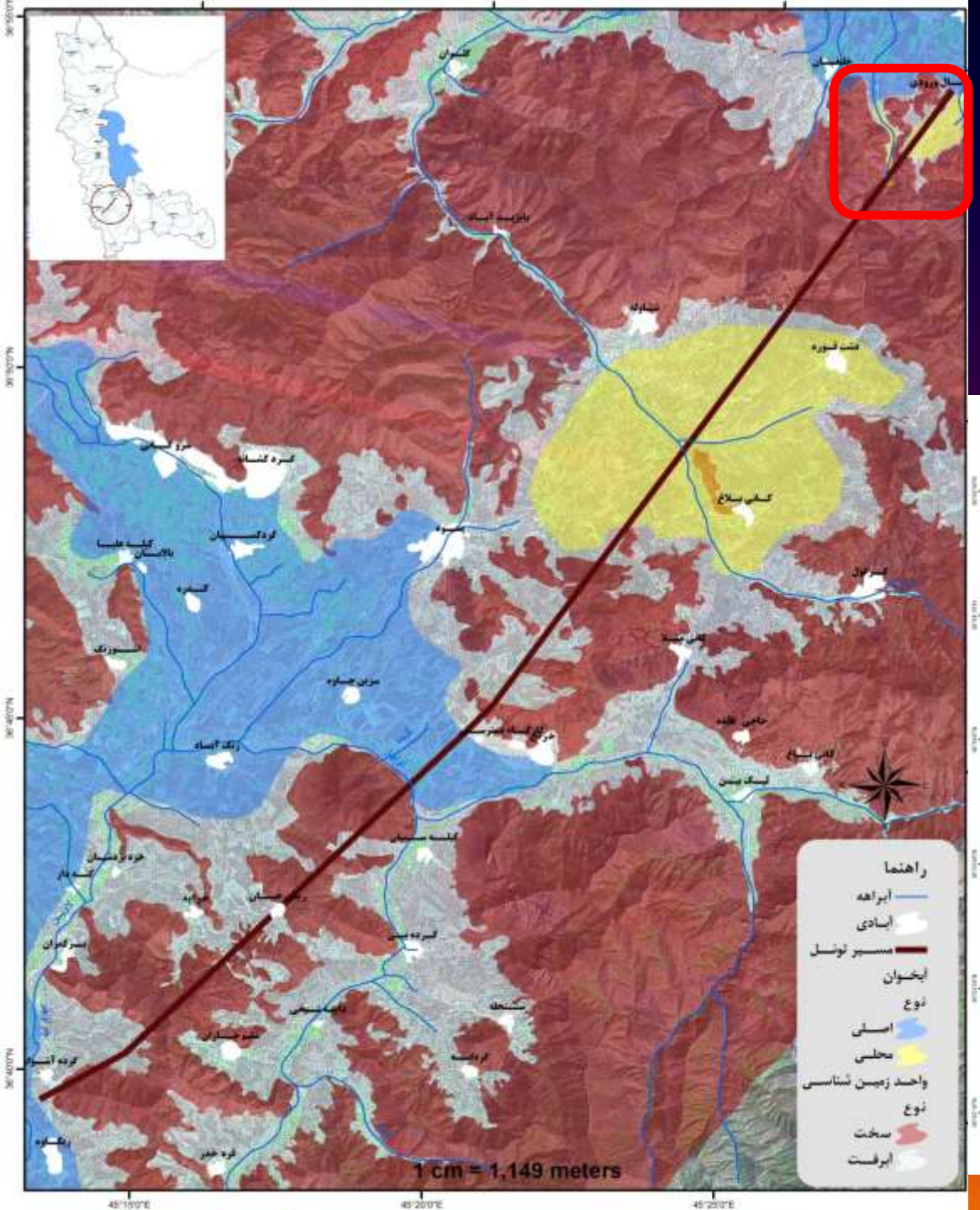
توضیحات:

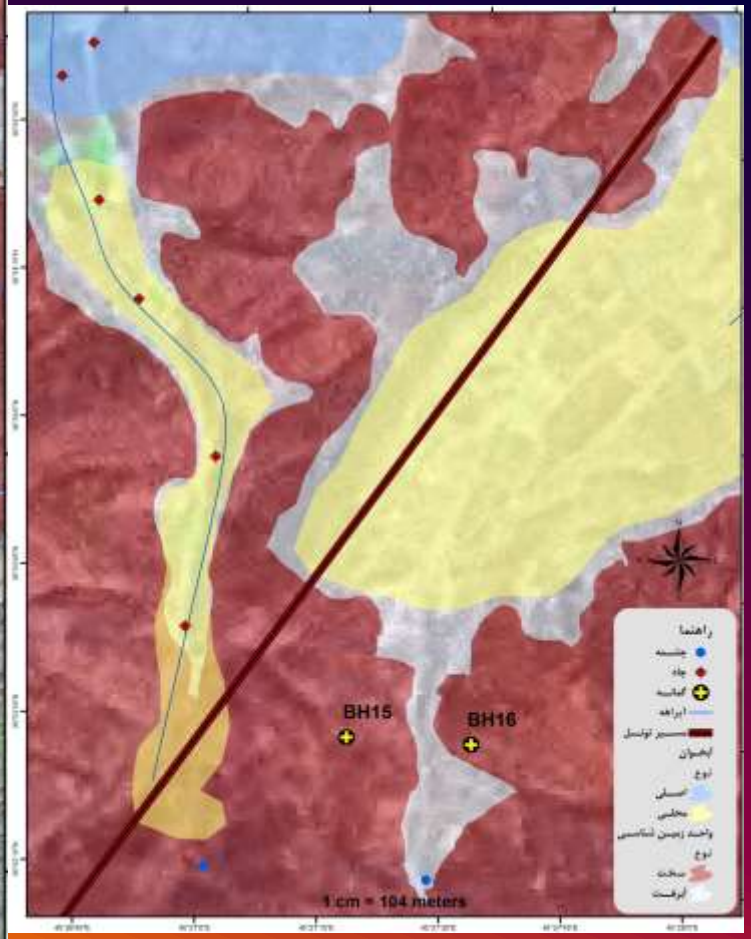
نمودار تغییرات ابدهی با گذشت زمان:

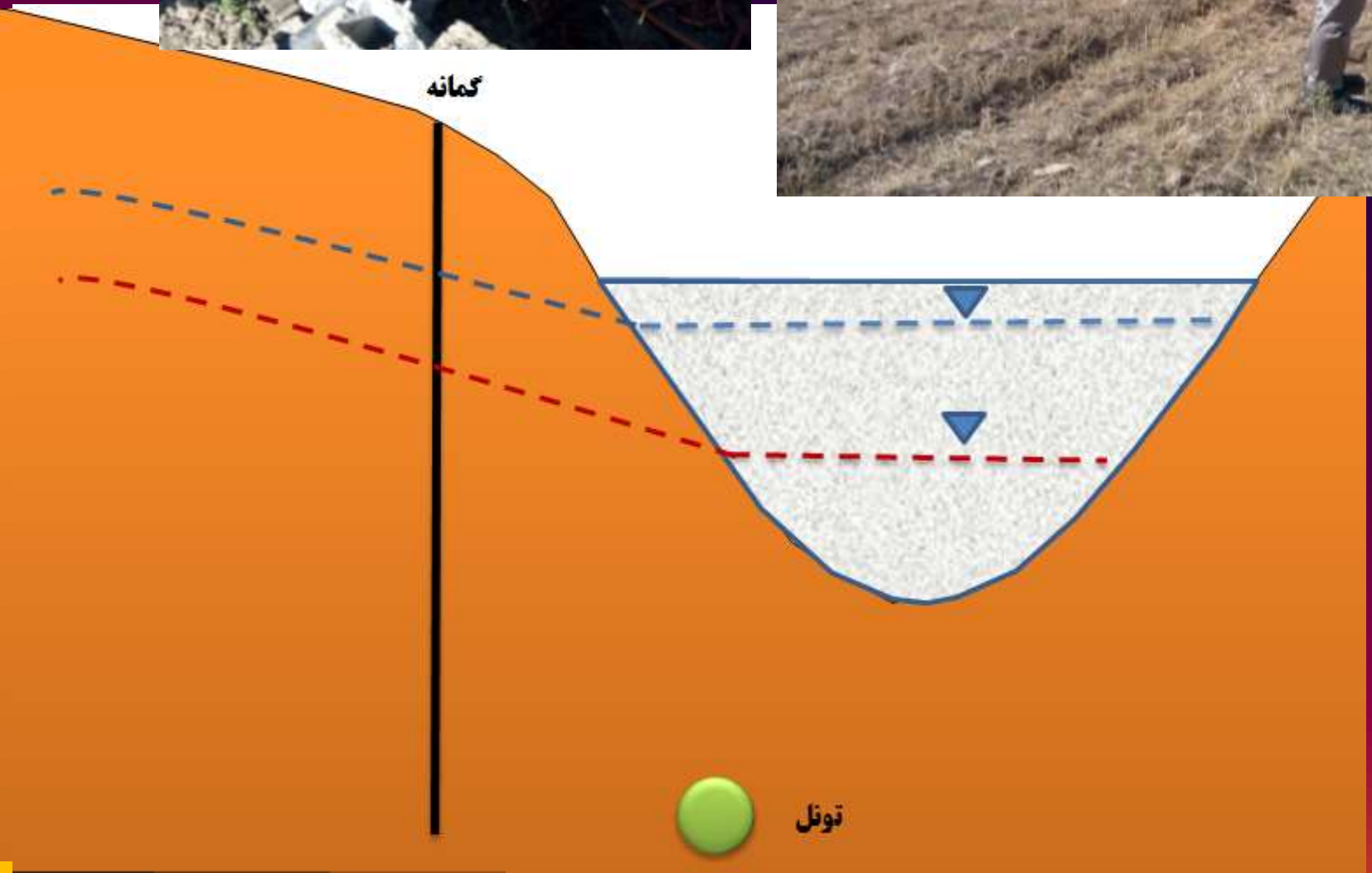
- **پیشنهادات جایگزین**



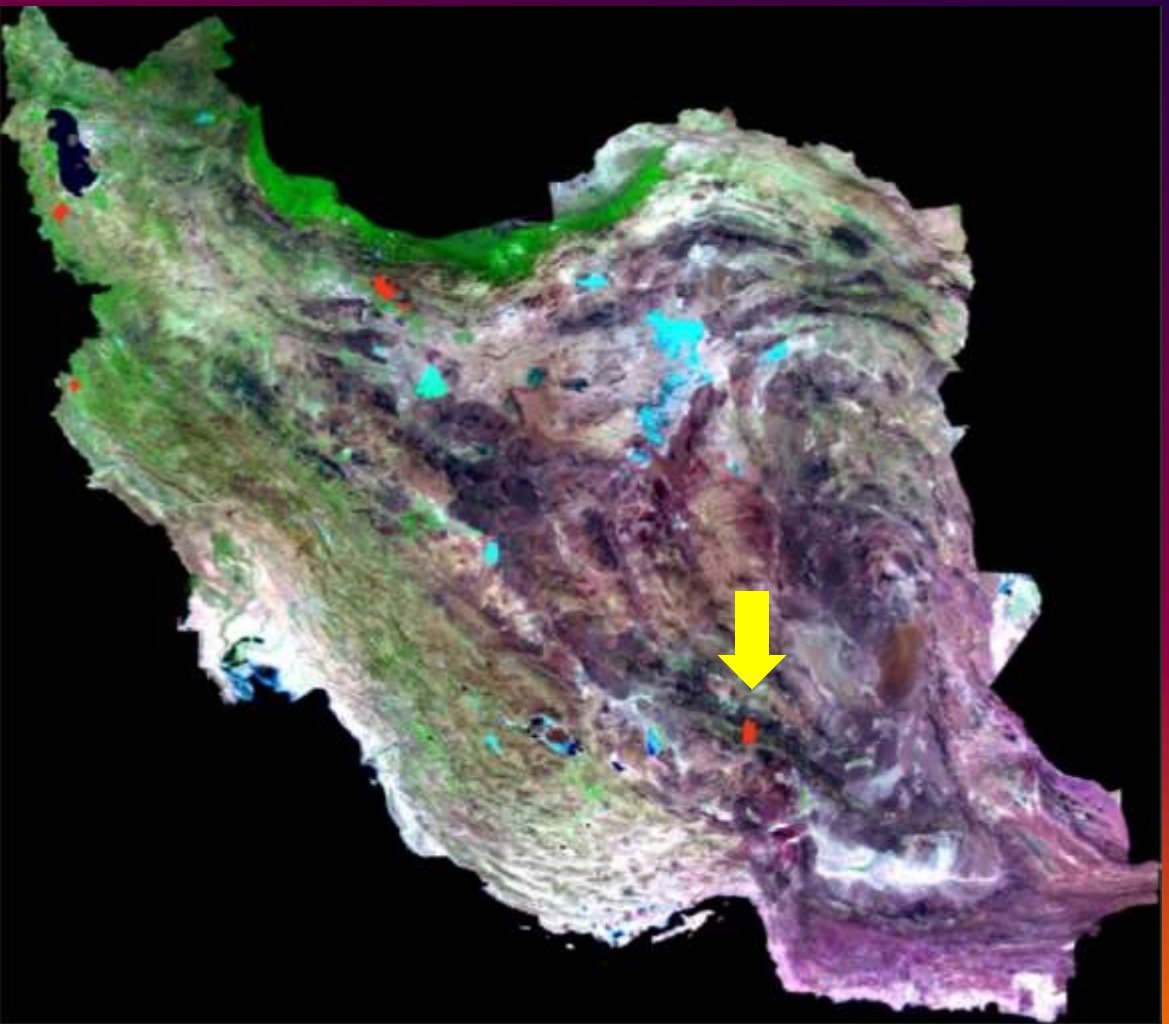

کارگاه دسترسی
خورنج
گده
آواجار
راهنما
چاه بهره برداری
احتمال تغییر آبدهی
قطعی
بسیار زیاد
زیاد
متوسط
کم
آبراهه
آبادی
مسیر تونل
آبخوان
نوع
اصلی
محلی
واحد زمین شناسی
نوع
سخت
آبرفت
1 cm = 179 meters
45°18'40"E
45°19'0"E
45°19'20"E
45°19'40"E
45°20'0"E
45°20'20"E
45°20'40"E


راهنما
ابراهه
آبادی
مسیر تونل
ایخوان
نوع
اصلی
محلی
واحد زمین شناسی
نوع
سخت
آبرفت
1 cm = 1,149 meters


BH15
BH16
1 cm = 104 meters

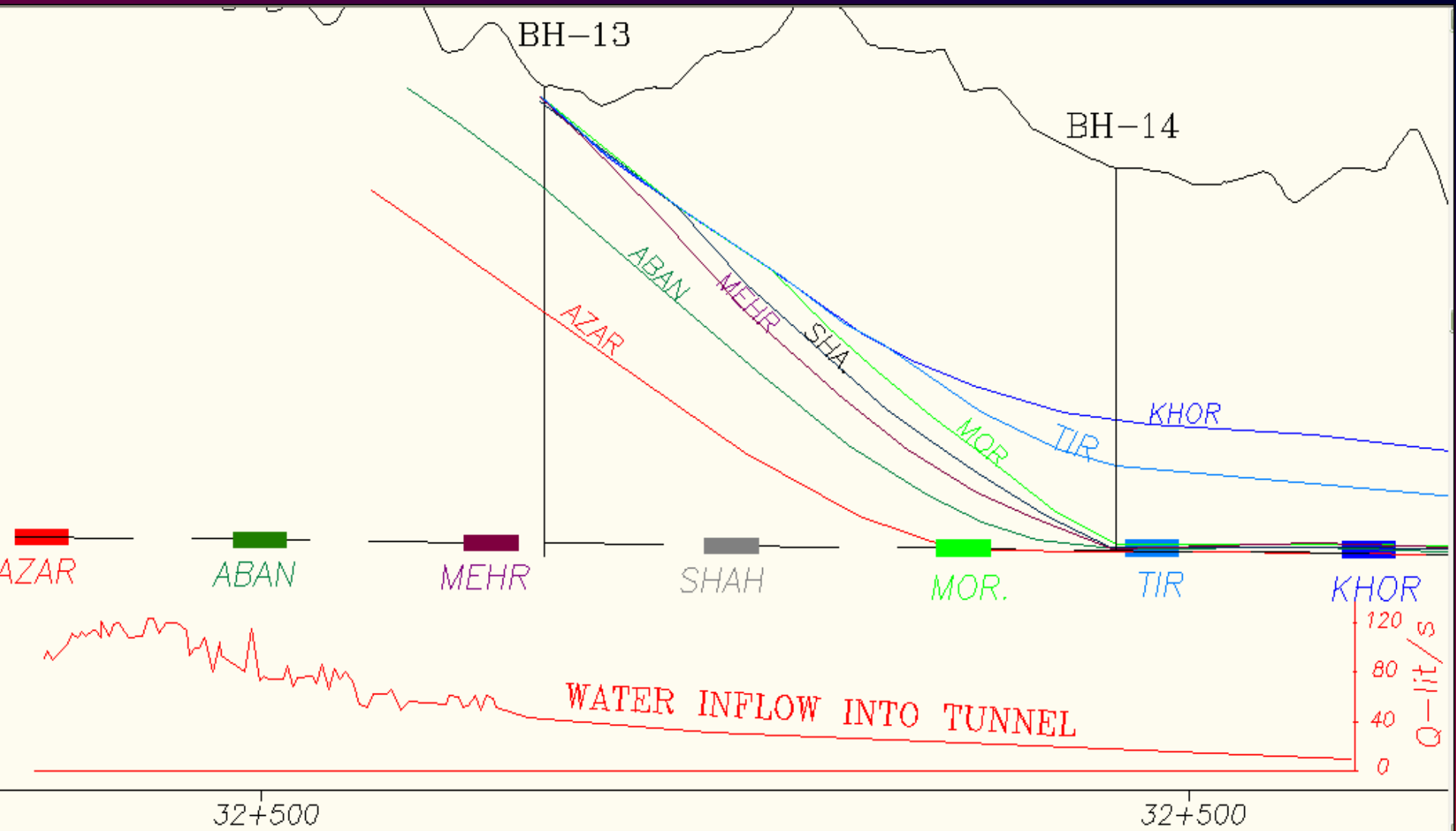

گمانه
تونل

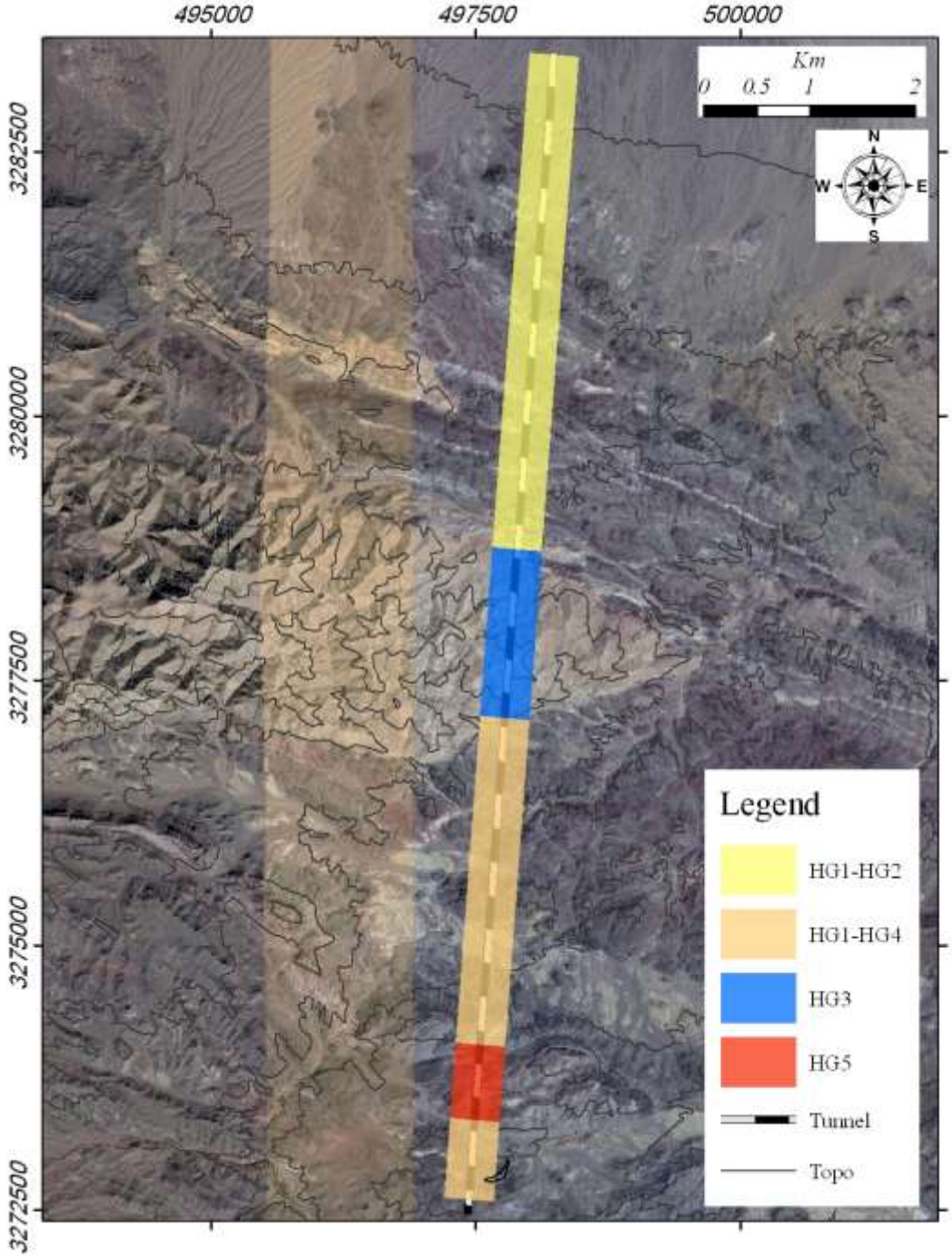
تجربیات

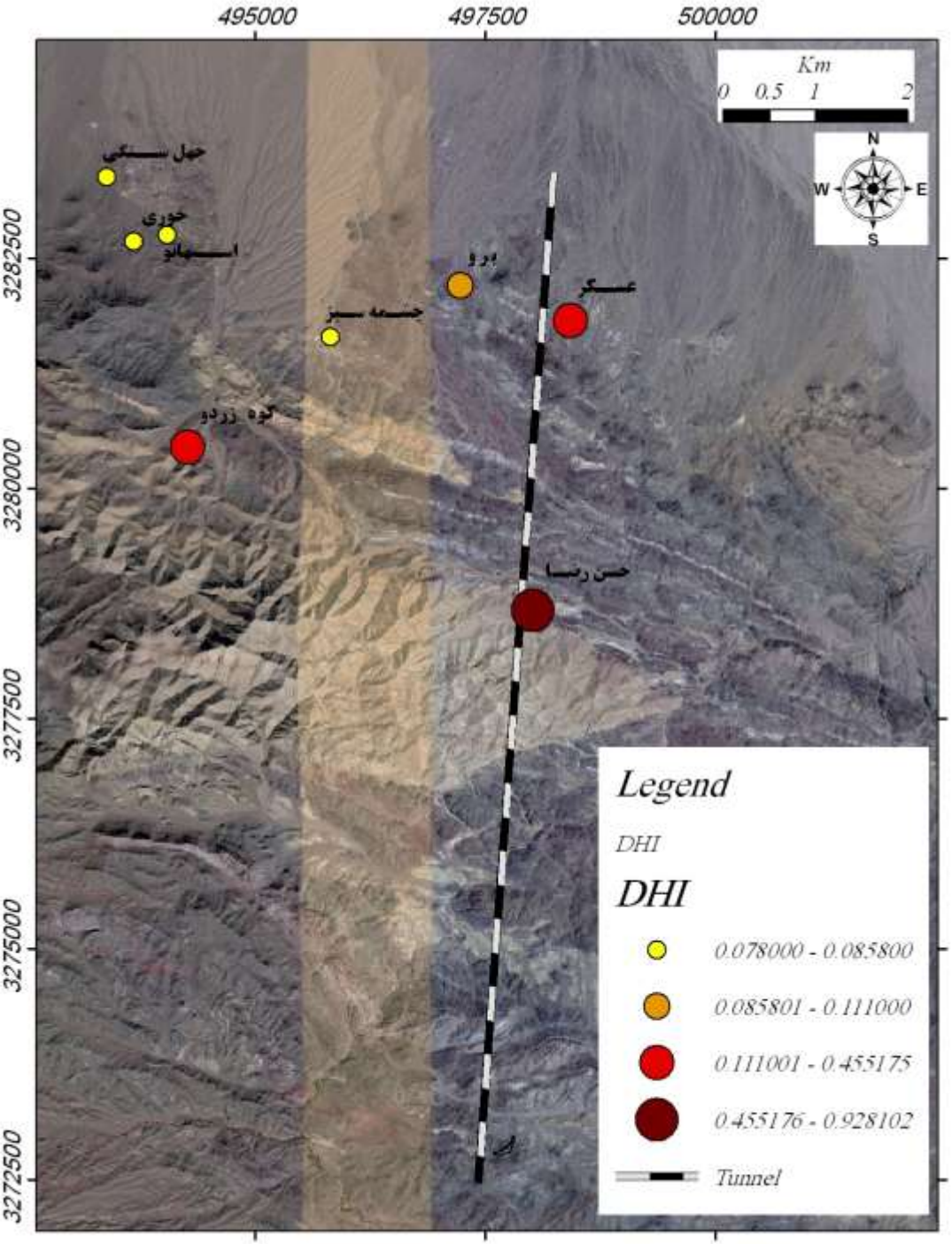


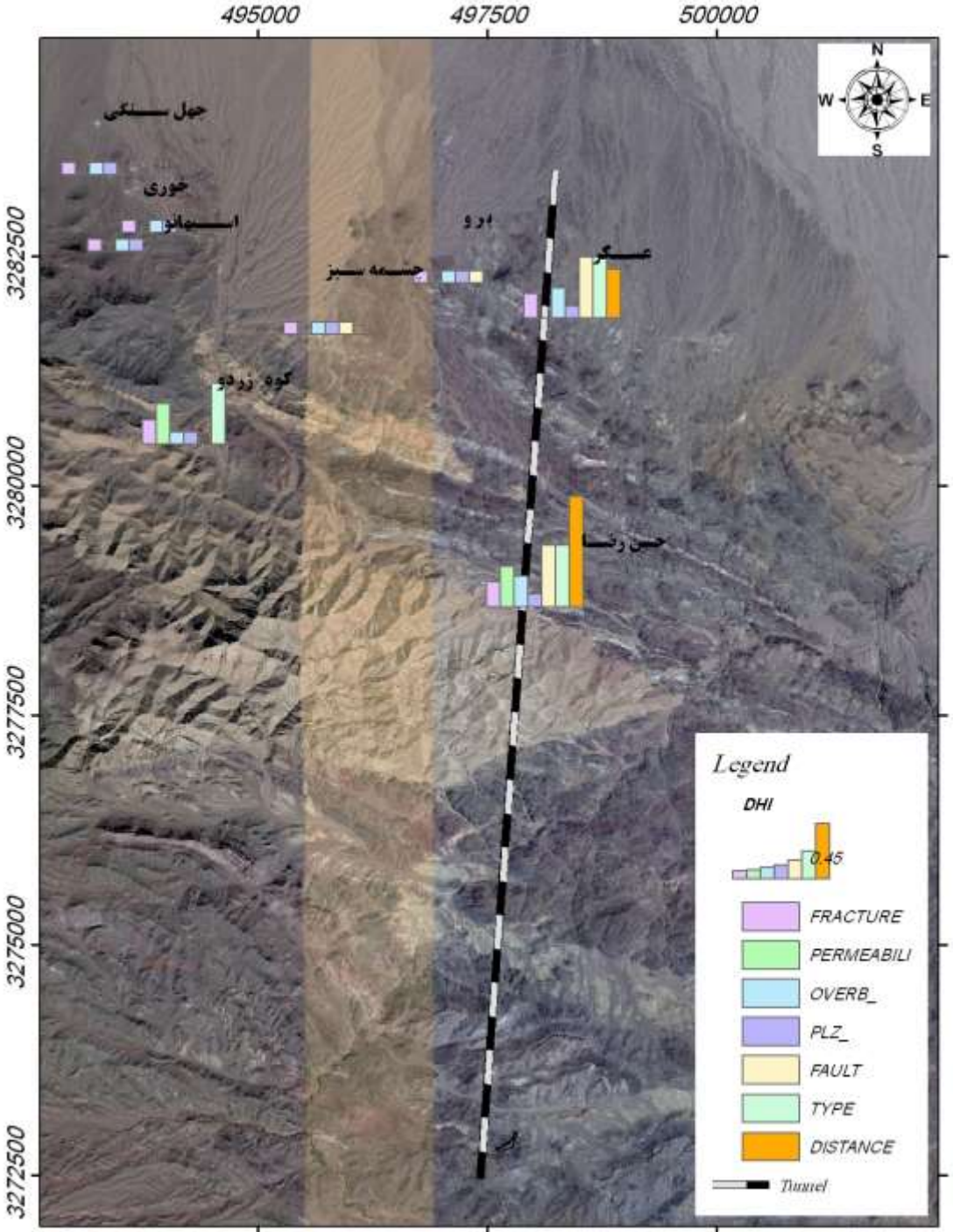
- تونل کرج
- تونل گلاس
- تونل کرمان
- تونل خط شش
- تونل بازی دراز

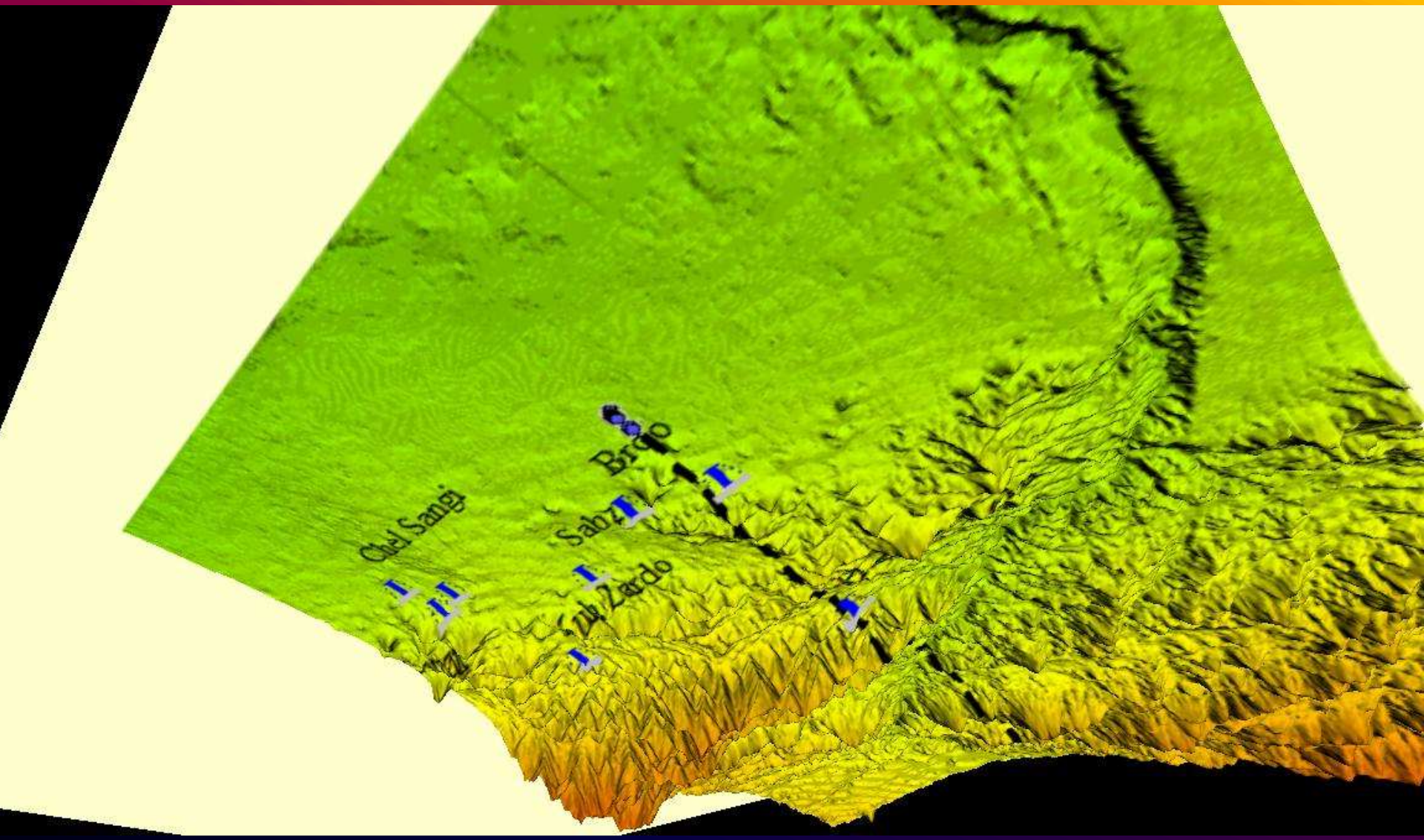
- یک تأخیر حدوداً یک ماه در ورود آب زیرزمینی به تونل و افت تراز آب
- به دلیل عدم ارتباط کامل هیدرولیکی سنگ‌ها
- ضریب ذخیره اندک، افت آب قابل توجه
- محدوده مخروط افت پیشانی پیشنهادی دستگاه حفار به طور متوسط حدود ۳۰۰ متر
- محدوده مخروط افت انتهایی دستگاه حفار نیز به دلیل ادامه یافتن ورود آب به تونل وسیع بوده و باقی مانده



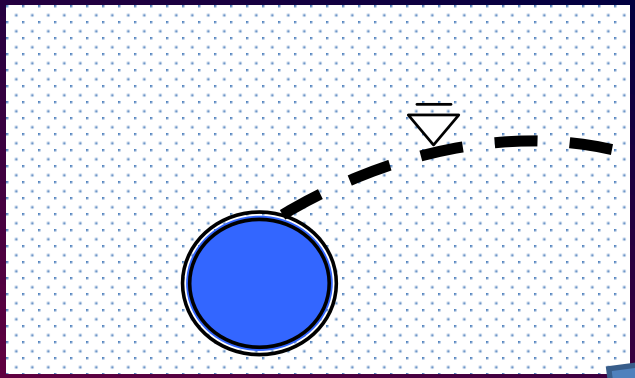

495000
497500
500000
3282500
3280000
3277500
3275000
3272500
Km
0 0.5 1 2
N
W
E
S
Legend
HG1-HG2
HG1-HG4
HG3
HG5
Tunnel
Topo

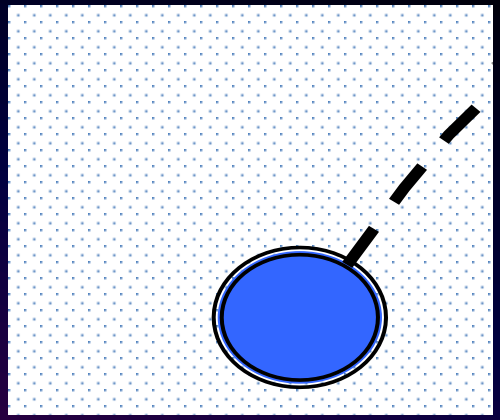

495000
497500
500000
3282500
3280000
3277500
3275000
3272500
Km
0 0.5 1 2
N
W
E
S
حمل سنگی
خوری
اسپهانو
جمعه سر
برو
عسگر
کوه زردو
حسن رضا
Legend
DHI
DHI
0.078000 - 0.085800
0.085801 - 0.111000
0.111001 - 0.455175
0.455176 - 0.928102
Tunnel

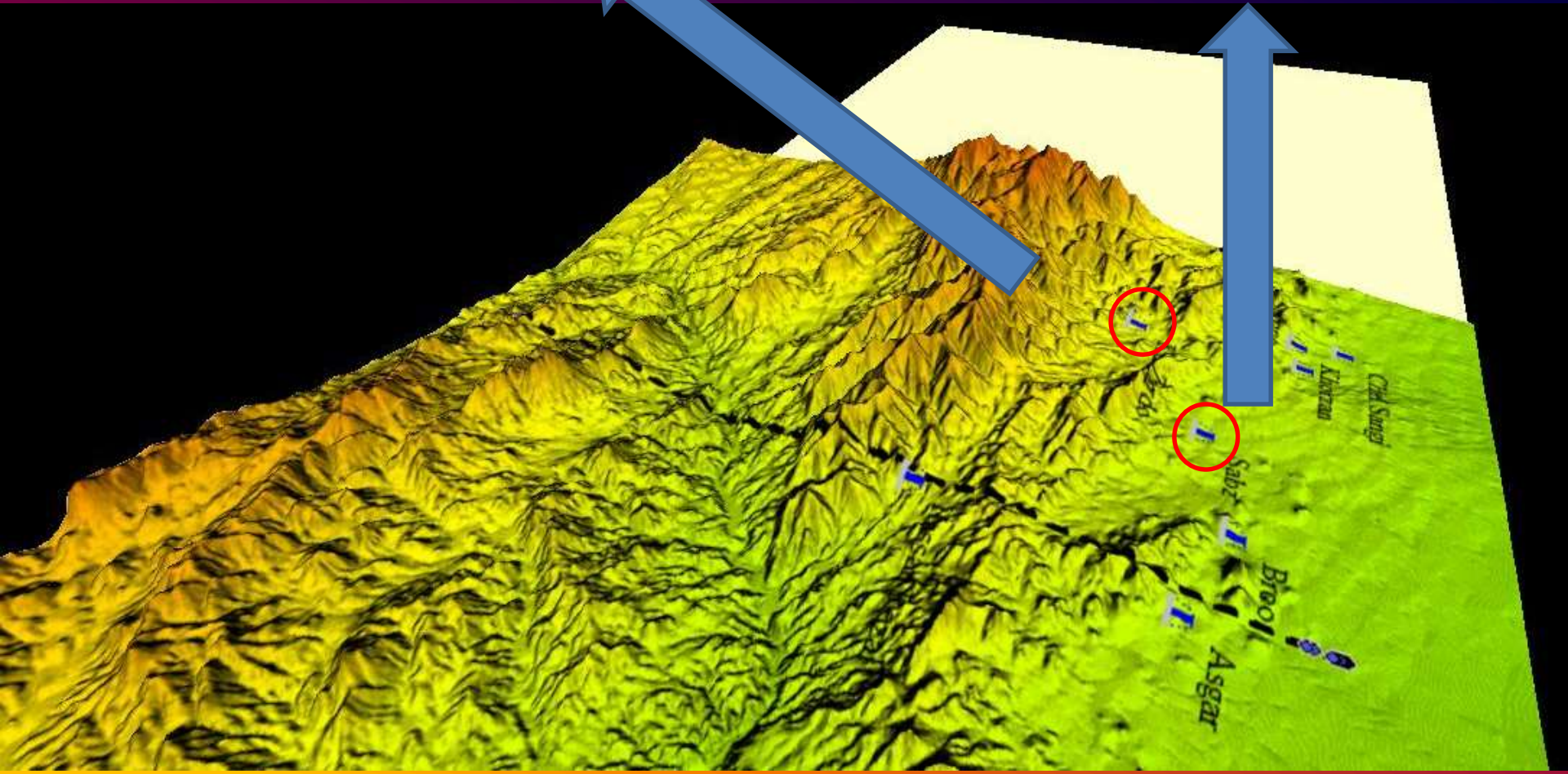

495000
497500
500000
3282500
3280000
3277500
3275000
3272500
N
W
E
S
جمل سنگی
خوری
اسپیانو
چشمه سبز
کوه زردو
حسن رضا
Legend
DHI
0.45
FRACTURE
PERMEABILI
OVERB_
PLZ_
FAULT
TYPE
DISTANCE
Tunnel


Chel Sangi
Sabz
Zab Zardo
Brqo

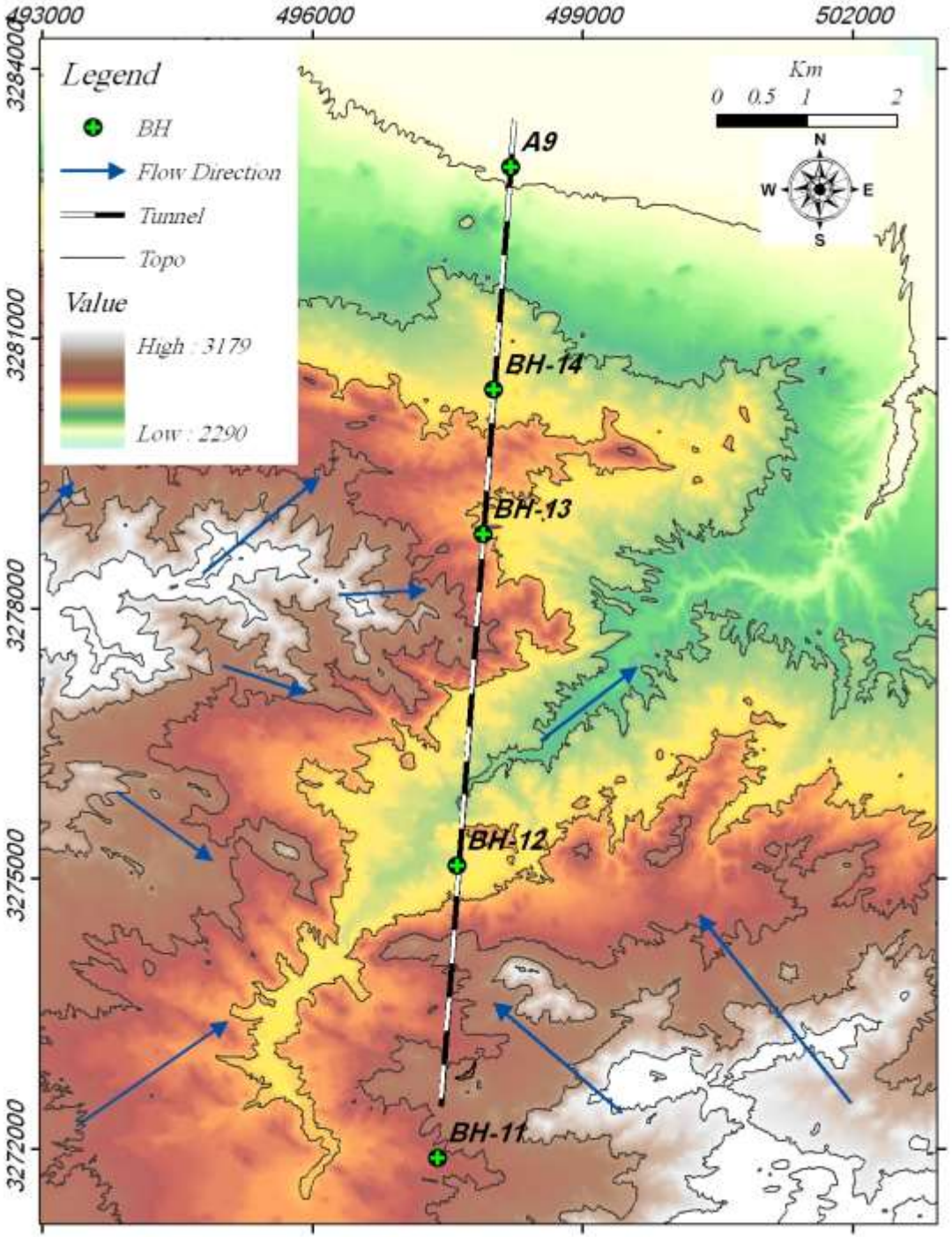
نقش نفوذپذیری



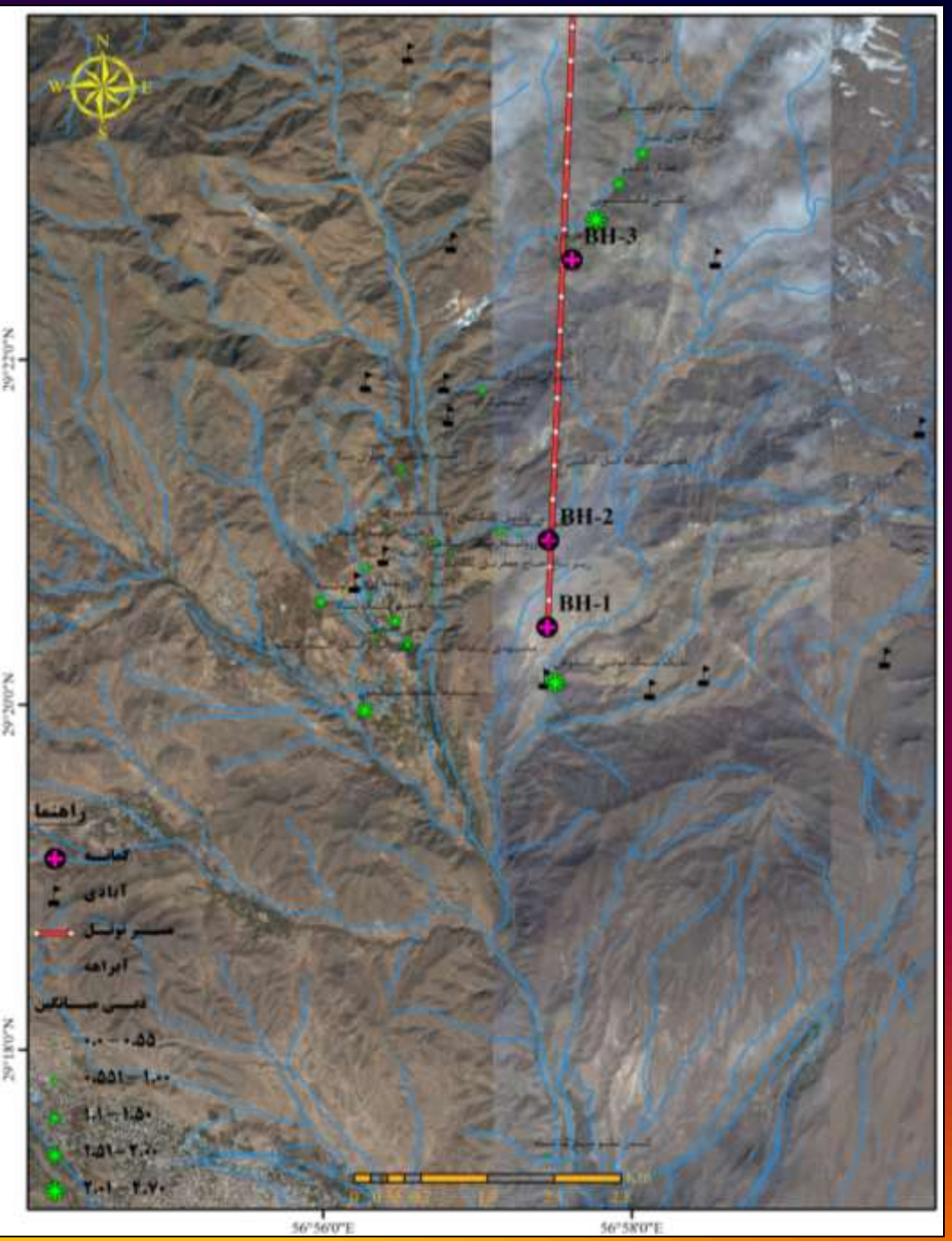




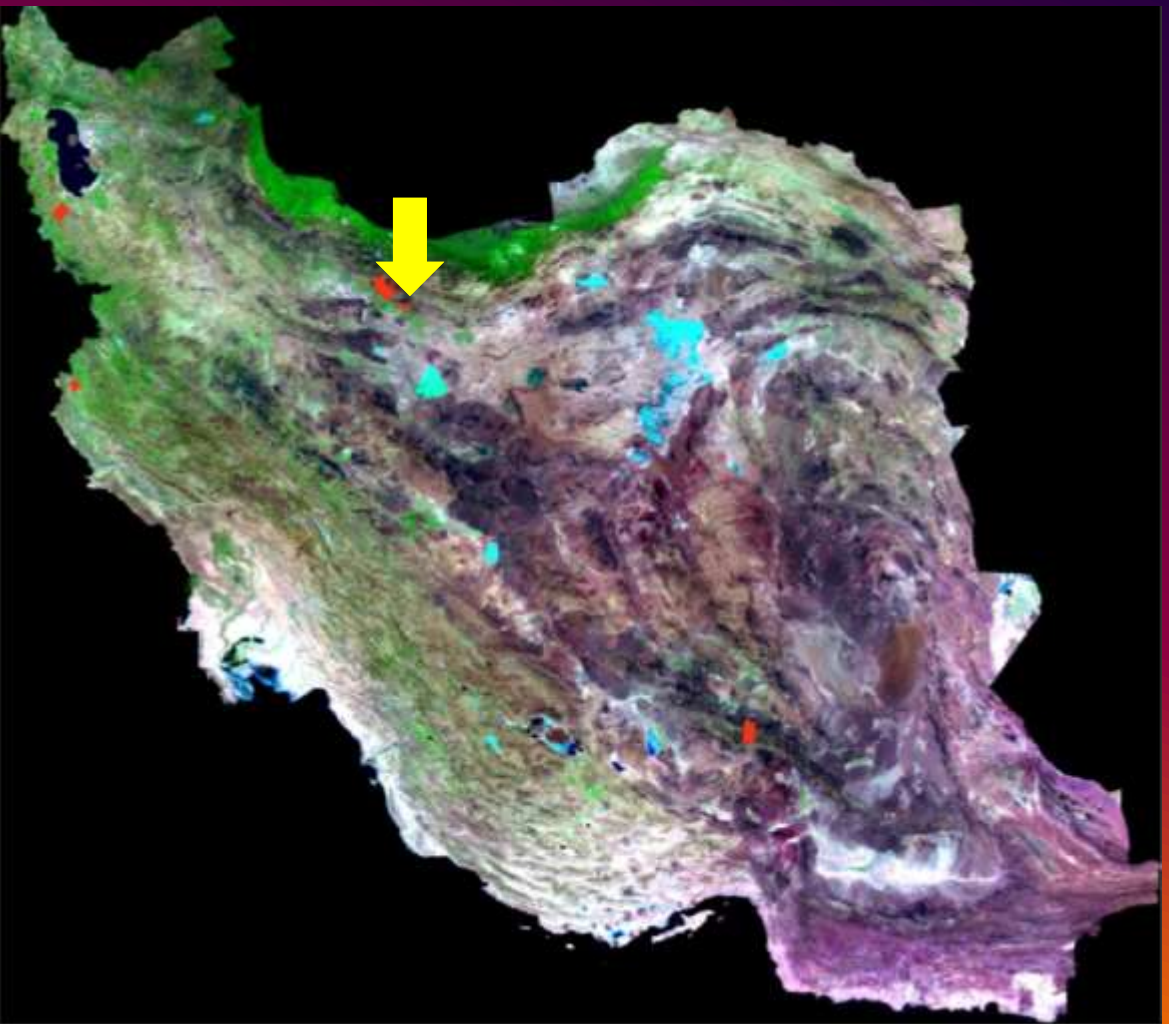
- نقش جهت جریان آب



- نقش سطح اساس فرسایش

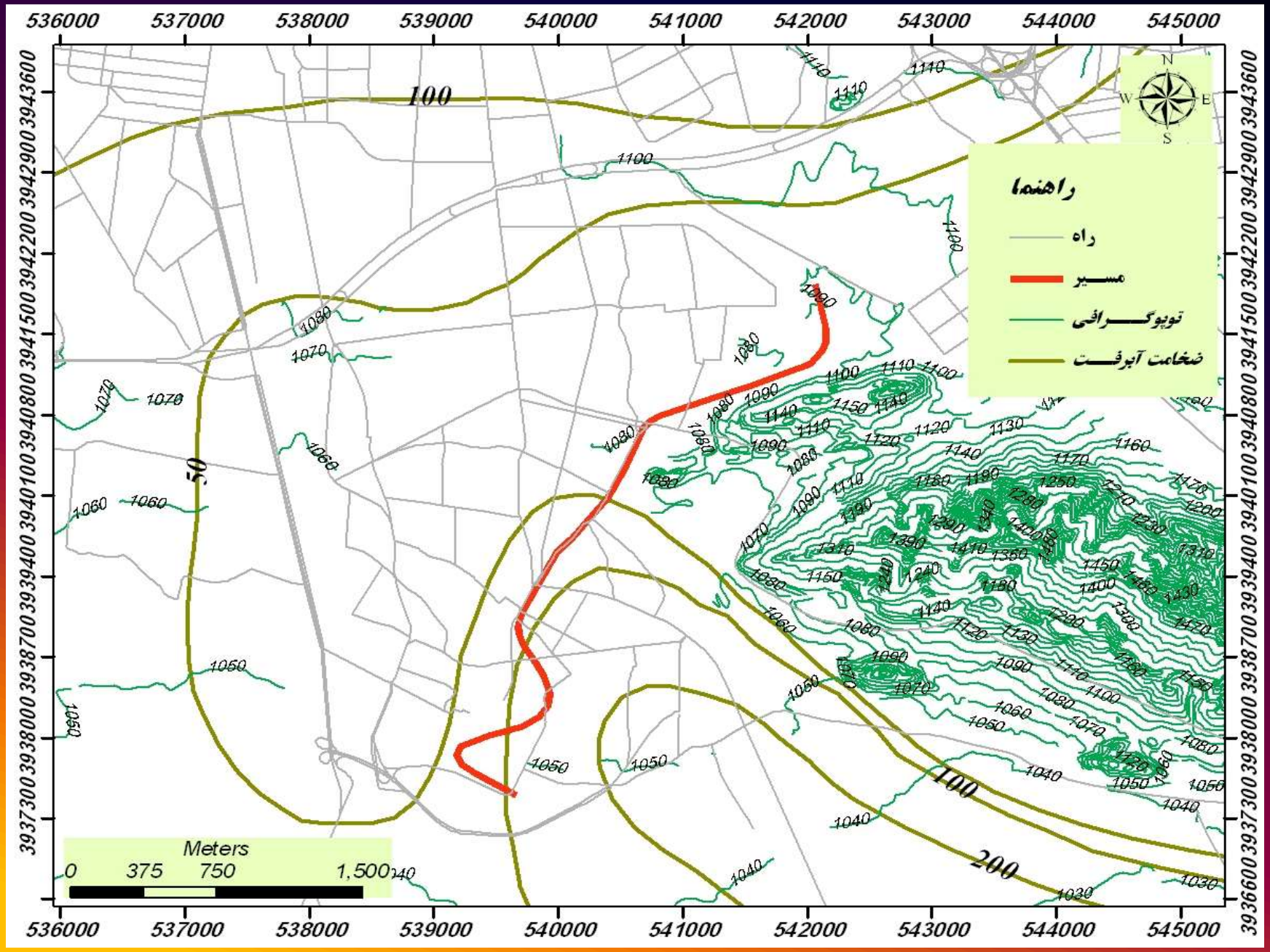


تجربیات



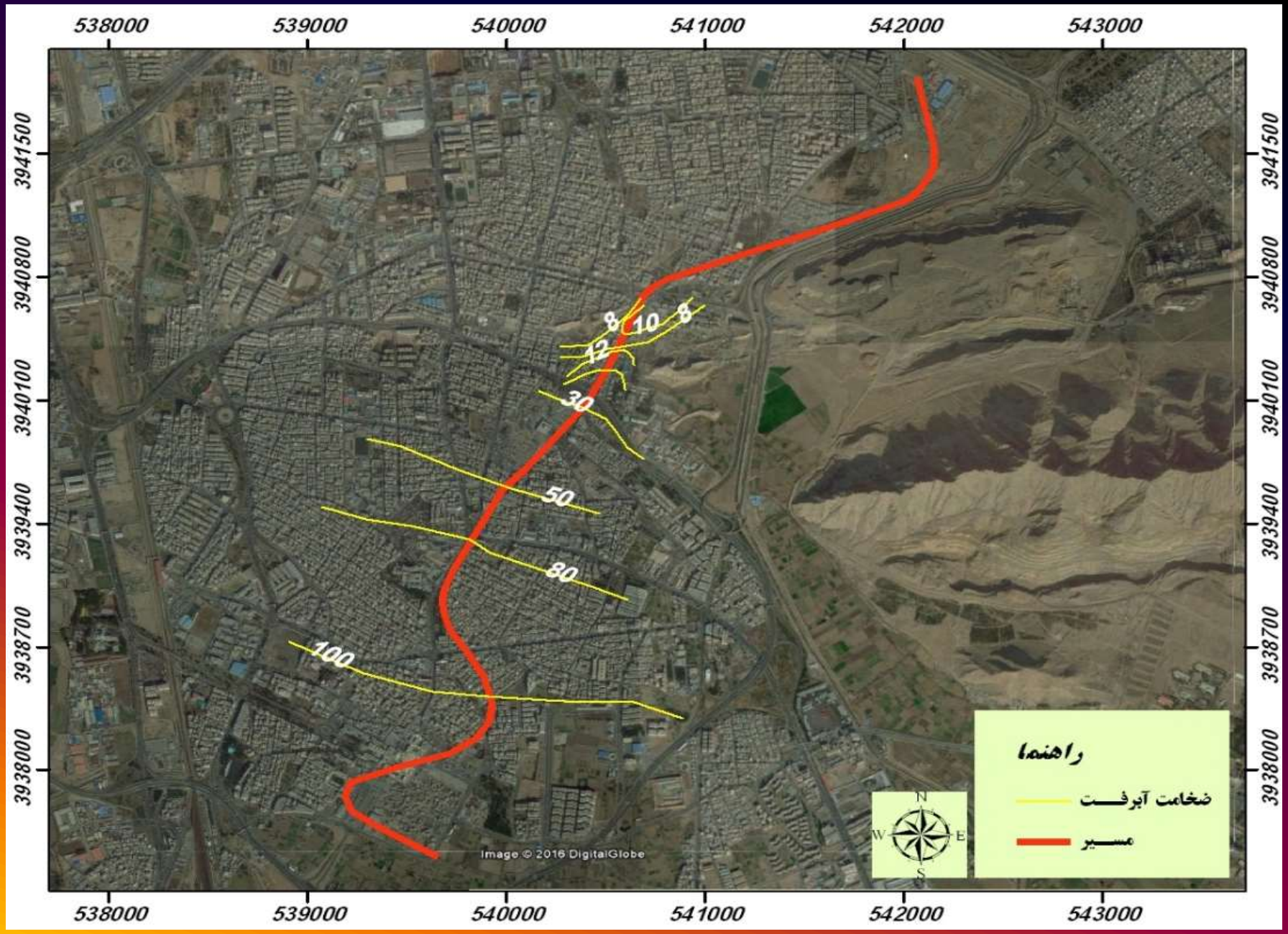
- تونل کرج
- تونل گلاس
- تونل کرمان
- تونل خط شش
- تونل بازی دراز

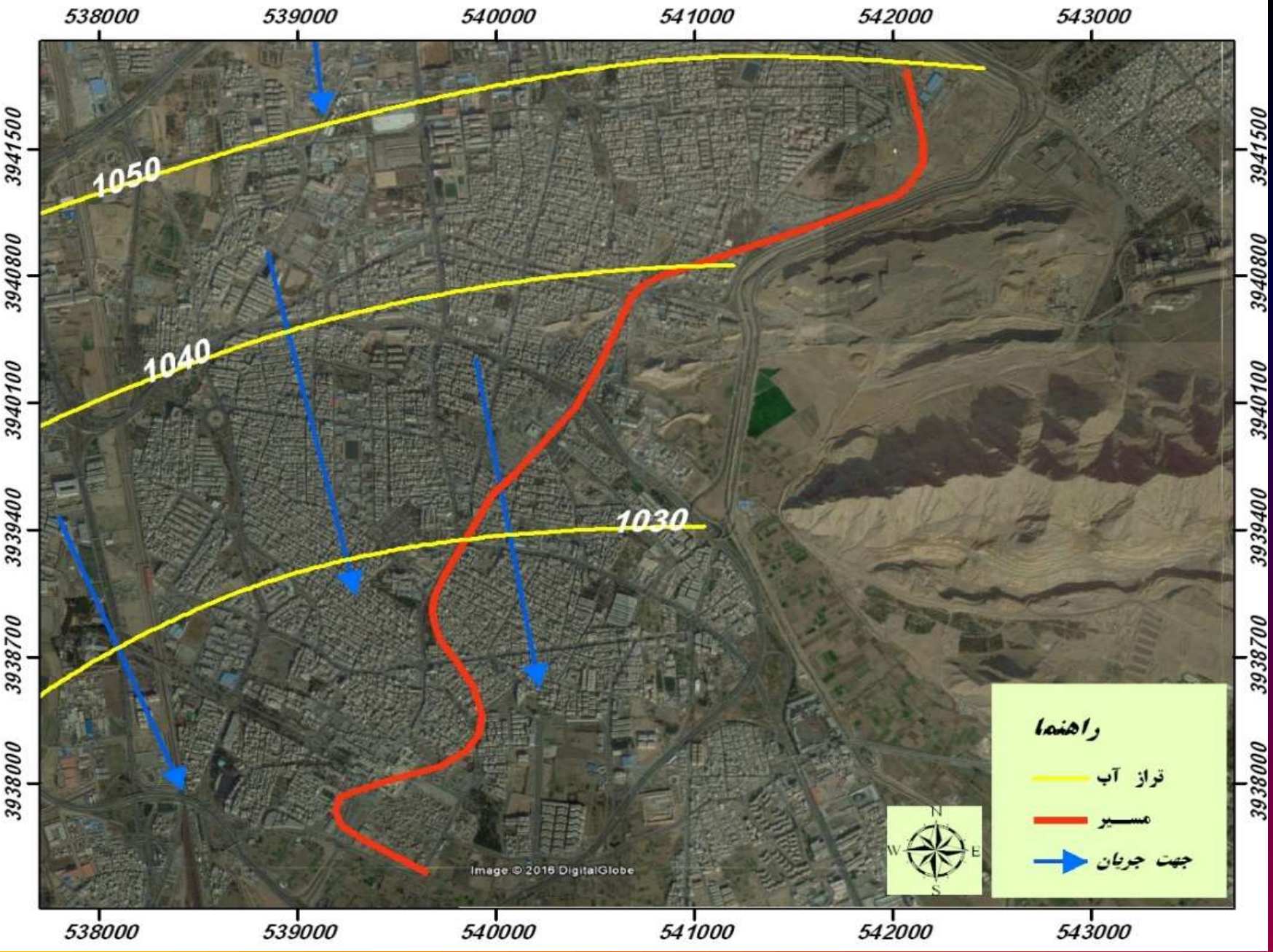
احتمال تاثیر آبدهی چشمه علی

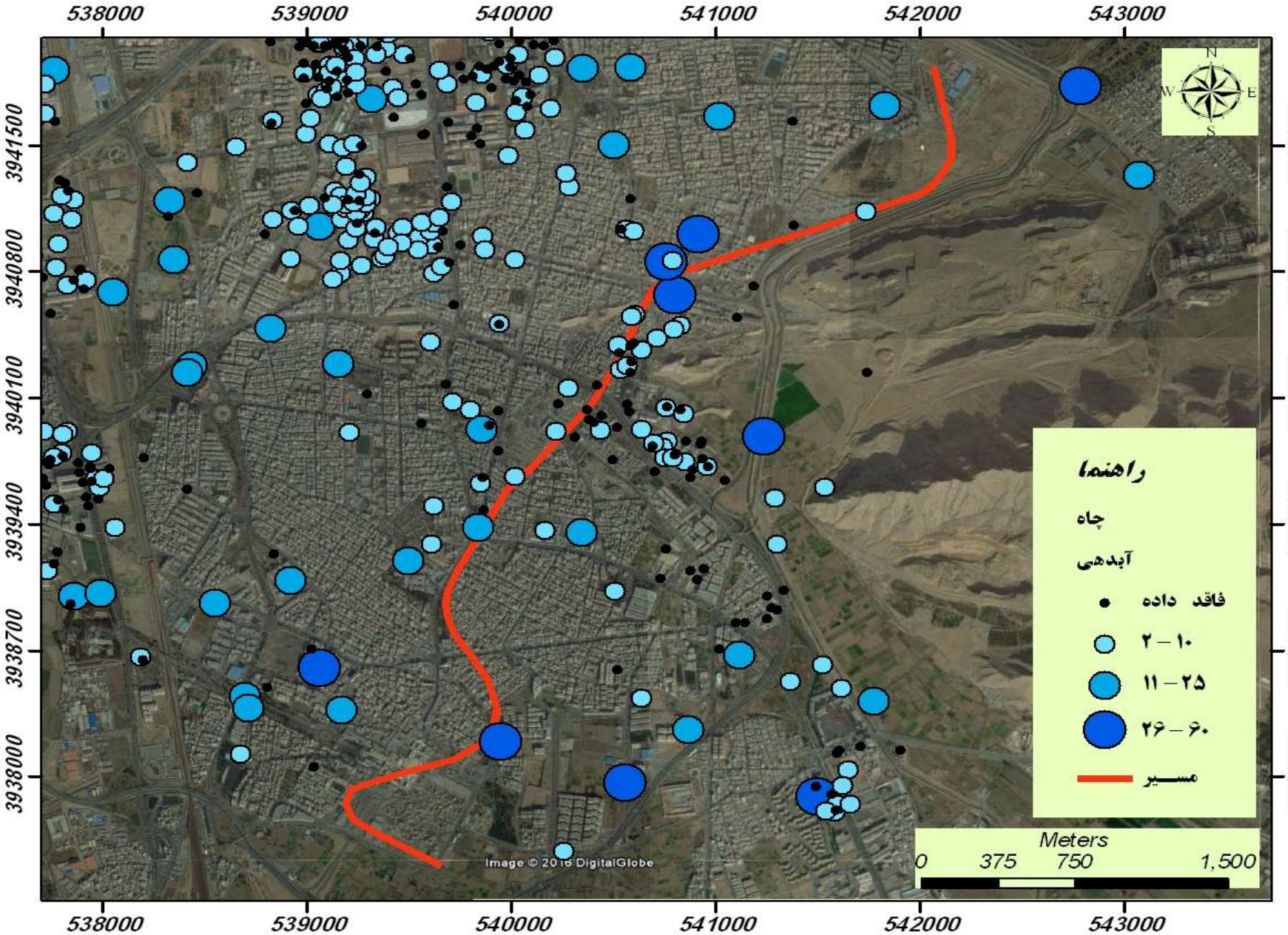

راهنما
راه
مسیر
توپوگرافی
ضخامت آبرفت
Meters
0 375 750 1,500
N
S
W
E
100
200
50

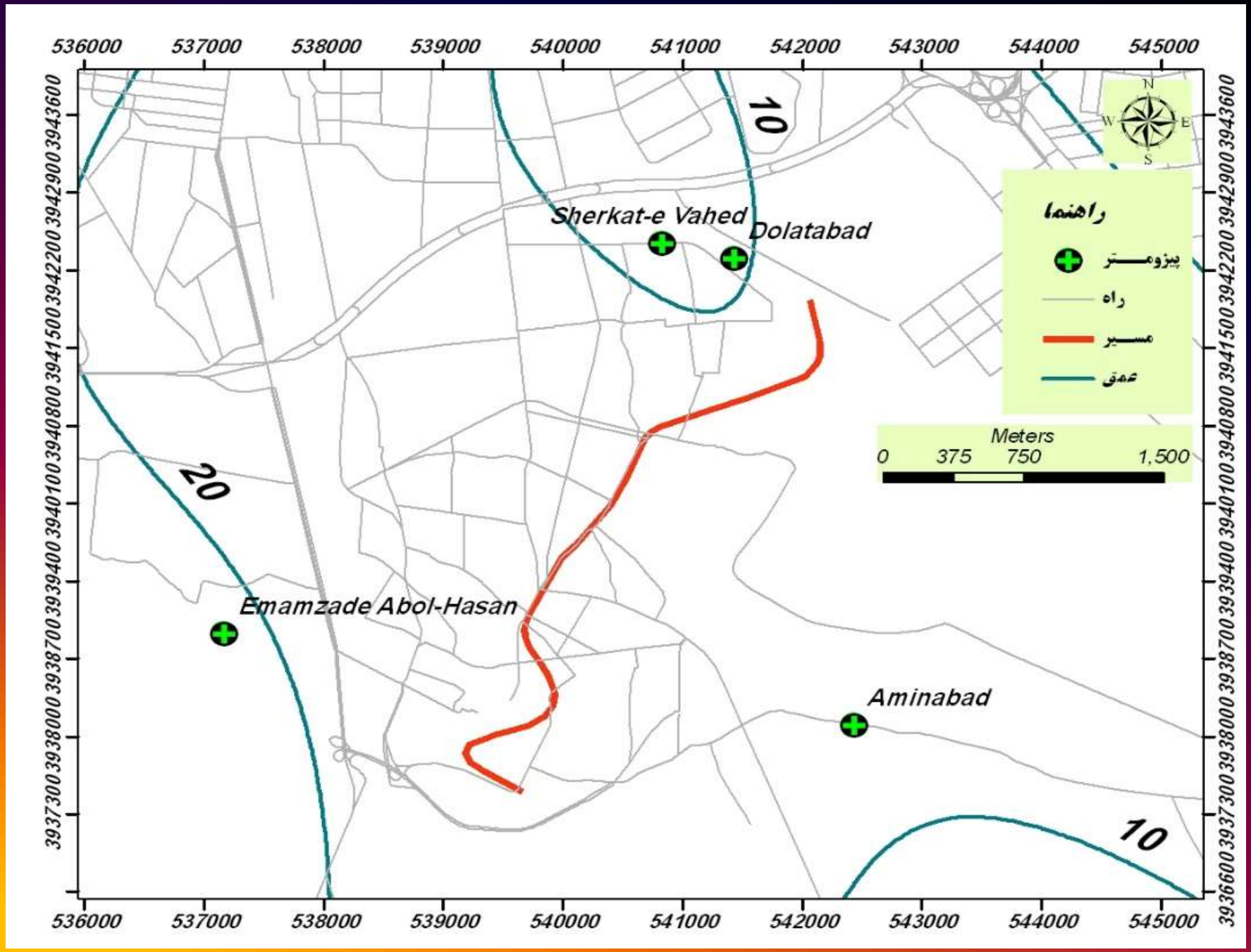
Mansurieh
TPO4
TPO3
Cheshmeh Ali
TPO2
Image © 2016 DigitalGlobe
© 2016 Google

TP2-7

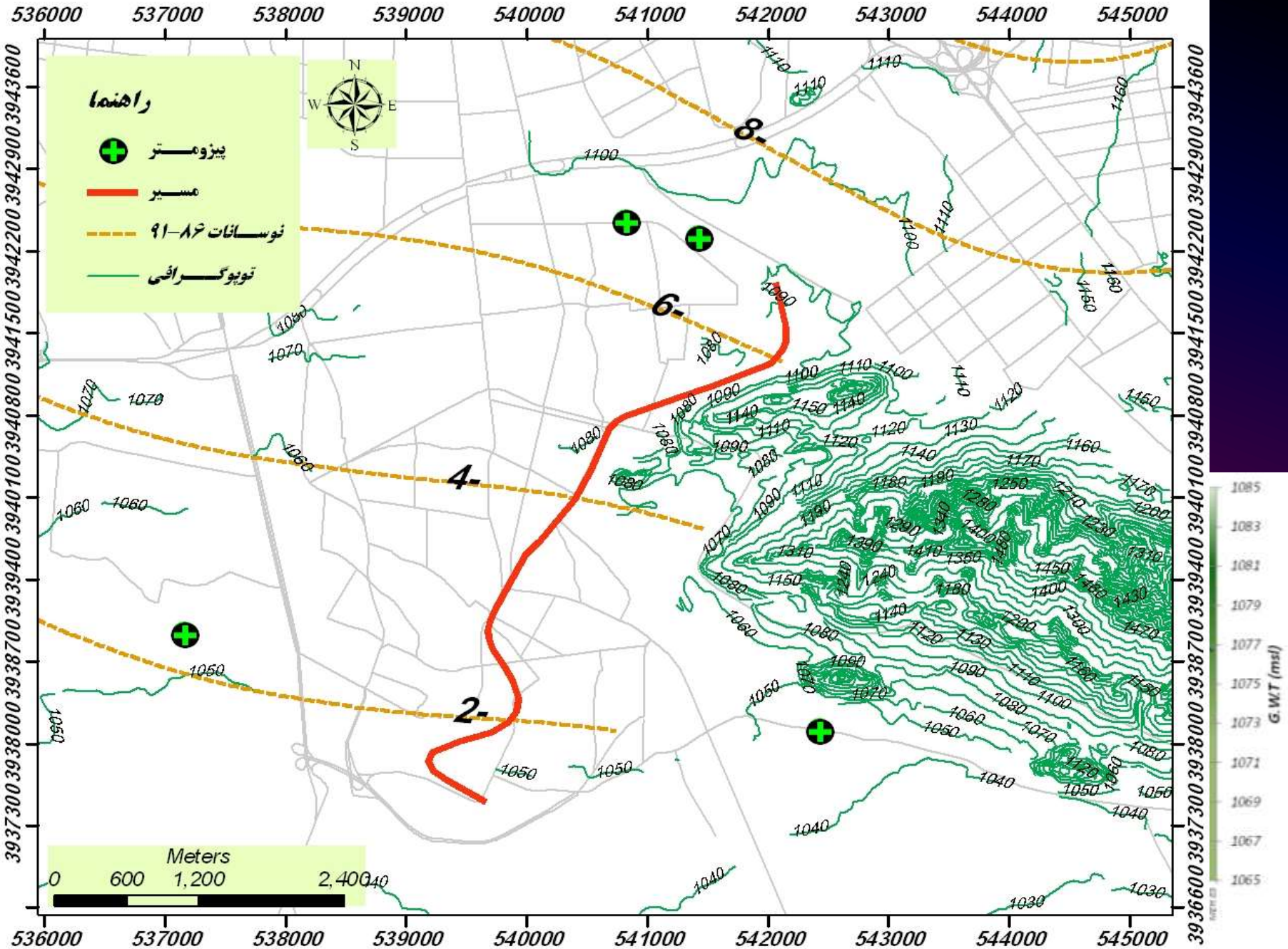

538000
539000
540000
541000
542000
543000
3941500
3940800
3940100
3939400
3938700
3938000
8
10
8
12
30
50
80
100
Image © 2016 DigitalGlobe
N
W
E
S
راهنما
ضخامت آبرفت
مسیر


538000
539000
540000
541000
542000
543000
3941500
3940800
3940100
3939400
3938700
3938000
1050
1040
1030
راهنما
تراز آب
مسیر
جهت جریان
N
S
W
E
Image © 2016 DigitalGlobe


538000
539000
540000
541000
542000
543000
3941500
3940800
3940100
3939400
3938700
3938000
N
W
E
S
راهنما
چاه
آبدهی
فاقد داده
۲ – ۱۰
۱۱ – ۲۵
۲۶ – ۶۰
مسیر
Meters
0
375
750
1,500
Image © 2016 DigitalGlobe



نقشه هم عمق برخورد به سطح ایستابی بر اساس پیزومترها


راهنما
پیزومتر
مسیر
نوسانات ۸۶-۹۱
توپوگرافی
N
S
W
E
8-
6-
4-
2-
Meters
0 600 1,200 2,400
G.W.T (msl)
536000 537000 538000 539000 540000 541000 542000 543000 544000 545000
3936600 3937300 3938000 3938700 3939400 3940100 3940800 3941500 3942200 3942900 3943600

امتداد شکستگیها

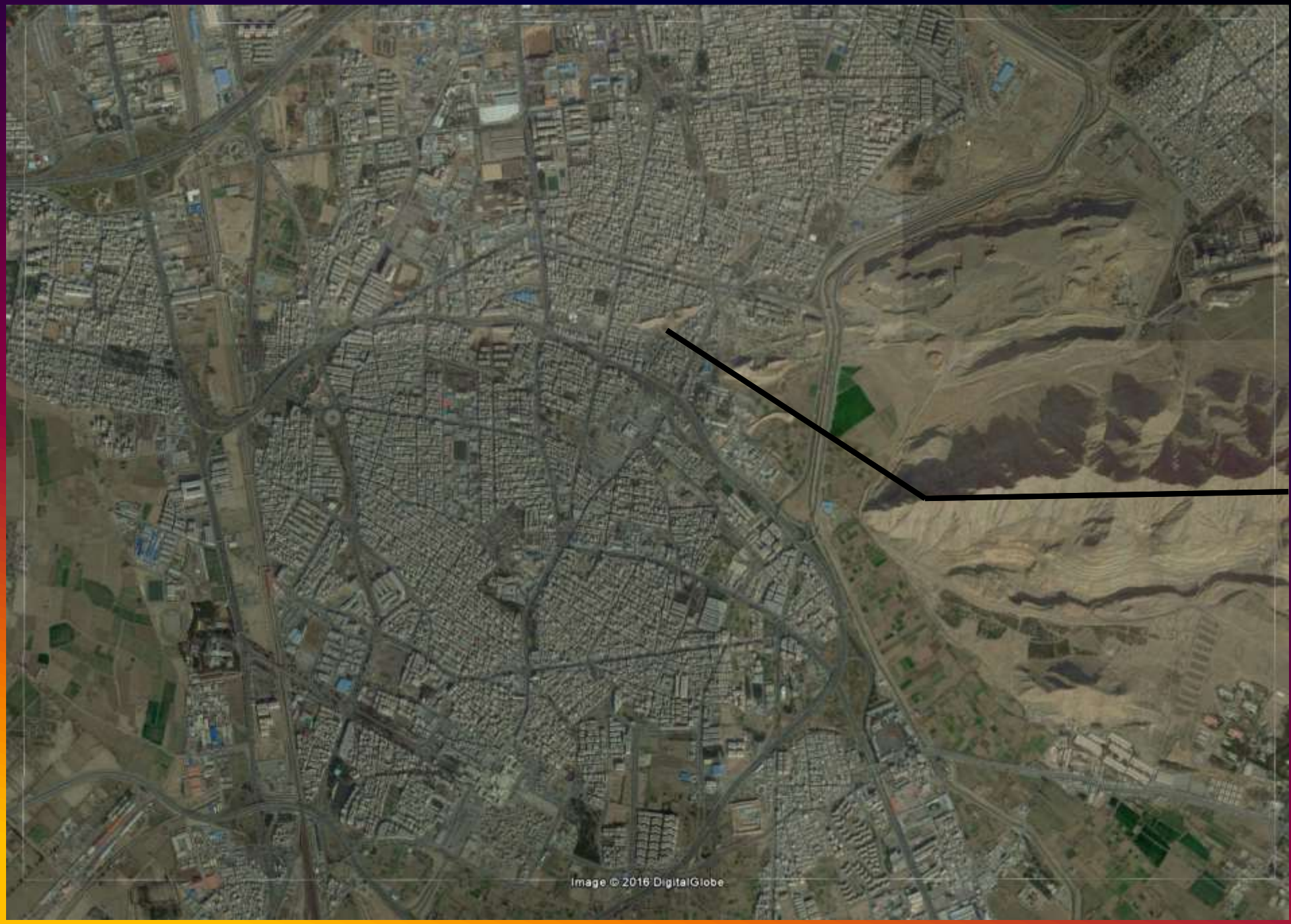
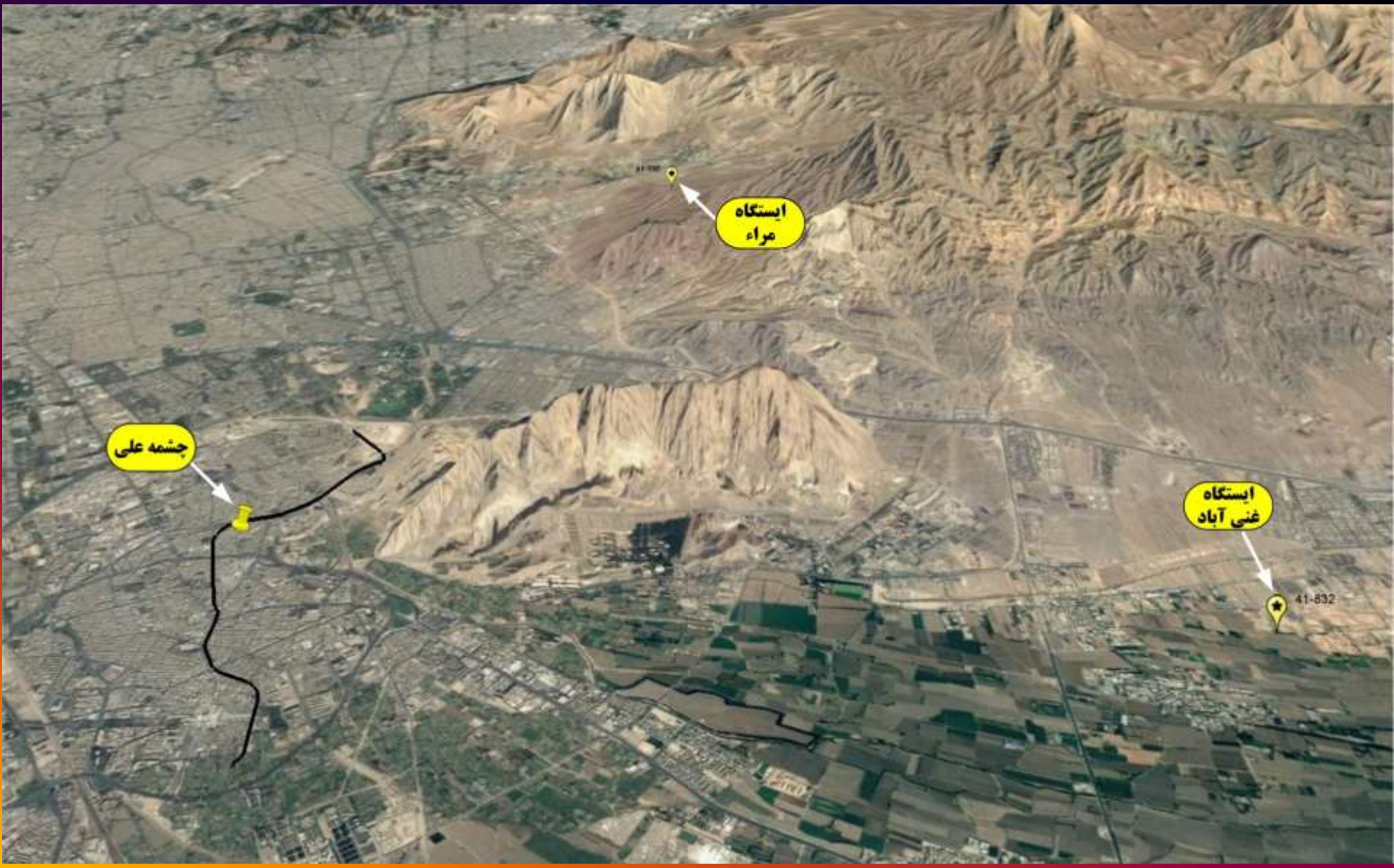
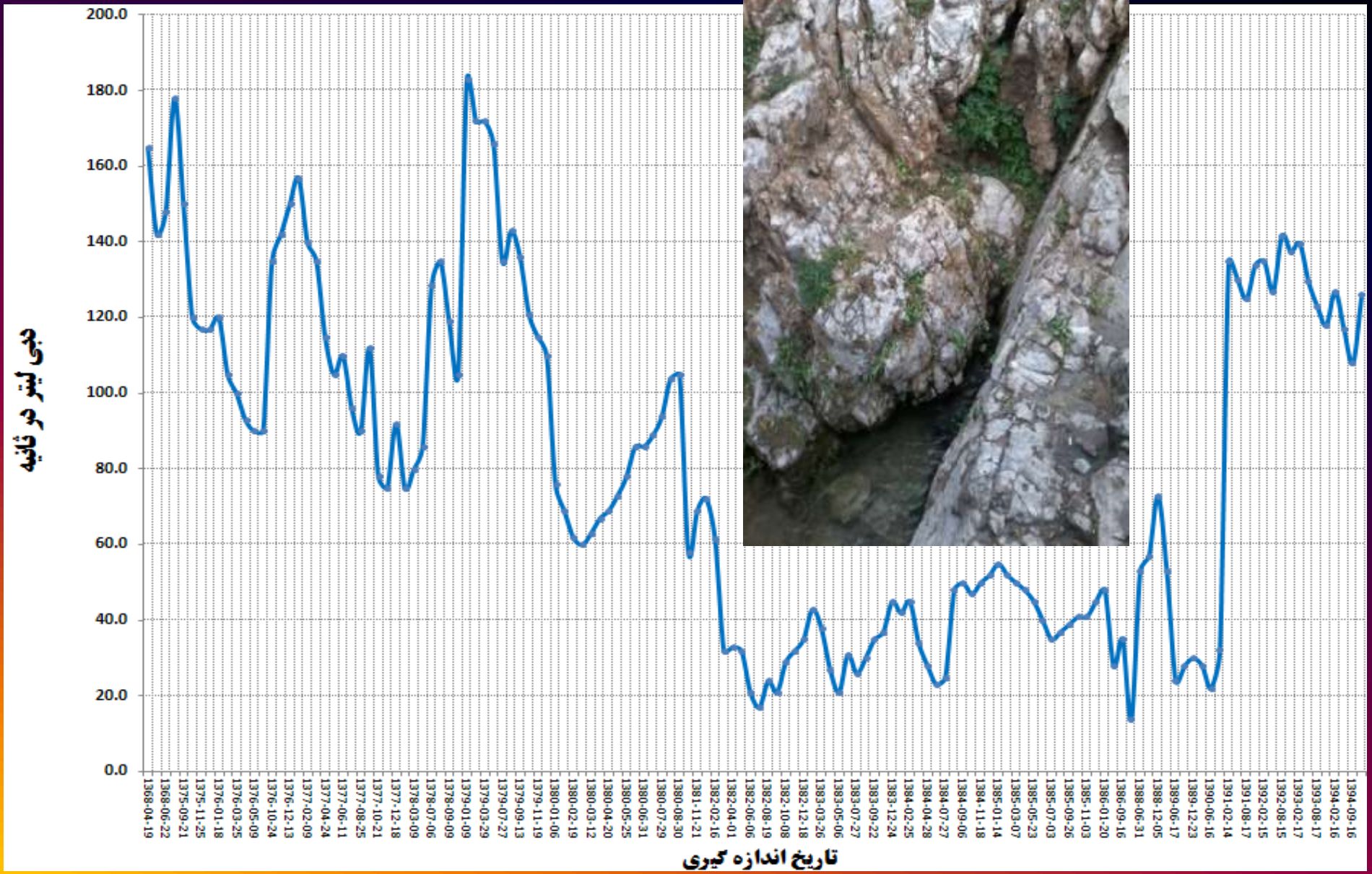
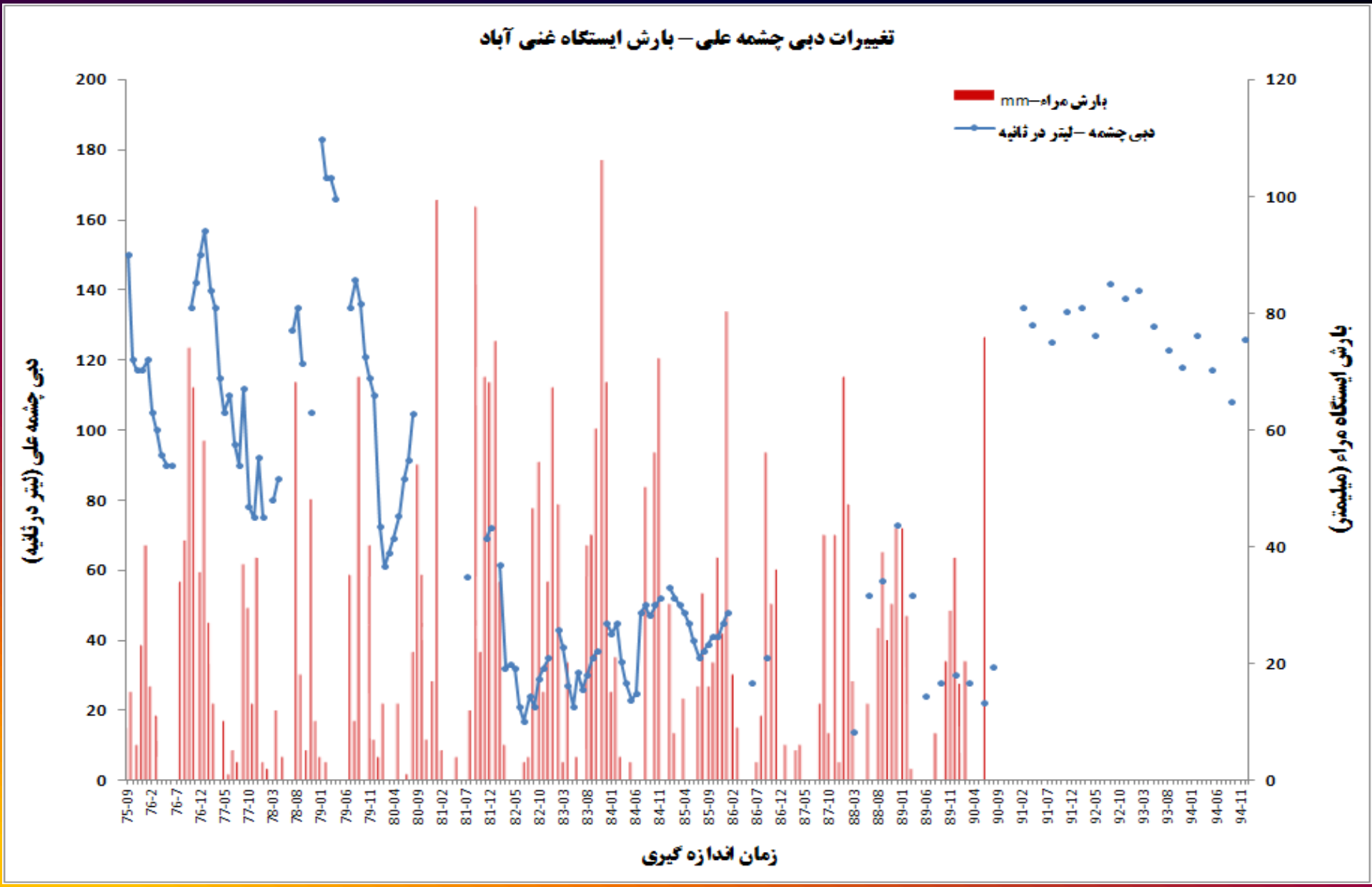
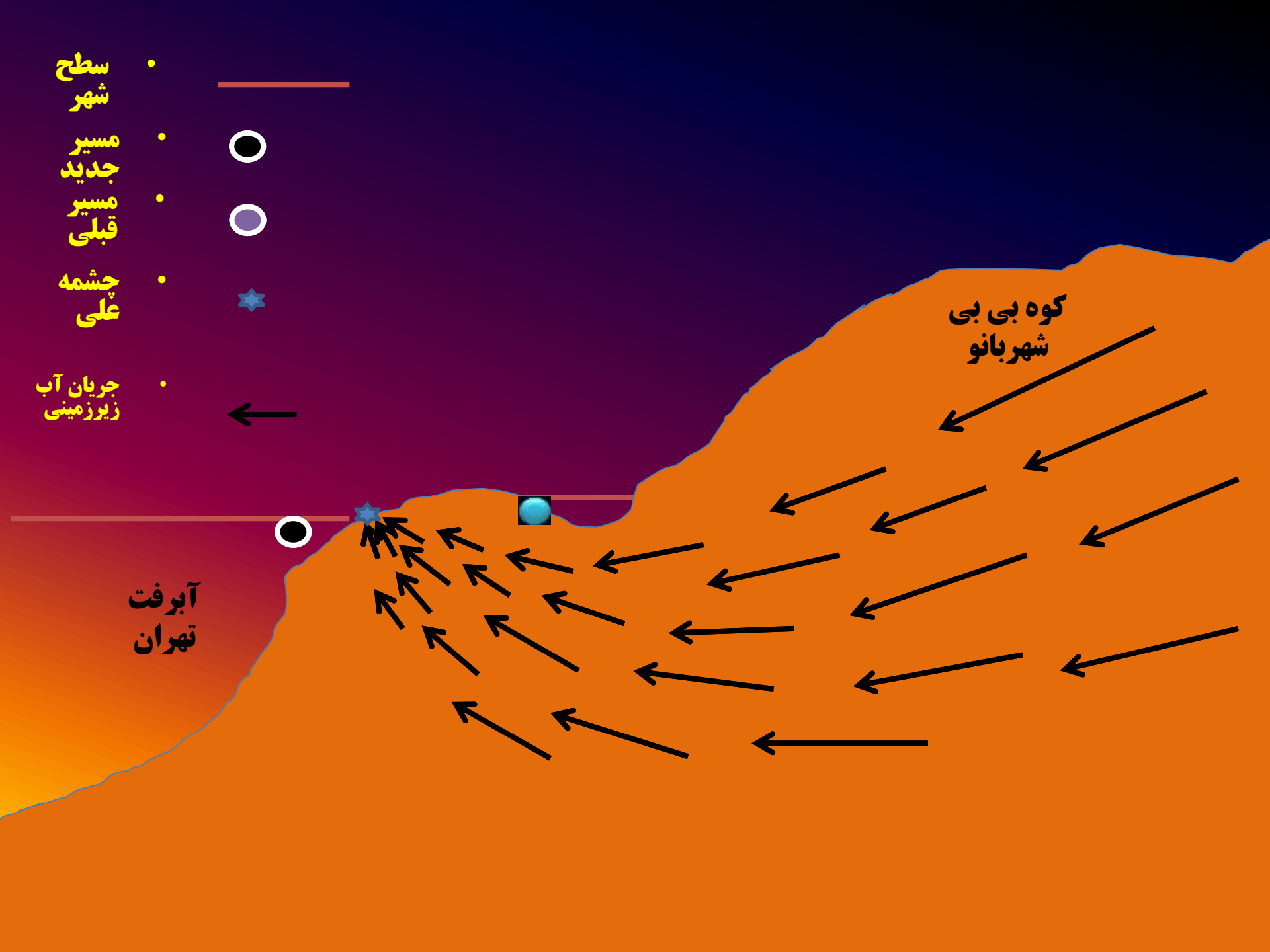


Image © 2016 DigitalGlobe

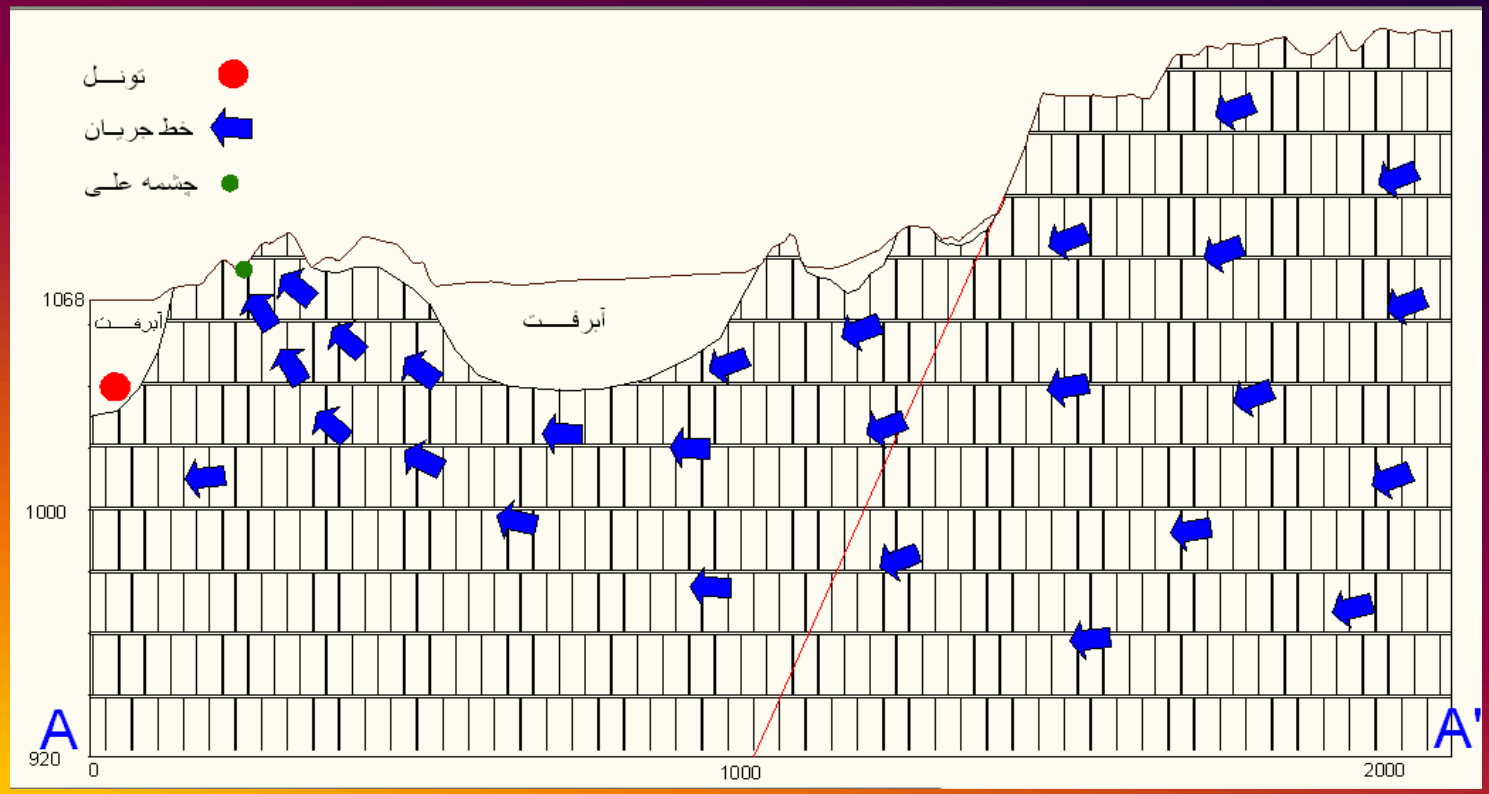

ایستگاه
مراء
چشمه علی
ایستگاه
غنی آباد
41-832

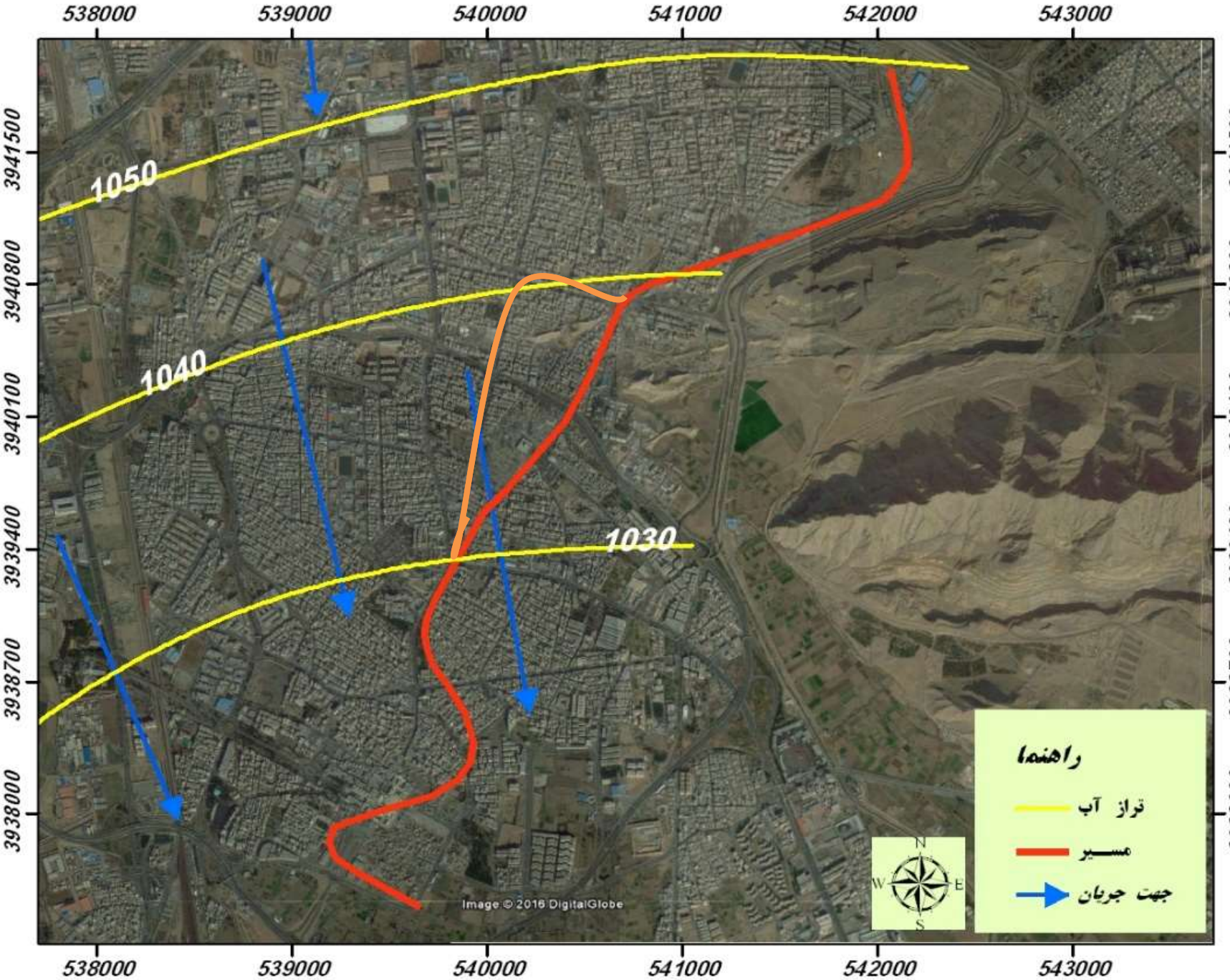

دبی لیتر در ثانیه
200.0
180.0
160.0
140.0
120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0
1368-04-19
1368-06-22
1375-09-21
1375-11-25
1376-01-18
1376-03-25
1376-05-09
1376-10-24
1376-12-13
1377-02-09
1377-04-24
1377-06-11
1377-08-25
1377-10-21
1377-12-18
1378-03-09
1378-07-06
1378-09-09
1379-01-09
1379-03-29
1379-07-27
1379-09-13
1379-11-19
1380-01-06
1380-02-19
1380-03-12
1380-04-20
1380-05-25
1380-06-31
1380-07-29
1380-08-30
1381-11-21
1382-02-16
1382-04-01
1382-06-06
1382-08-19
1382-10-08
1382-12-18
1383-03-26
1383-05-06
1383-07-27
1383-09-22
1383-12-24
1384-02-25
1384-04-28
1384-07-27
1384-09-06
1384-11-18
1385-01-14
1385-03-07
1385-05-23
1385-07-03
1385-09-26
1385-11-03
1386-01-20
1386-09-16
1388-06-31
1388-12-05
1389-06-17
1389-12-23
1390-06-16
1391-02-14
1391-08-17
1392-02-15
1392-08-15
1393-02-17
1393-08-17
1394-02-16
1394-09-16
تاریخ اندازه گیری


تغییرات دبی چشمه علی – بارش ایستگاه غنی آباد
بارش مراغه–mm
دبی چشمه –لیتر در ثانیه
دبی چشمه علی (لیتر در ثانیه)
بارش ایستگاه مراغه (میلیمتر)
زمان اندازه گیری
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
75-09
76-2
76-7
76-12
77-05
77-10
78-03
78-08
79-01
79-06
79-11
80-04
80-09
81-02
81-07
81-12
82-05
82-10
83-03
83-08
84-01
84-06
84-11
85-04
85-09
86-02
86-07
86-12
87-05
87-10
88-03
88-08
89-01
89-06
89-11
90-04
90-09
91-02
91-07
91-12
92-05
92-10
93-03
93-08
94-01
94-06
94-11

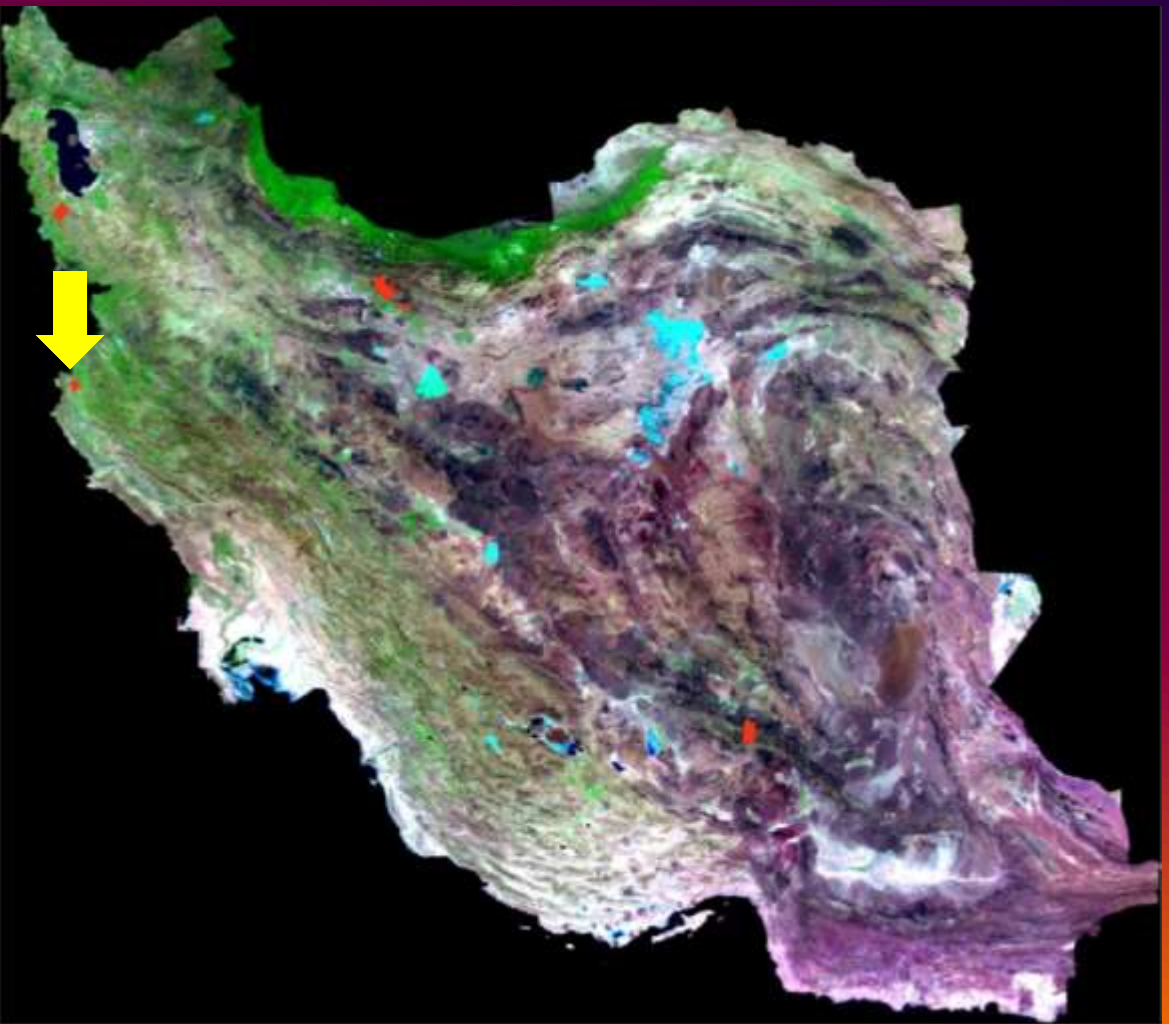

سطح شهر
مسیر جدید
مسیر قبلی
چشمه علی
جریان آب زیرزمینی
کوه بی بی شهربانو
آبرفت تهران

A
A'

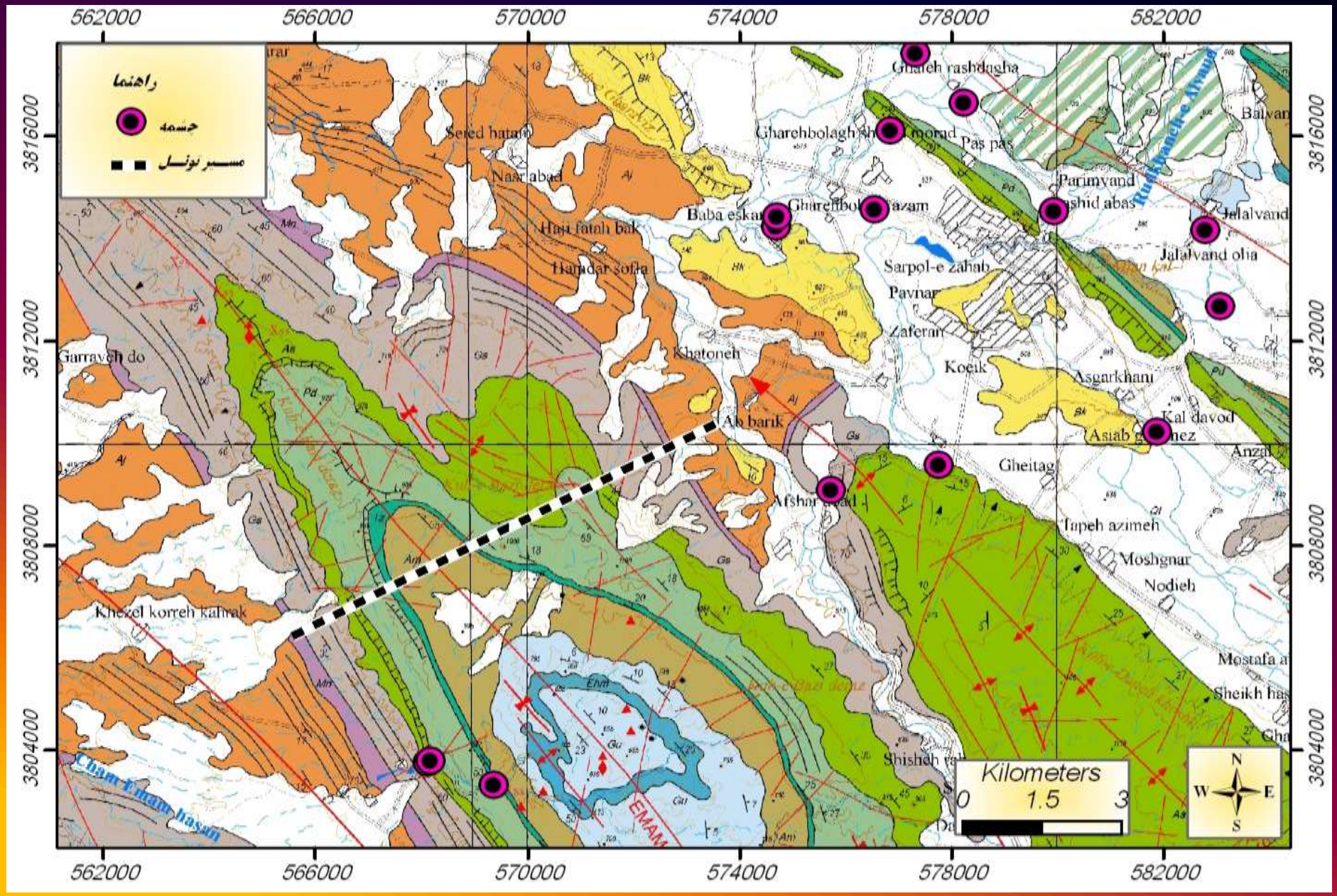

تونـــل
خط جریـان
چشمه علـی
آبرفـــت
آبرفـــت
1068
1000
920
0
1000
2000
A
A'

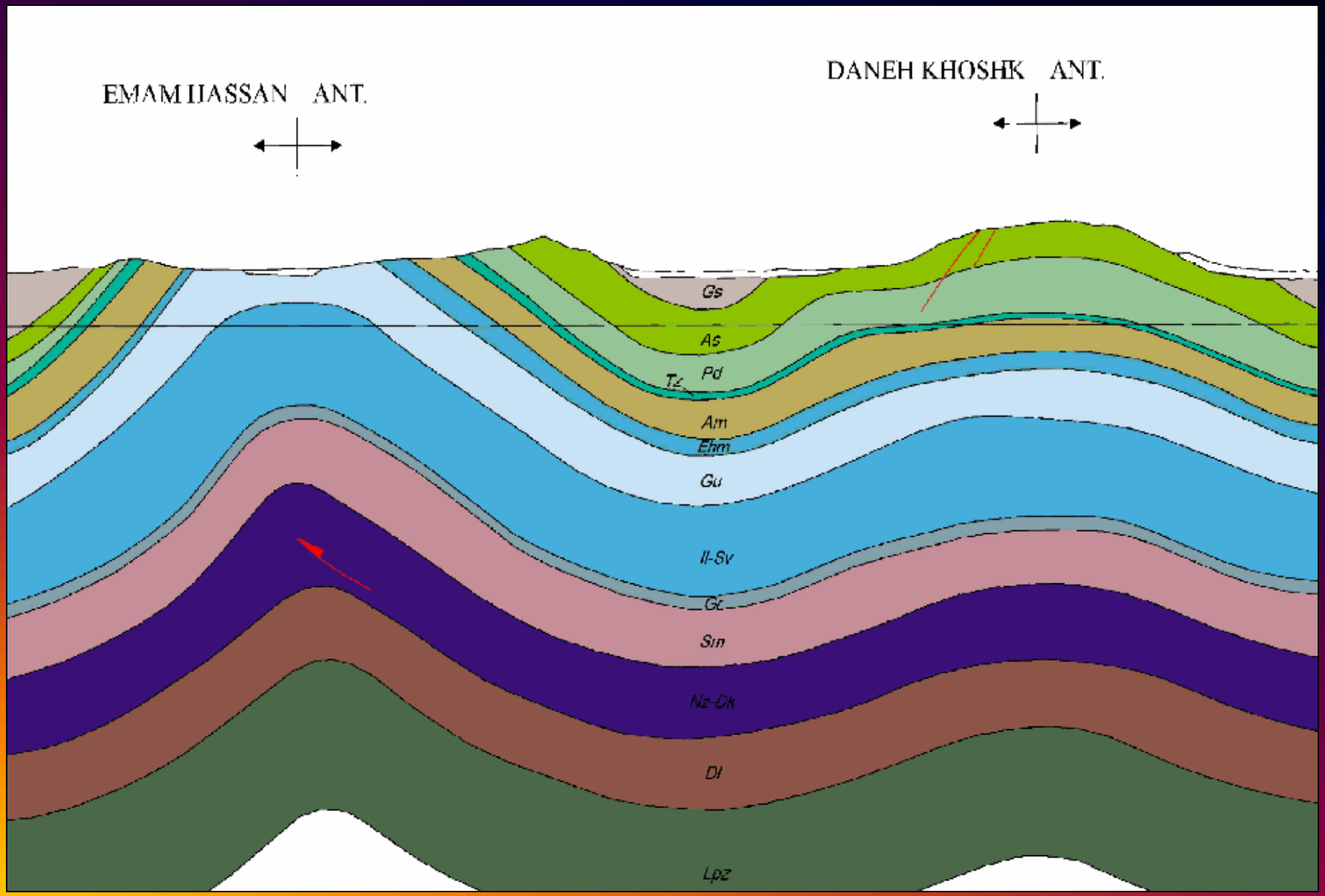

538000
539000
540000
541000
542000
543000
3941500
3940800
3940100
3939400
3938700
3938000
1050
1040
1030
Image © 2016 DigitalGlobe
راهنما
تراز آب
مسیر
جهت جریان
N
S
E
W

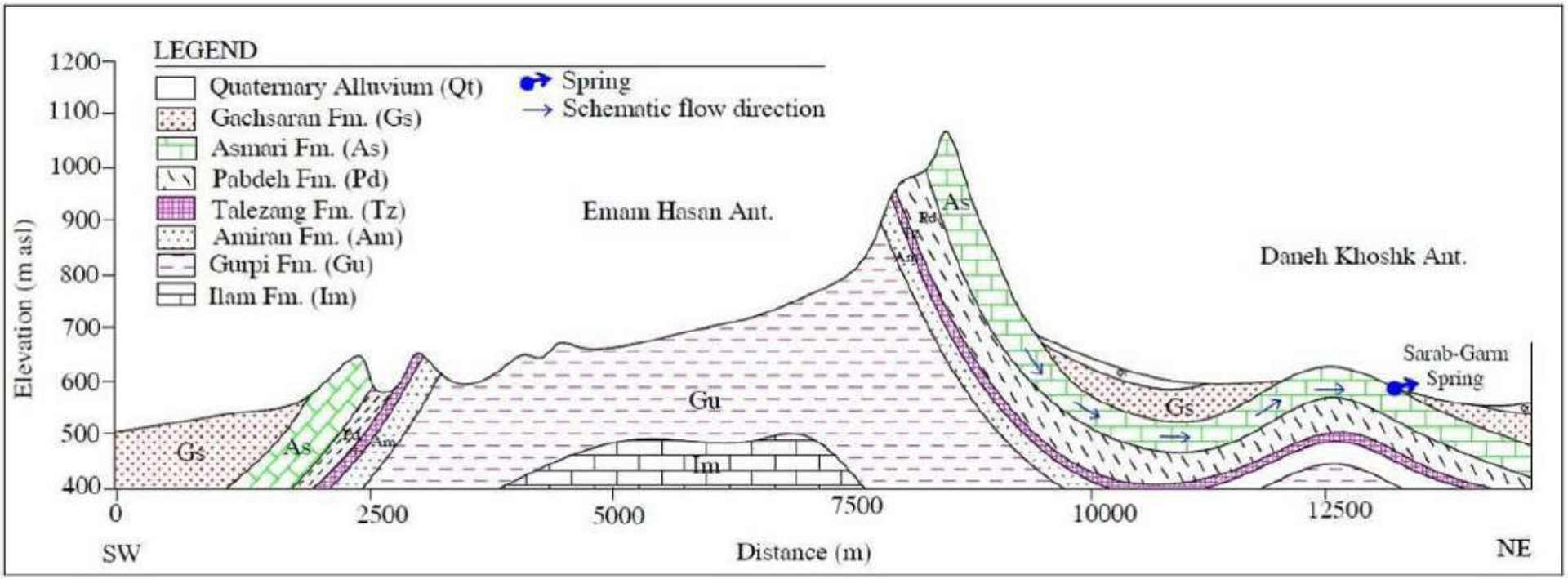
تجربیات

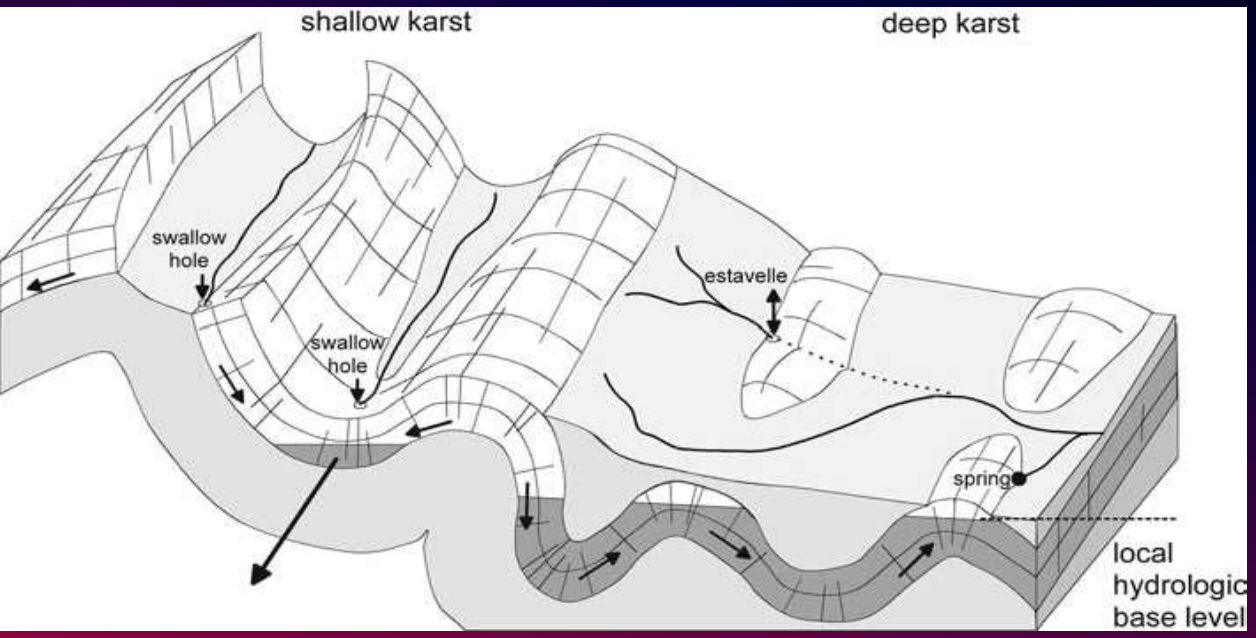


- تونل کرج
- تونل گلاس
- تونل کرمان
- تونل خط شش
- تونل بازی دراز

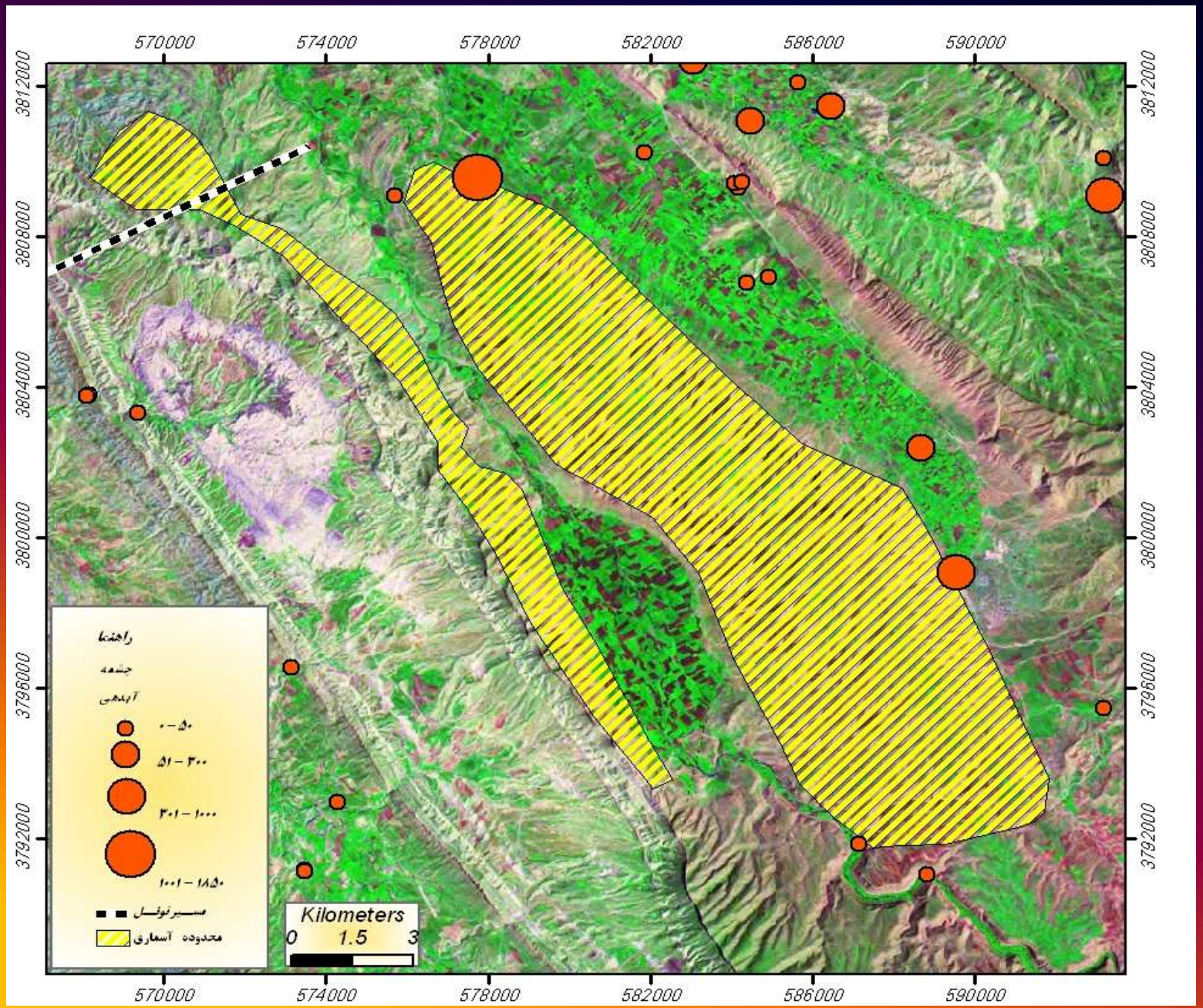

562000
566000
570000
574000
578000
582000
3816000
3812000
3808000
3804000
راهنما
حفره
مسیر تونل
Seied hatam
Naser abad
Haji fatah bak
Hamdar sofla
Baba eskan
Gharehbolagh sh
Gharehbolagh
Gharehbolagh azam
Ghaleh rashdagha
Chorod
Pas pas
Parimyand
Jalalvand
Jalalvand olia
Sarpol-e zahab
Pavnar
Zaferan
Koeik
Asgarkhani
Kal davod
Anzal
Gheitag
Tapeh azimeh
Moshgnar
Nodieh
Mostafa a
Sheikh has
Shisheh ra
Khatoneh
Ab barik
Afshar
Garrayeh do
Khezel korreh kahrak
Cham Emam hasan
EMAM
Kilometers
0
1.5
3
N
S
W
E


EMAM HASSAN ANT.
DANEH KHOSHK ANT.
Gs
As
Pd
Tl
Am
Ehm
Gu
Il-Sv
Gl
Sm
Nz-Dk
Dl
Lpz


LEGEND
Quaternary Alluvium (Qt)
Gachsaran Fm. (Gs)
Asmari Fm. (As)
Pabdeh Fm. (Pd)
Talezang Fm. (Tz)
Amiran Fm. (Am)
Gurpi Fm. (Gu)
Ilam Fm. (Im)
Spring
Schematic flow direction
Emam Hasan Ant.
Daneh Khoshk Ant.
Sarab-Garm Spring
Gs
As
Pd
Am
Gu
Im
Tz
Elevation (m asl)
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
0
2500
5000
7500
10000
12500
SW
Distance (m)
NE

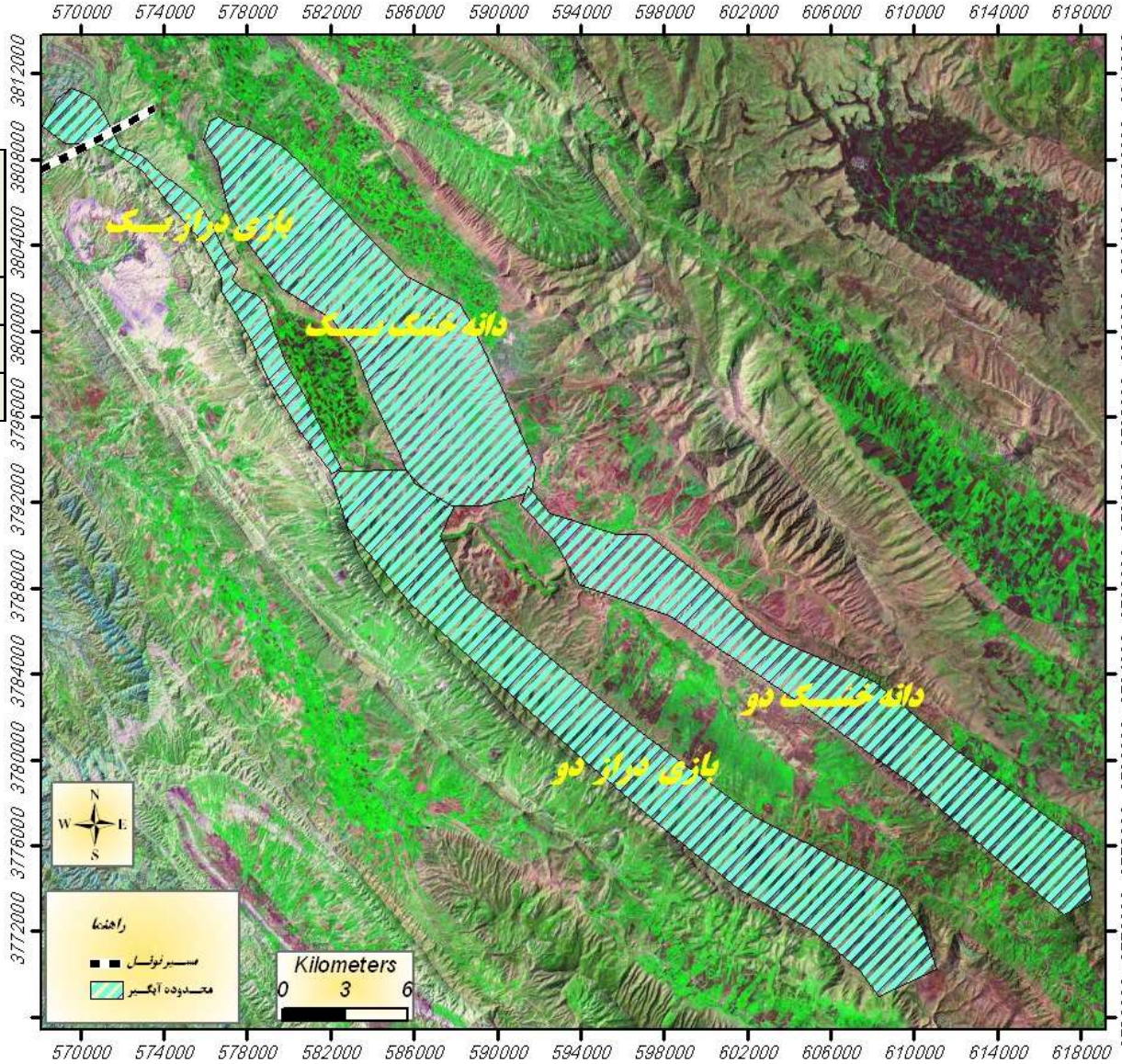

shallow karst
deep karst
swallow hole
swallow hole
estavelle
spring
local hydrologic base level

چشمه سراب گرم

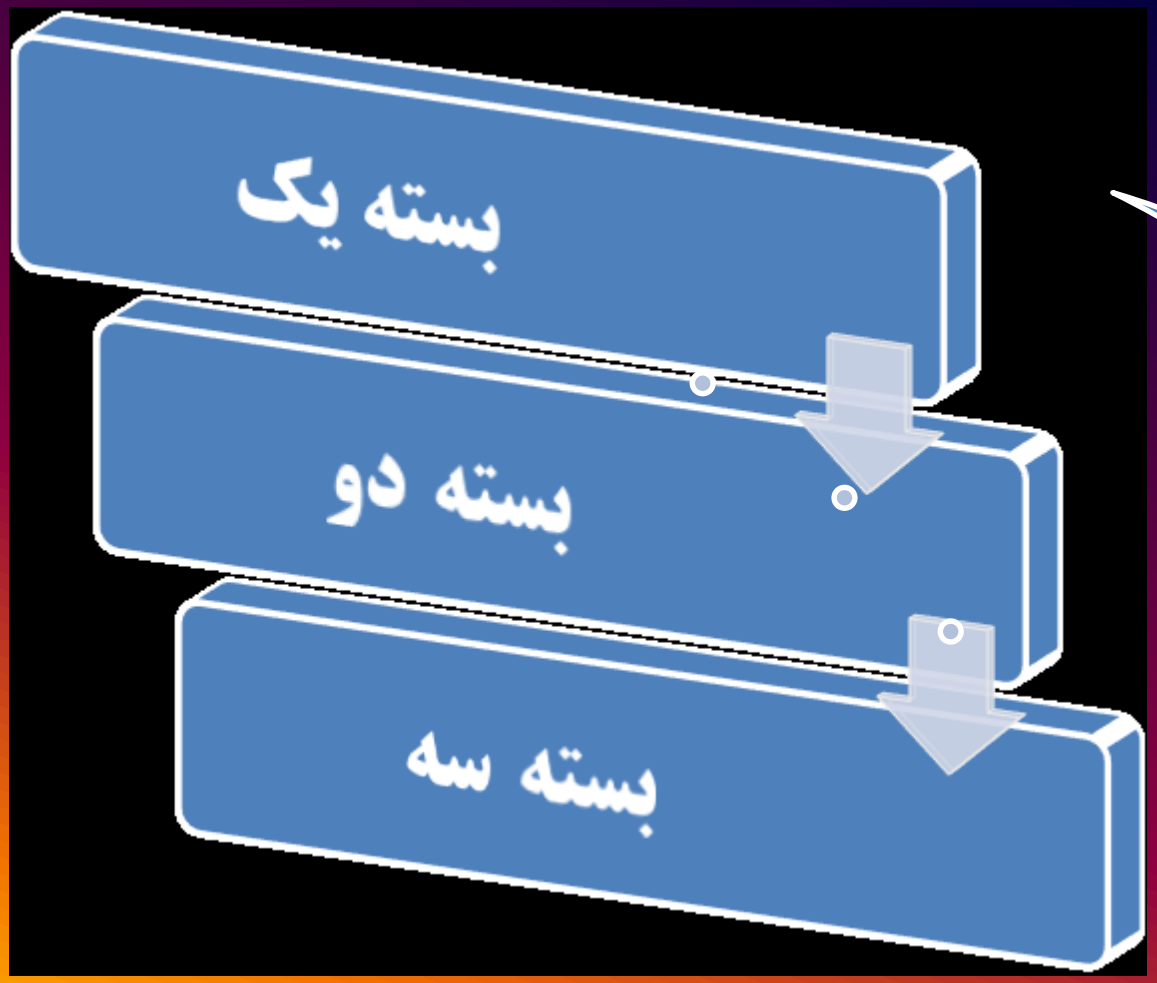


چشمه	آبدهی (میلیون متر مکعب)	مساحت مورد نیاز جهت تامین آبدهی (کیلومتر مربع)
چشمه سراب گرم	55.5	185
چشمه قلعه شاهین	14.5	50
مجموع	70	235

منطقه آبگیر	مساحت (کیلومتر مربع)
دانه خشک یک	100
بازی دراز یک	23
دانه خشک دو	80
بازی دراز دو	110

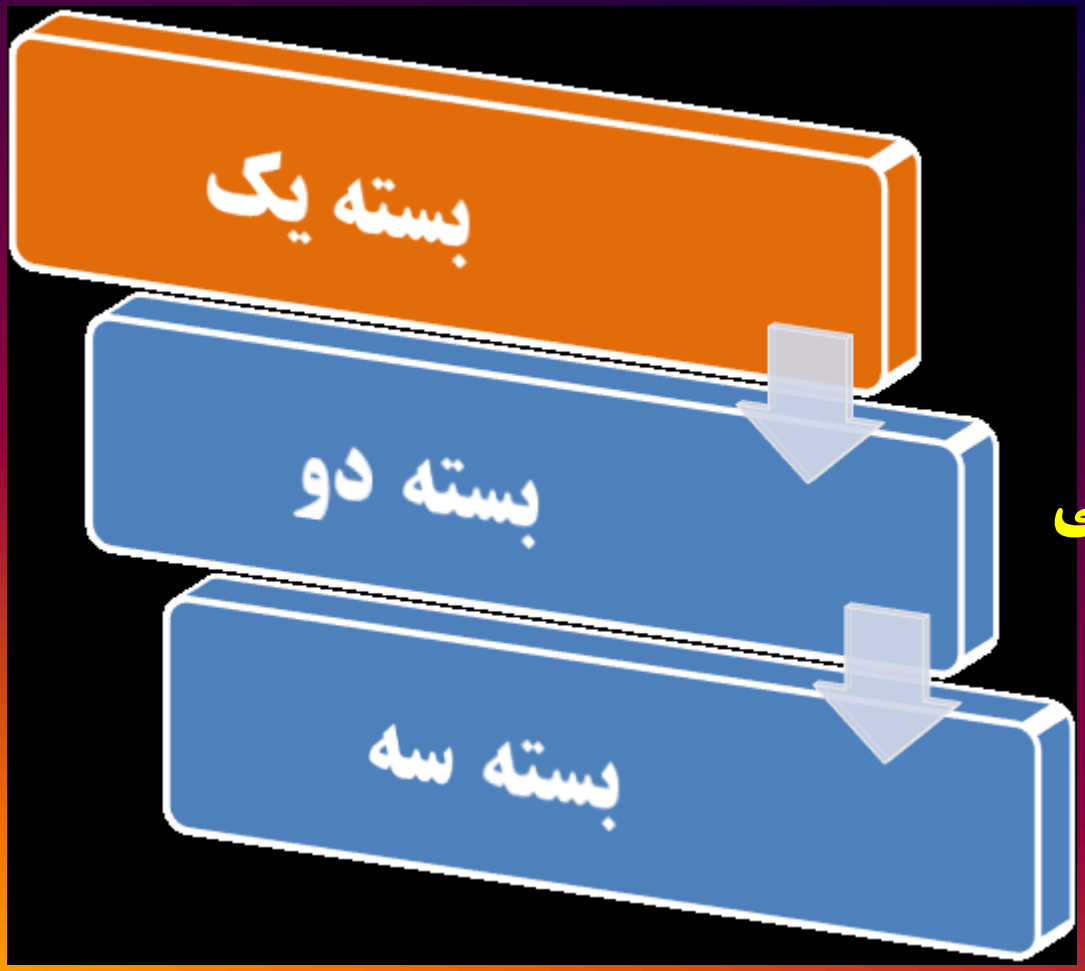


مطالعات پیشنهادی بررسی اثرات اجرای تونل بازی دراز بر آبدهی چشمه سراب گرم



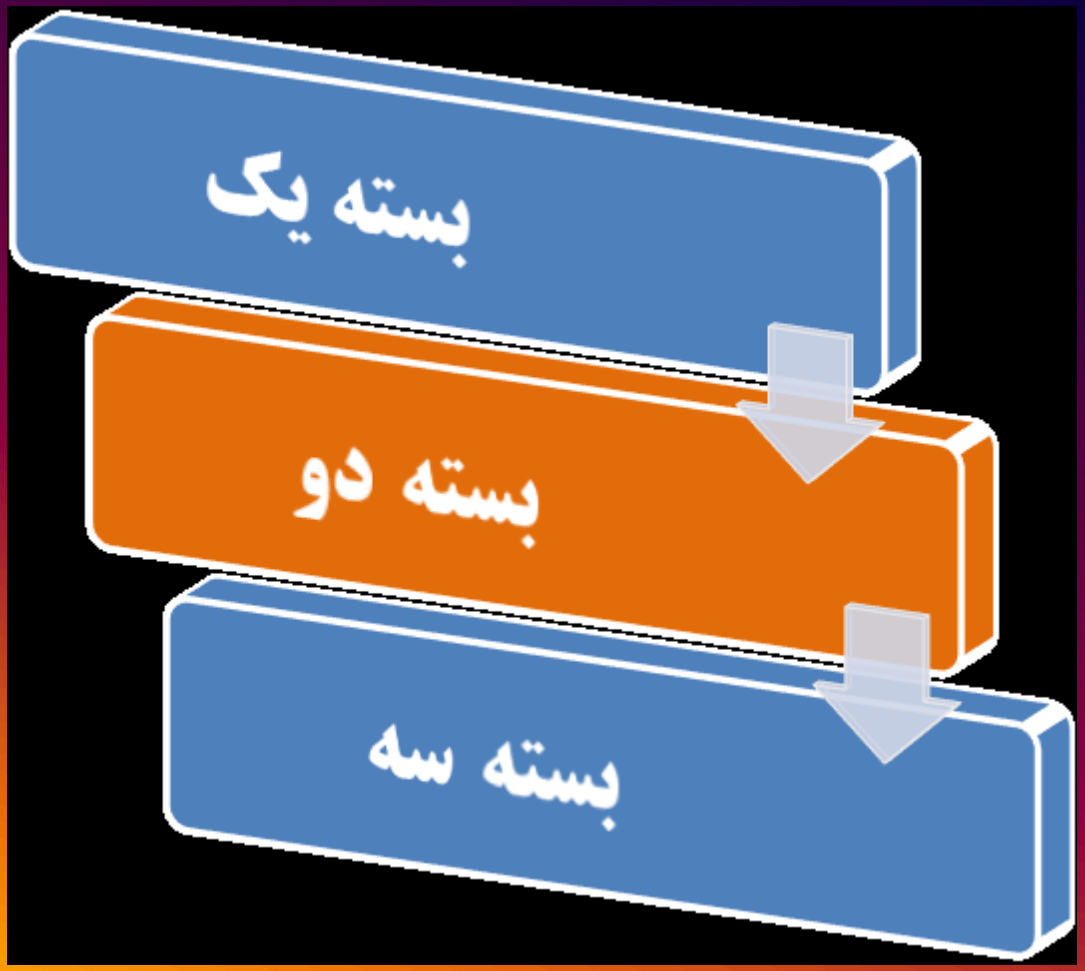
افزایش زمانی – مالی

مطالعات پیشنهادی بررسی اثرات اجرای تونل بازی دراز بر آبدهی چشمه سراب گرم



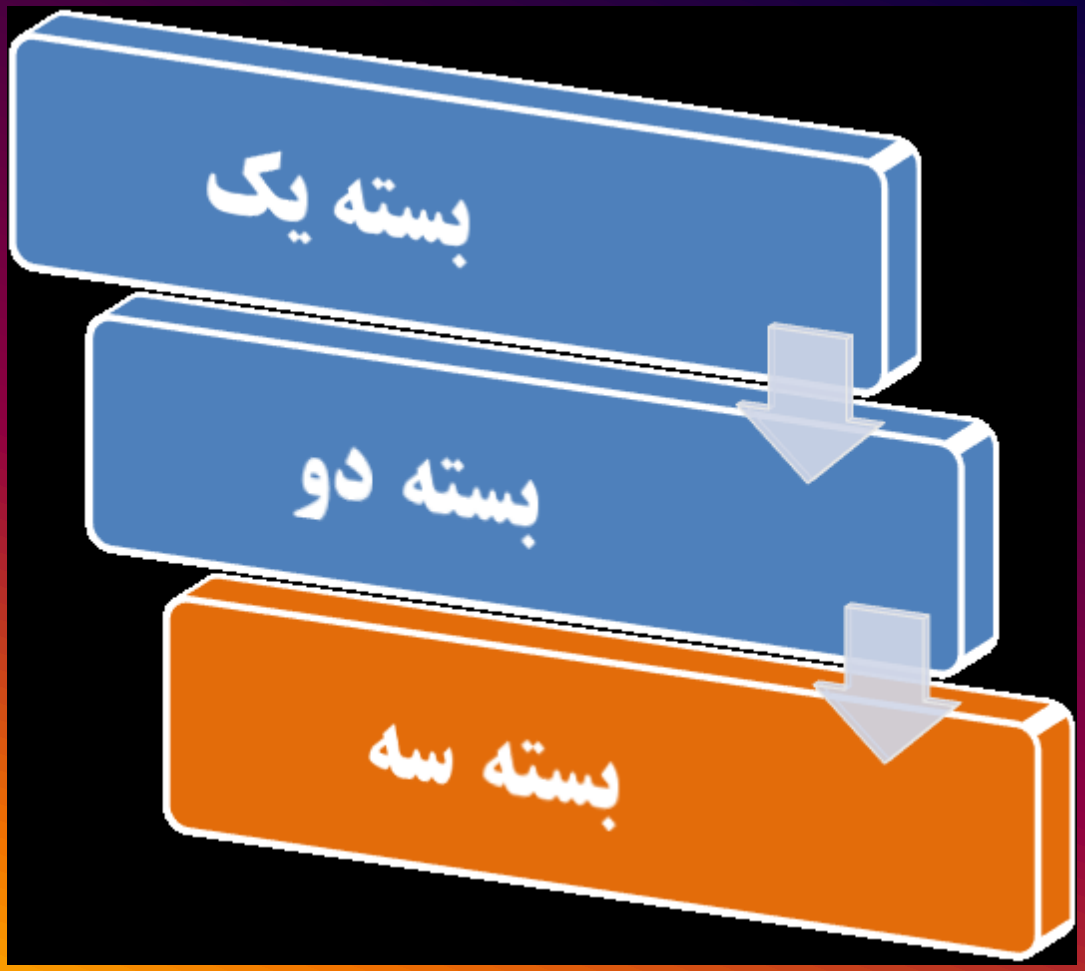
- مطالعات شیمیایی
- مطالعات ایزوتوپی
- ژئوفیزیک
- نقشه زمین شناسی – تکتونیکی – آب زمین شناسی

مطالعات پیشنهادی بررسی اثرات اجرای تونل بازی دراز بر آبدهی چشمه سراب گرم



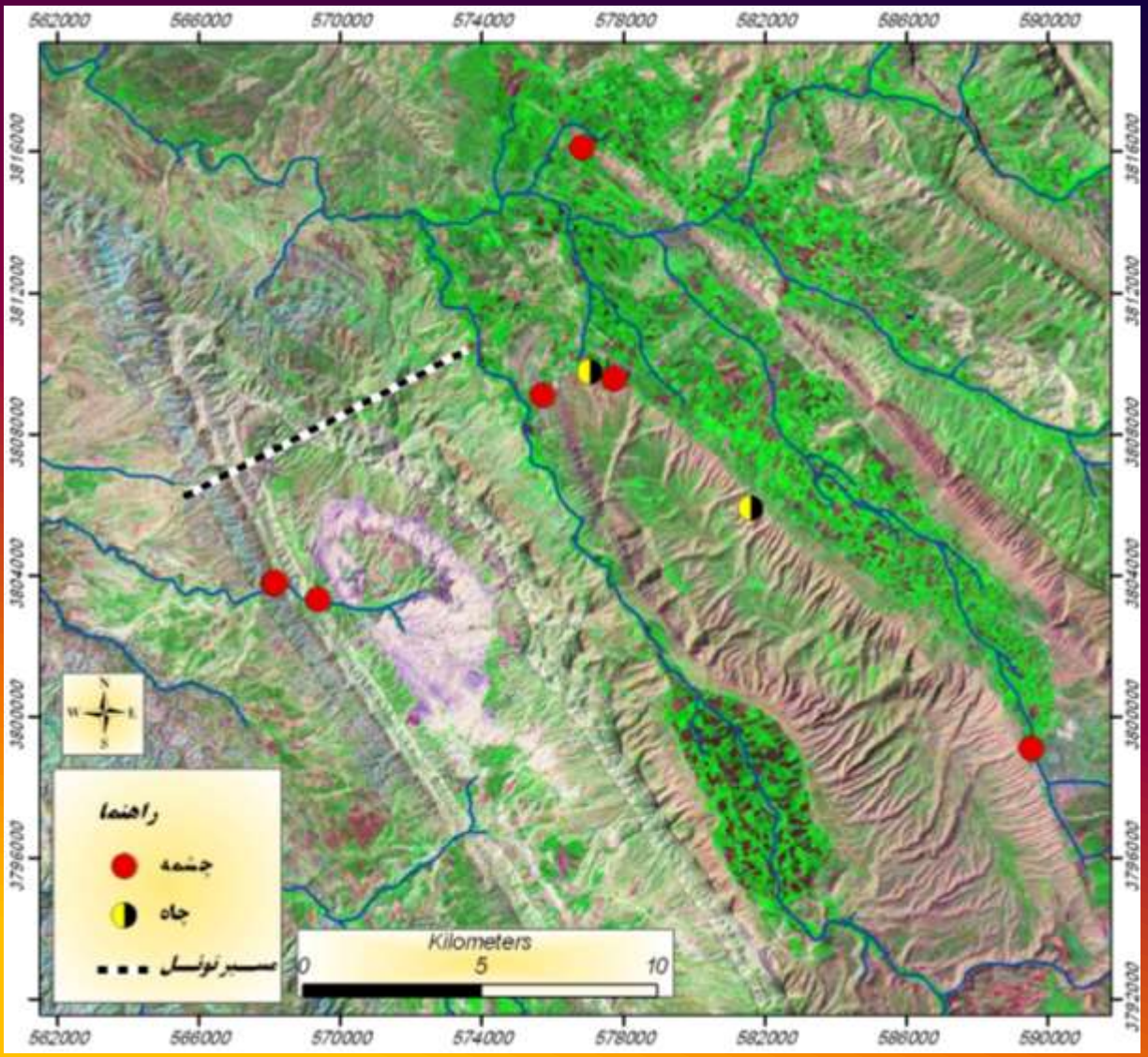
- حفر گمانه ها
- آزمونهای پمپاژ
- ردیابی رنگی

مطالعات پیشنهادی بررسی اثرات اجرای تونل بازی دراز بر آبدهی چشمه سراب گرم

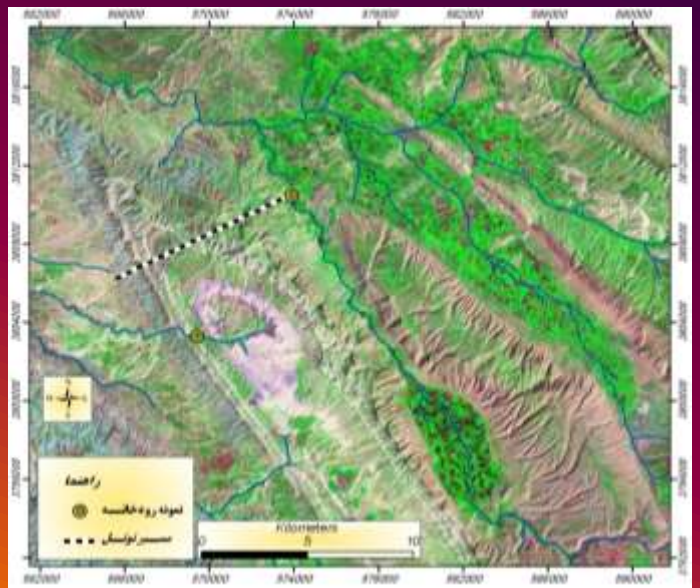


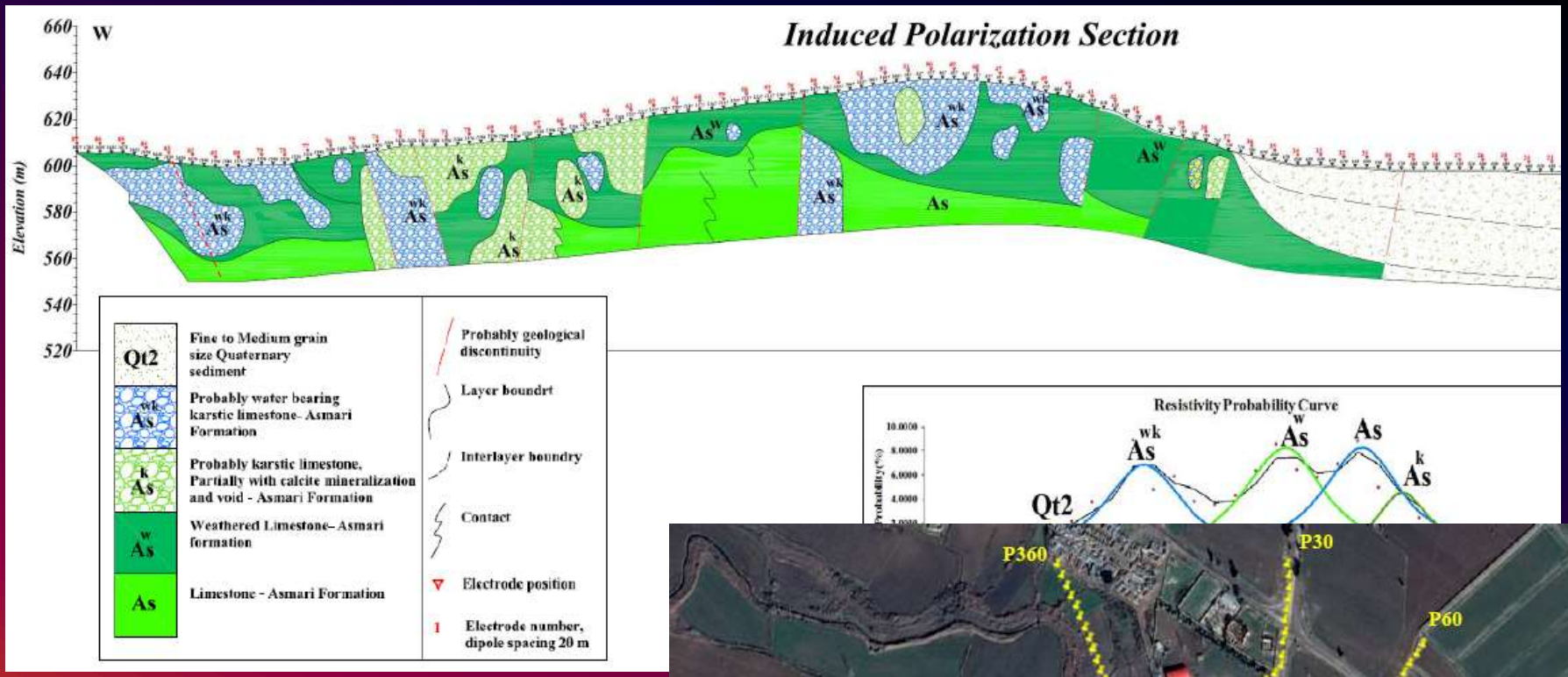
- مدلسازی
- مدیریت دانش

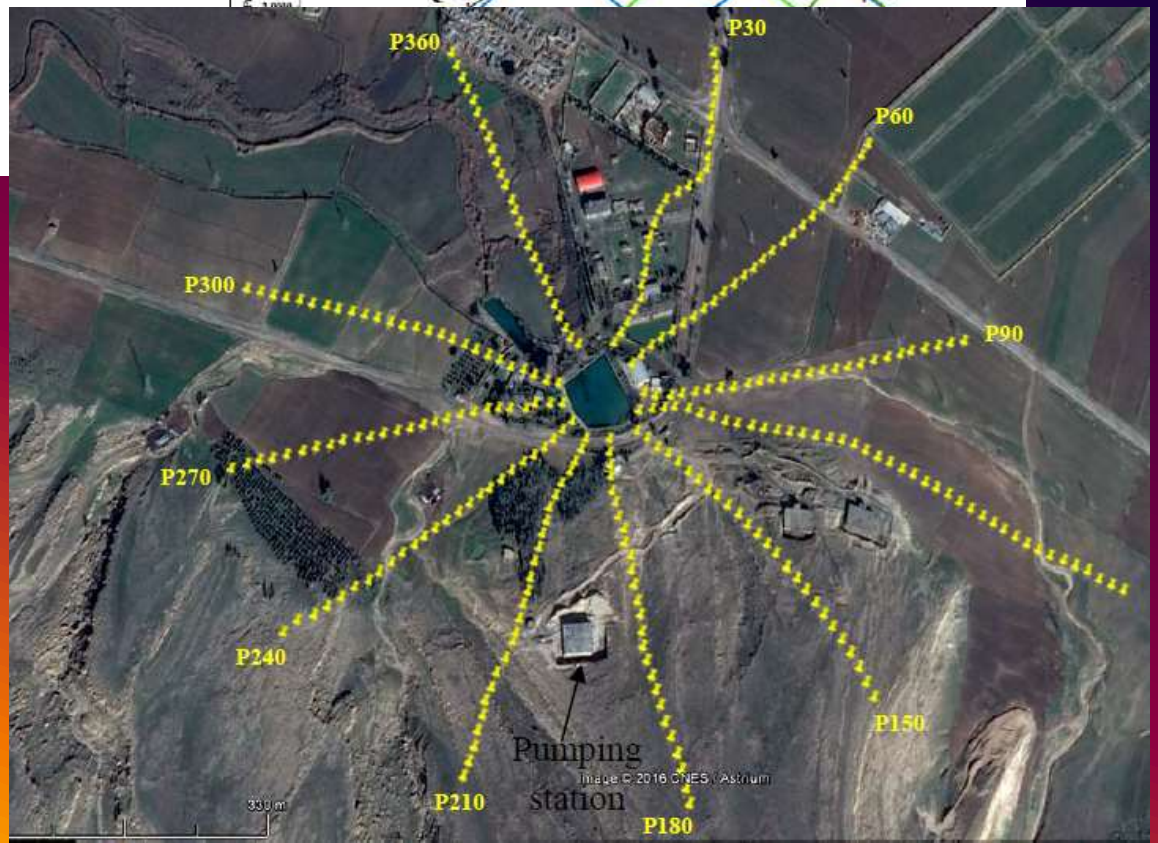
مطالعات پیشنهادی بررسی اجرای تونل بازی دراز بر آبدهی چشمه سراب گرم

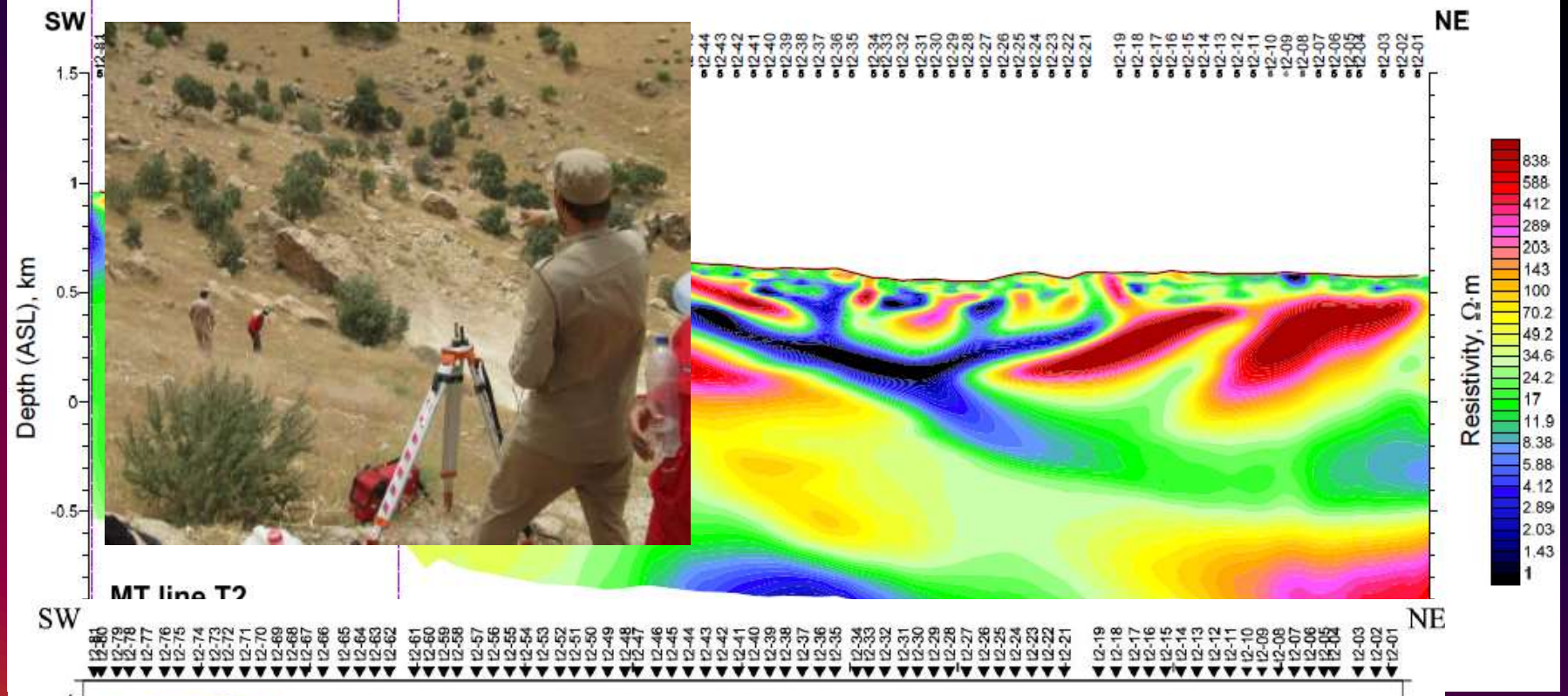


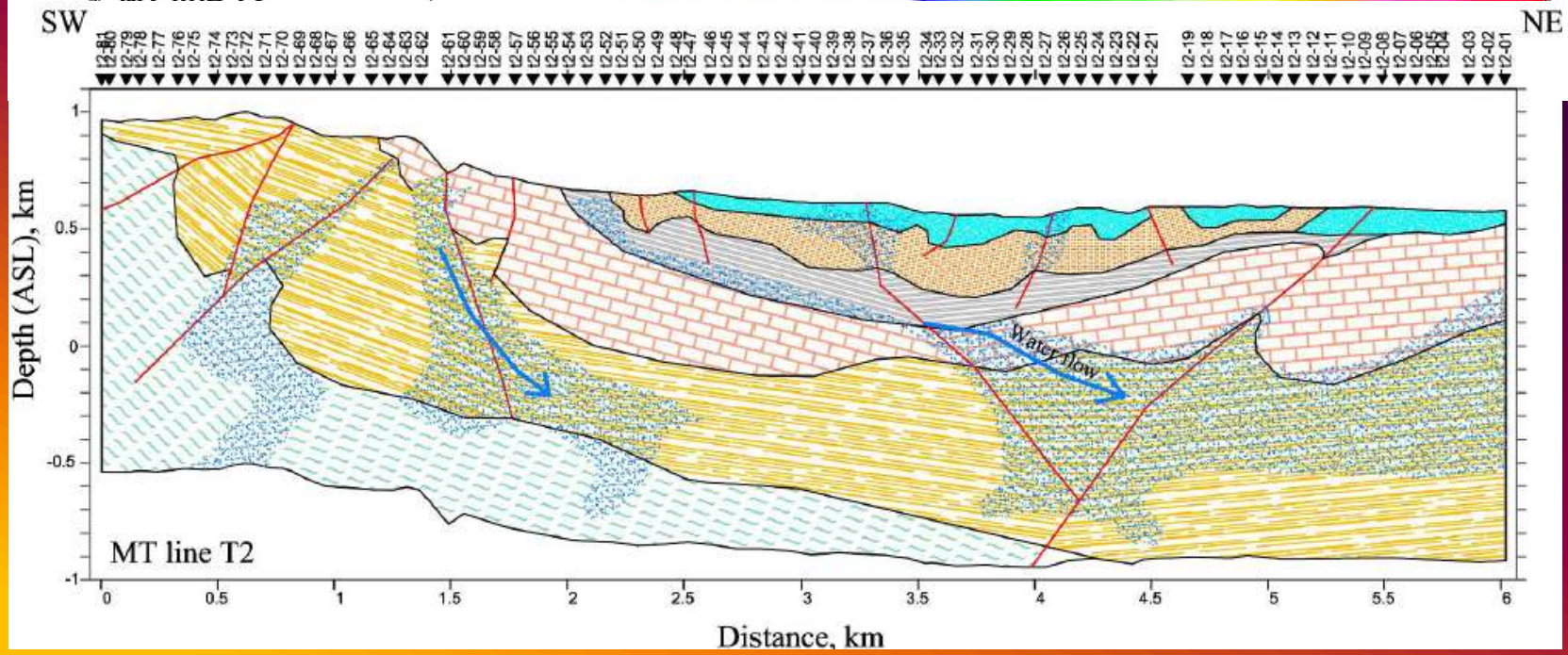
– ایزوتوپ




Induced Polarization Section
W
Elevation (m)
660
640
620
600
580
560
540
520
Qt2
Fine to Medium grain size Quaternary sediment
Probably water bearing karstic limestone- Asmari Formation
Probably karstic limestone, Partially with calcite mineralization and void - Asmari Formation
Weathered Limestone- Asmari formation
Limestone - Asmari Formation
Probably geological discontinuity
Layer boundrt
Interlayer boundry
Contact
Electrode position
Electrode number, dipole spacing 20 m
Resistivity Probability Curve
Qt2


P360
P30
P60
P300
P90
P270
P240
P150
P210
P180
Pumping station
Image © 2016 CNES / Astrium
330 m


SW
NE
Depth (ASL), km
Resistivity, Ω·m
838
588
412
289
203
143
100
70.2
49.2
34.6
24.2
17
11.9
8.38
5.88
4.12
2.89
2.03
1.43
1
MT line T2


SW
NE
Depth (ASL), km
Water flow
MT line T2
Distance, km

- $DHI_o = (41FF \times 22MK \times 17OV \times 20PZ)$ ×(IF+1) ×(SP+1) ×(DT+1)

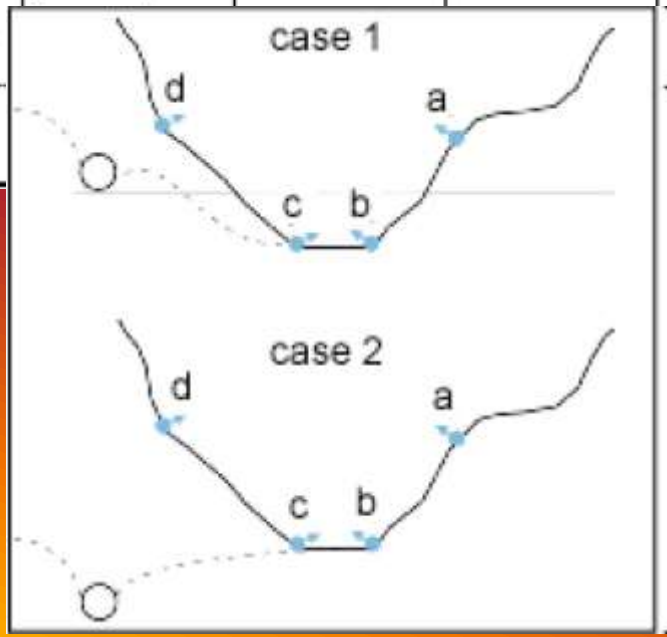
FF	(fracture/m)	0	5	10	15	20
	Index	0	0.25	0.5	0.75	1
MK	pearm. degree	very low	low	medium	high	
	Index	0	0.33	0.66	1	
OV	thikness(m)	<50	50	100	200	>200
	Index	0.9	0.5	0.25	0.1	
PZ	radius	0	10	20	30	
	Index	0	0.3	0.7	1	
IF		NO	YES			
	Index	0	1			
SP	typs	superficial	intermediate	deep flow system		
	Index	0	0.5	1		
DT	distance(m)	>800	600–800	400–600	200–400	100–200	<200
	Index	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1

FF	(fracture/m)	0	5	10	15	20
	Index	0	0.25	0.5	0.75	1
MK	pearm. degree	very low	low	medium	high	
	Index	0	0.33	0.66	1	
OV	thikness(m)	<50	50	100	200	>200
	Index	0.9	0.5	0.25	0.1	
PZ	radius	0	10	20	30	
	Index	0	0.3	0.7	1	

Key factors	FF	Frequency of fracturation	High	1	Low	0,6	Not	0,1						
	MK	Degree of Permeability	Very high	0,9	High	0,8	From high to medium	0,7	Medium	0,5	From medium to low	0,4	Low	0,2	Very low	0,1
	OV	Overburden	OV < 50m	0,9	50m < OV < 100m	0,5	100m < OV < 500m	0,2	OV > 500m	0,1						
	PZ	Amplitude of the plastic zone	> tunnel diameter	1	< tunnel diameter	0										

IF			NO	YES		
	Index		0	1		
SP	typs	superficial	intermediate	deep flow system		
	Index	0	0.5	1		
DT	distance(m)	>800	600–800	400–600	200–400	100–200	<200
	Index	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1

	PARAMETER		Condition	value	Condition	value	Condition	value	Condition	value	Condition	value	Condition	value
Basic variables	DT	Distance from the tunnel	DT < 200m	1,9	200m < DT < 500m	1,5	500m< DT<1000 m	1,2	1000m< DT<5000 m	1,1	DT > 5000m	0		
	IF	Intersection with major faults	YES	2	NOT	1								
	TS	Spring type (From deep or shallow fluid system)	Deep	2										
	ET	Topographic effect	see table below											



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

- $PI = \frac{(44 \times FF + 22 \times MK + 17 \times OV + 20 \times PZ)}{100}$

- $DHI_{max} = IF_{max} \times ST_{max} \times DT_{max} \times ET_{max} \times 100$

- $DHI = \frac{PI \times IF \times ST \times DT \times ET \times 100}{DHI_{max}}$

بازه	تغییر آبدهی
$DHI<0.2$	احتمال کاهش آبدهی بسیار اندک
$0.2<DHI<0.6$	کاهش بخشی از آبدهی
$0.6<DHI<0.7$	کاهش قابل توجه آبدهی
$DHI>0.7$	کاهش قابل توجه آبدهی و خشک شدگی کامل

DHIndex	Class	Probability
0<DHI≤0,1	1	NEGLIGIBLE
0,1<DHI≤0,2	2	LOW
0,2<DHI≤0,3	3	MEDIUM
DHI>0,3	4	HIGH

- خصوصیات درزه ها
- سطح اساس فرسایش و جهت جریان
- لایه بندی
- گسلها

		PARAMETER	Condition	value	Condition	value	Condition	value	Condition	value	Condition	value	Condition	value
Basic variables	DT	Distance from the tunnel	DT < 200m	1,9	200m < DT < 500m	1,5	500m< DT<1000 m	1,2	1000m< DT<5000 m	1,1	DT > 5000m	0		
	IF	Intersection with major faults	YES	2	NOT	1								
	TS	Spring type (From deep or shallow fluid system)	Deep	2	Deep and shallow	1,5	Shallow	1						
	ET	Topographic effect	see table below											
Key factors	FF	Frequency of fracturation	High	1	Low	0,6	Not	0,1						
	MK	Degree of Permeability	Very high	0,9	High	0,8	From high to medium	0,7	Medium	0,5	From medium to low	0,4	Low	0,2	Very low	0,1
	OV	Overburden	OV < 50m	0,9	50m < OV < 100m	0,5	100m < OV < 500m	0,2	OV > 500m	0,1				
	PZ	Amplitude of the plastic zone	> tunnel diameter	1	< tunnel diameter	0								

Probabilistic Analysis of Water Inflow into Tunnel

Ashkan Lotfipoor

January 25, 2016

Outline

- Introduction
- Probabilistic analysis
- Monte Carlo Simulation
- VBA Programing Language
- Introducing the New Program
- Conclusion

Introduction

- Different methods of water inflow assessment
  - Analytical methods
  - Empirical methods
  - Numerical methods

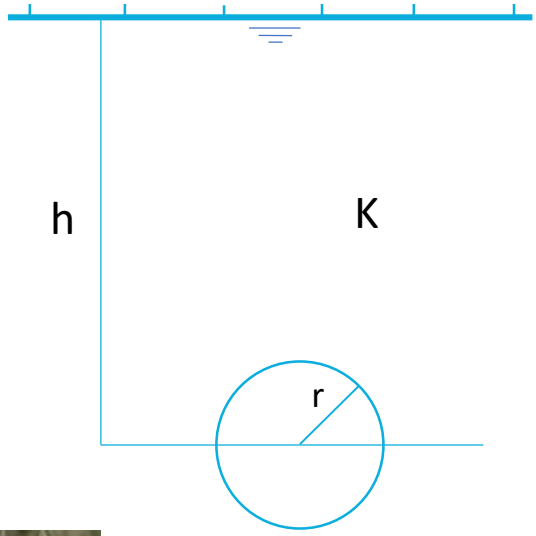
- Analytical methods
  - Muskat (1937), Goodman et al. (1965)
  - Freeze & Cherry (1979)
  - El Tani (1999)
  - Lee (1999)
  - Karlsrud (2001)
  - F. G. Bell
  - Lombardi (2002)

- Empirical methods
  - Heuer (1995)

- Numerical methods
  - Seep/w
  - FEFLOW
  - NAPSAC
  - UDEC
  - Flac2D
  - Flac3D
  - GMS

Introduction

- In assessment of water inflow:
  - Permeability
  - Water head
  - Tunnel Radius



Probabilistic analysis

- Variability/Uncertainty in the data
  - Natural variability
  - Changes over time
  - Uncertainty of rock mass properties
  - Uncertainty in measuring their values

- Using probabilistic analysis
  - Expressed as a probability distribution, rather than a single value.

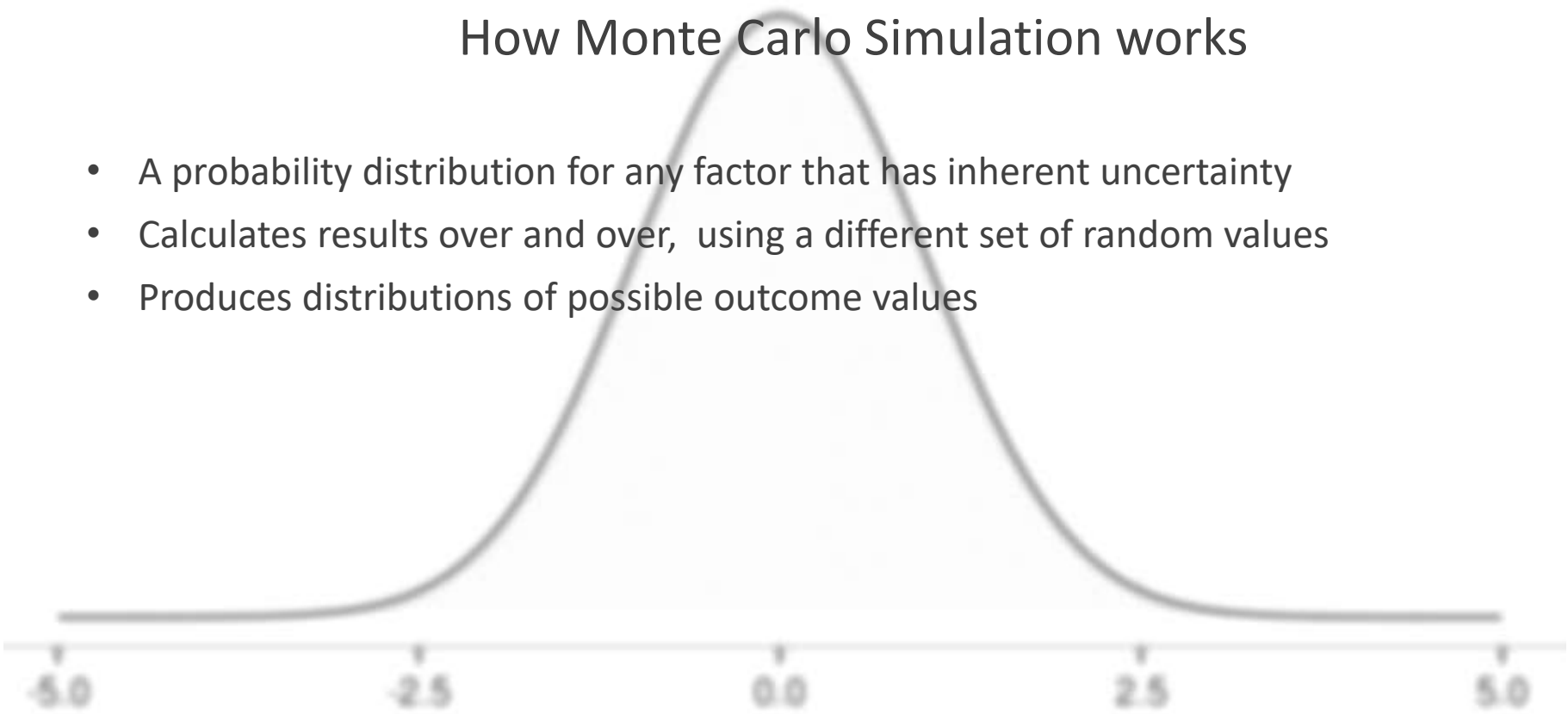
For probabilistic analysis we recommend Monte Carlo method

Monte Carlo Simulation

Monte Carlo Simulation is a computational algorithm that rely on repeated random sampling to obtain numerical results.

How Monte Carlo Simulation works

- A probability distribution for any factor that has inherent uncertainty
- Calculates results over and over, using a different set of random values
- Produces distributions of possible outcome values



VBA Programing Language

VBA stands for **V**isual **B**asic for **A**pplications an object based programming language from Microsoft that is now predominantly used with Microsoft office applications such as MS-Excel, MS-Word and MS-Access.

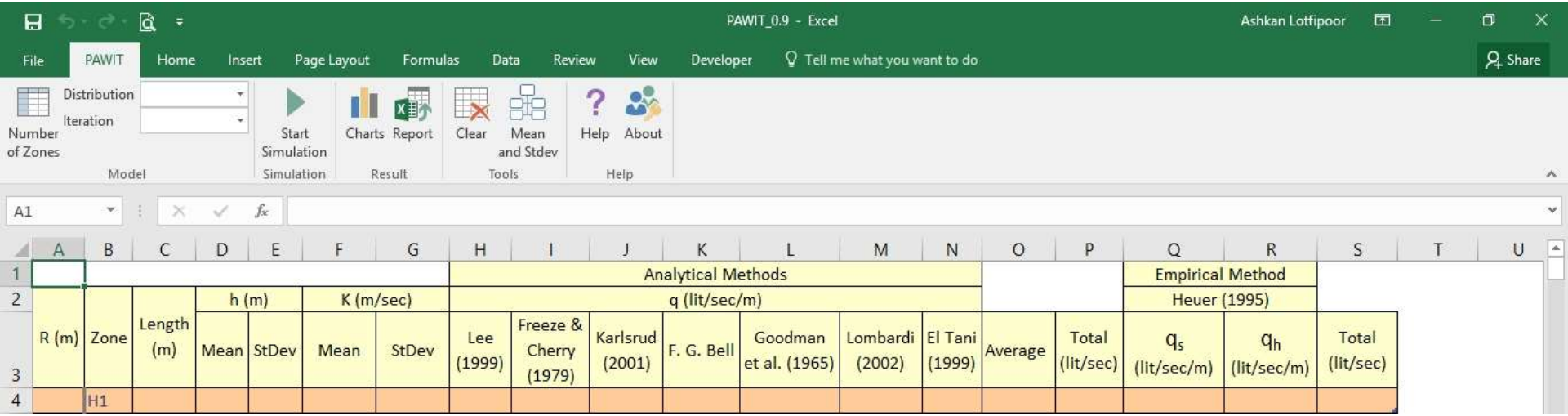
Application of VBA:

- Automating repetitive operations
- Developing new worksheet functions
- Creating complete, macro-driven applications

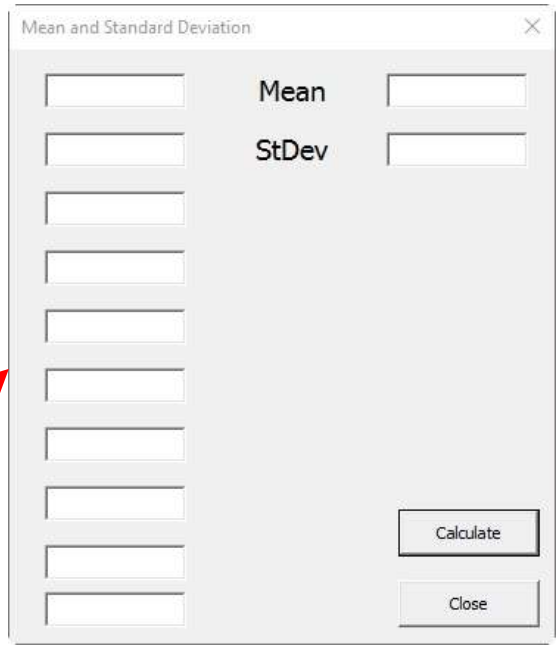
Introducing the New Program

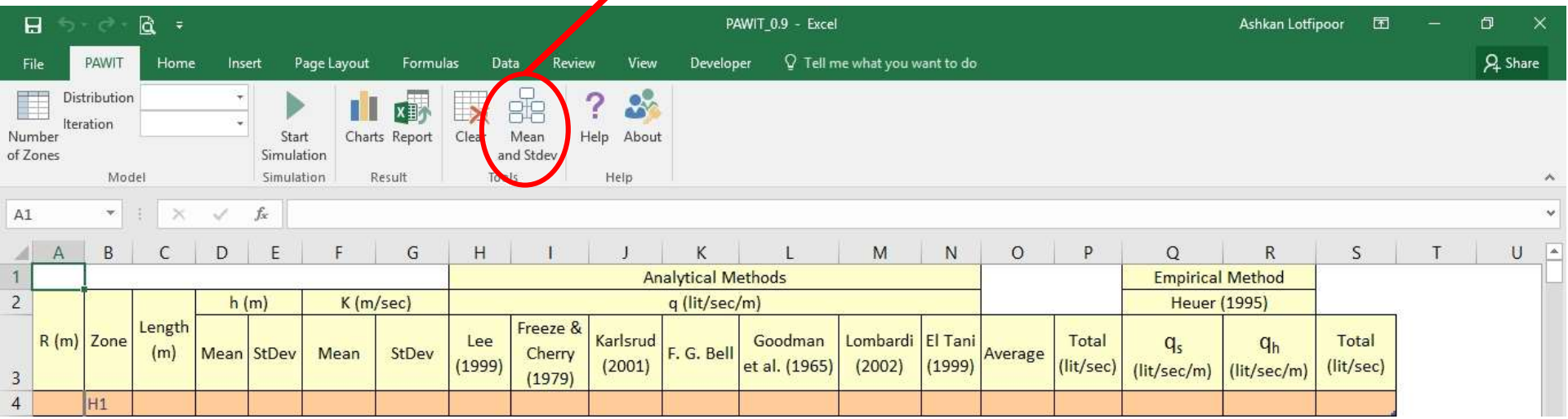
Probabilistic Analysis of Water Inflow into Tunnels

2016 - 2017

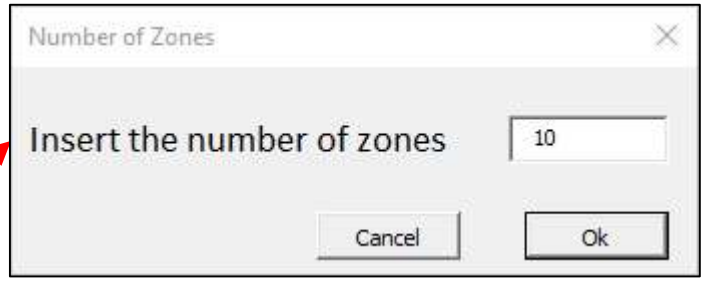


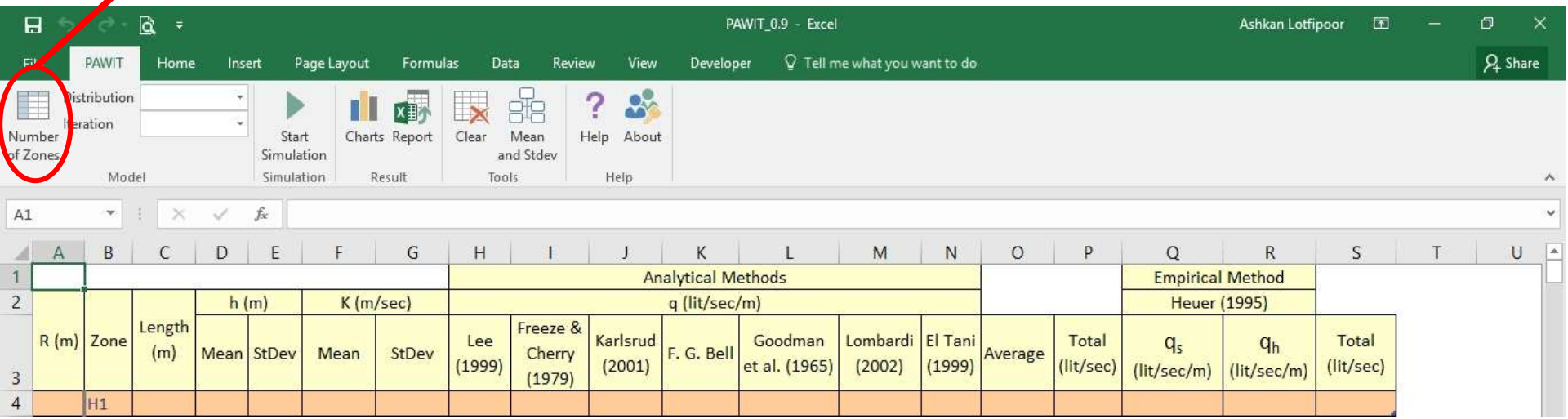
Introducing the New Program



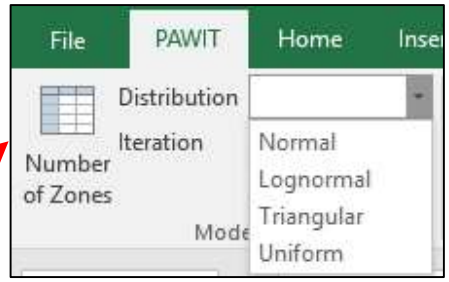


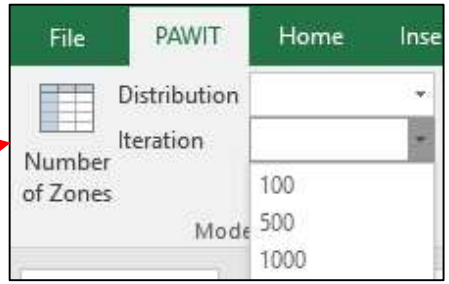
Introducing the New Program

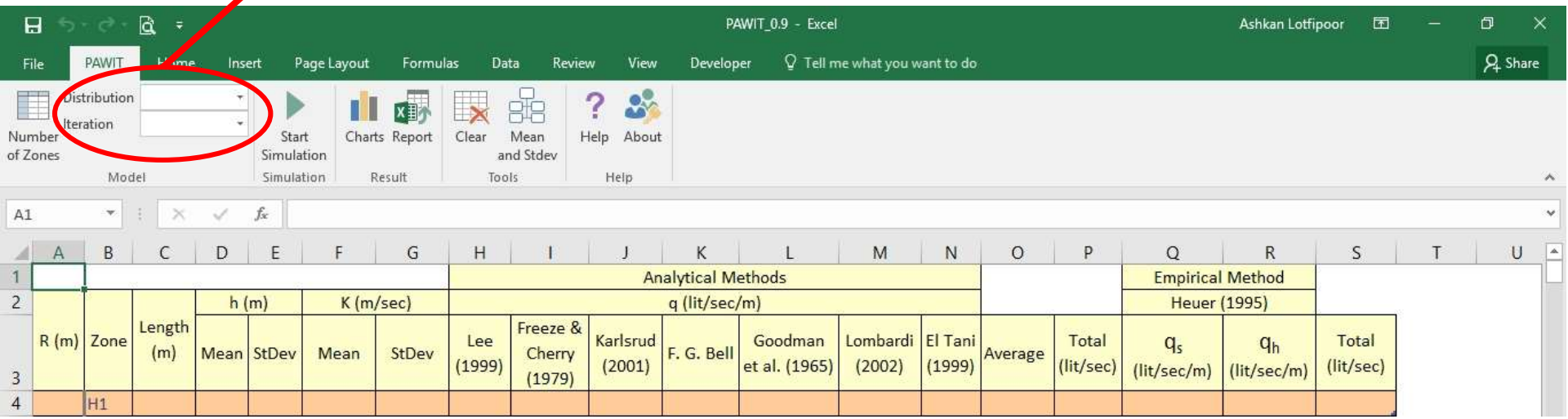




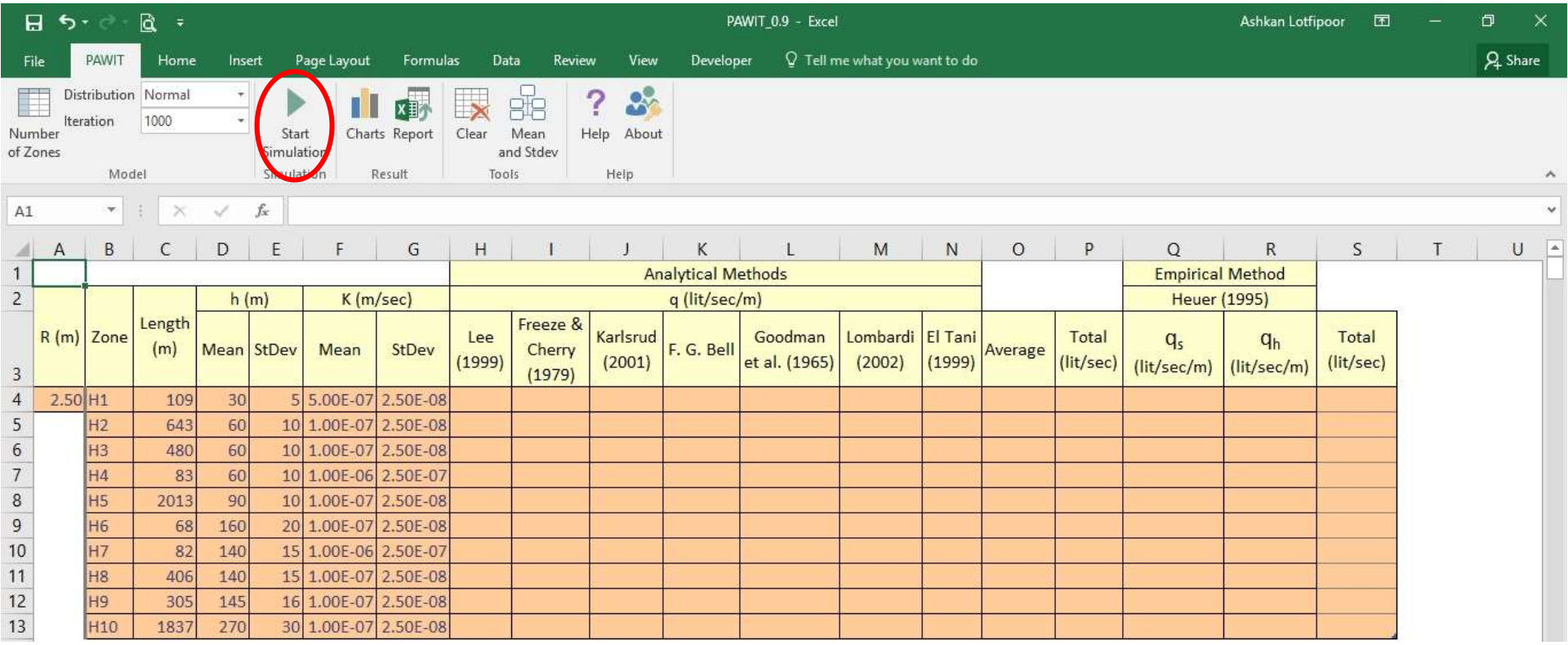
Introducing the New Program





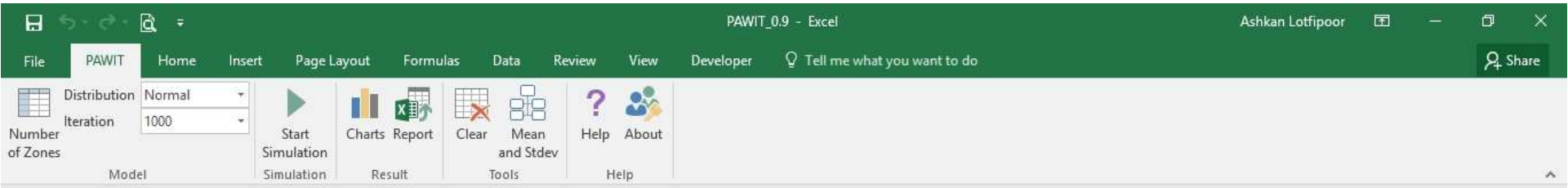


Introducing the New Program



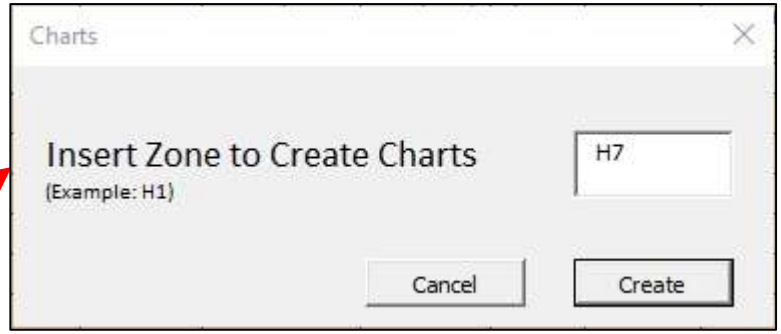
							Analytical Methods									Empirical Method				
			h (m)		K (m/sec)		q (lit/sec/m)									Heuer (1995)				
R (m)	Zone	Length (m)	Mean	StDev	Mean	StDev	Lee (1999)	Freeze & Cherry (1979)	Karlsrud (2001)	F. G. Bell	Goodman et al. (1965)	Lombardi (2002)	El Tani (1999)	Average	Total (lit/sec)	q_s (lit/sec/m)	q_h (lit/sec/m)	Total (lit/sec)		
2.50	H1	109	30	5	5.00E-07	2.50E-08														
	H2	643	60	10	1.00E-07	2.50E-08														
	H3	480	60	10	1.00E-07	2.50E-08														
	H4	83	60	10	1.00E-06	2.50E-07														
	H5	2013	90	10	1.00E-07	2.50E-08														
	H6	68	160	20	1.00E-07	2.50E-08														
	H7	82	140	15	1.00E-06	2.50E-07														
	H8	406	140	15	1.00E-07	2.50E-08														
	H9	305	145	16	1.00E-07	2.50E-08														
	H10	1837	270	30	1.00E-07	2.50E-08														

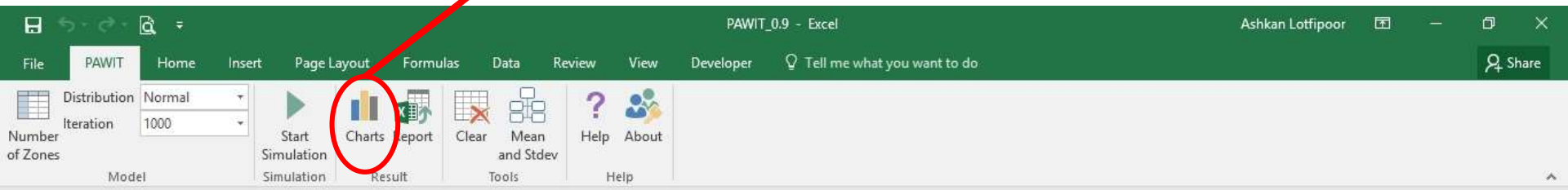
Introducing the New Program



							Analytical Methods									Empirical Method		
			h (m)		K (m/sec)		q (lit/sec/m)									Heuer (1995)		
R (m)	Zone	Length (m)	Mean	StDev	Mean	StDev	Lee (1999)	Freeze & Cherry (1979)	Karlsrud (2001)	F. G. Bell	Goodman et al. (1965)	Lombardi (2002)	El Tani (1999)	Average	Total (lit/sec)	q_s (lit/sec/m)	q_h (lit/sec/m)	Total (lit/sec)
2.50	H1	109	30	5	5.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.032	0.030	0.030	0.031	0.031	0.030	3.249	0.0024	0.0024	0.263275
	H2	643	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	5.989	0.0009	0.0009	0.560389
	H3	480	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	4.632	0.0010	0.0010	0.491761
	H4	83	60	10	1.00E-06	2.50E-07	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	8.039	0.0103	0.0103	0.857258
	H5	2013	90	10	1.00E-07	2.50E-08	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	24.492	0.0016	0.0016	3.2087
	H6	68	160	20	1.00E-07	2.50E-08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	1.541	0.0023	0.0023	0.153642
	H7	82	140	15	1.00E-06	2.50E-07	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	14.776	0.0246	0.0246	2.014706
	H8	406	140	15	1.00E-07	2.50E-08	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	6.945	0.0021	0.0021	0.839794
	H9	305	145	16	1.00E-07	2.50E-08	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	5.659	0.0022	0.0022	0.684605
	H10	1837	270	30	1.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	54.360	0.0044	0.0044	8.04232

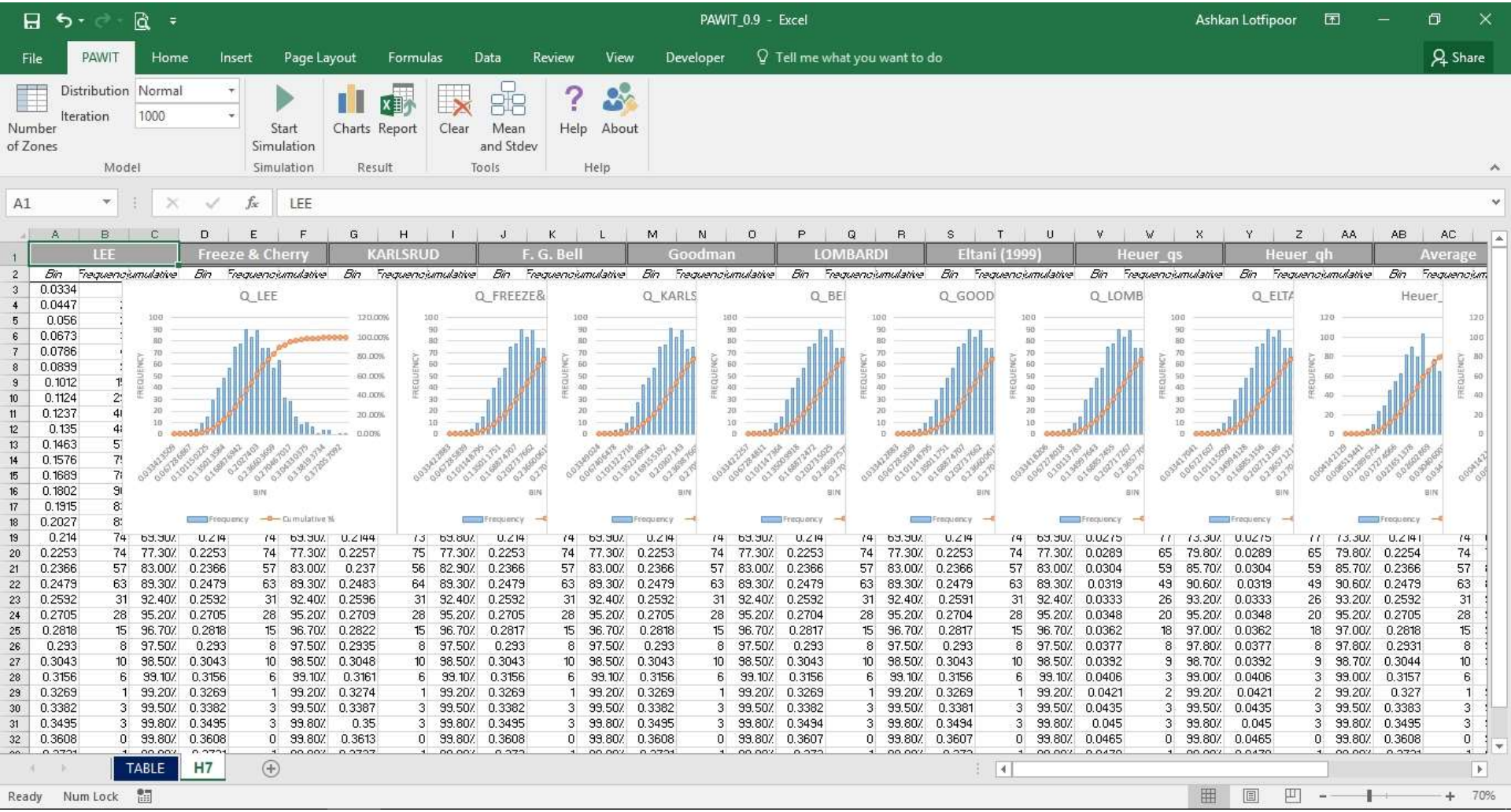
Introducing the New Program



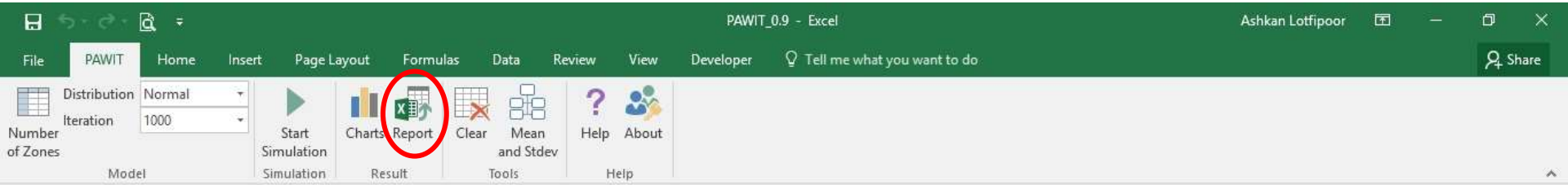


							Analytical Methods									Empirical Method		
			h (m)		K (m/sec)		q (lit/sec/m)									Heuer (1995)		
R (m)	Zone	Length (m)	Mean	StDev	Mean	StDev	Lee (1999)	Freeze & Cherry (1979)	Karlsrud (2001)	F. G. Bell	Goodman et al. (1965)	Lombardi (2002)	El Tani (1999)	Average	Total (lit/sec)	q_s (lit/sec/m)	q_h (lit/sec/m)	Total (lit/sec)
2.50	H1	109	30	5	5.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.032	0.030	0.030	0.031	0.031	0.030	3.249	0.0024	0.0024	0.263275
	H2	643	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	5.989	0.0009	0.0009	0.560389
	H3	480	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	4.632	0.0010	0.0010	0.491761
	H4	83	60	10	1.00E-06	2.50E-07	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	8.039	0.0103	0.0103	0.857258
	H5	2013	90	10	1.00E-07	2.50E-08	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	24.492	0.0016	0.0016	3.2087
	H6	68	160	20	1.00E-07	2.50E-08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	1.541	0.0023	0.0023	0.153642
	H7	82	140	15	1.00E-06	2.50E-07	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	14.776	0.0246	0.0246	2.014706
	H8	406	140	15	1.00E-07	2.50E-08	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	6.945	0.0021	0.0021	0.839794
	H9	305	145	16	1.00E-07	2.50E-08	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	5.659	0.0022	0.0022	0.684605
	H10	1837	270	30	1.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	54.360	0.0044	0.0044	8.04232

Introducing the New Program

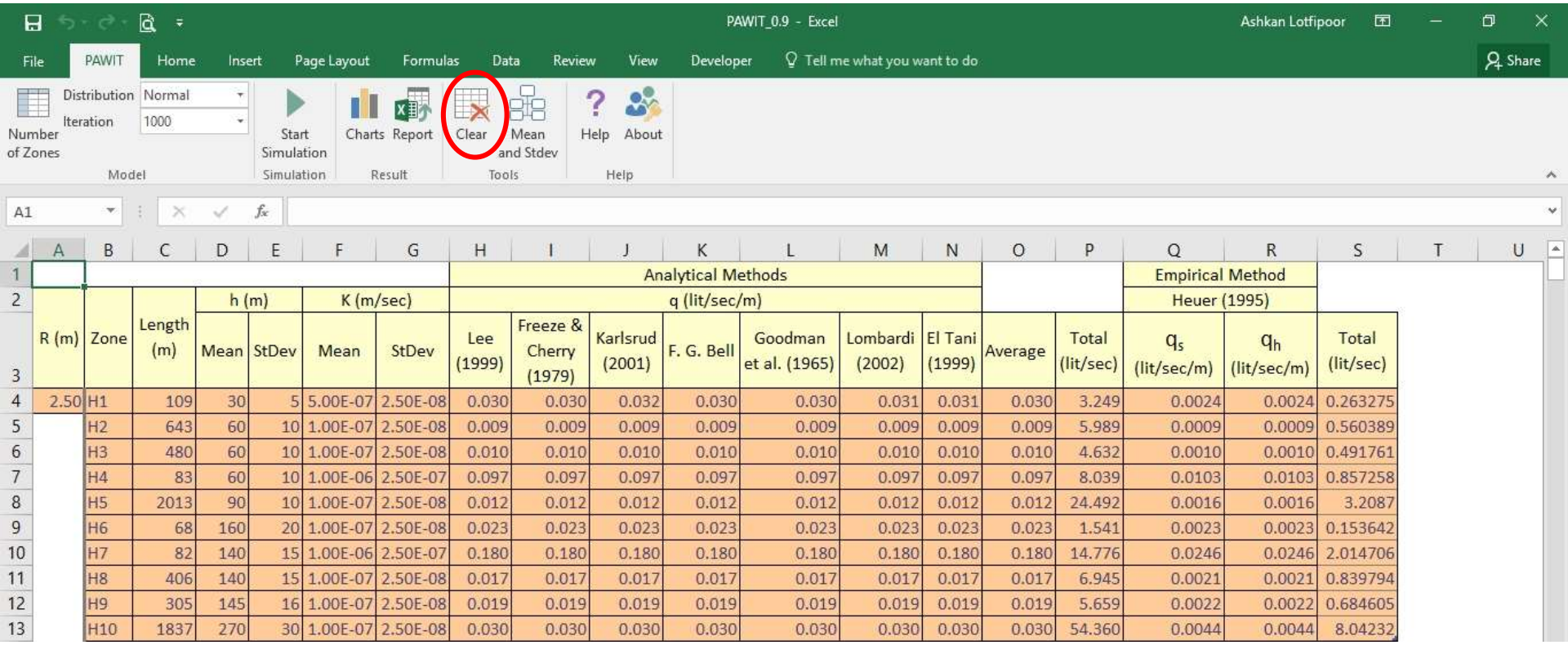


Introducing the New Program



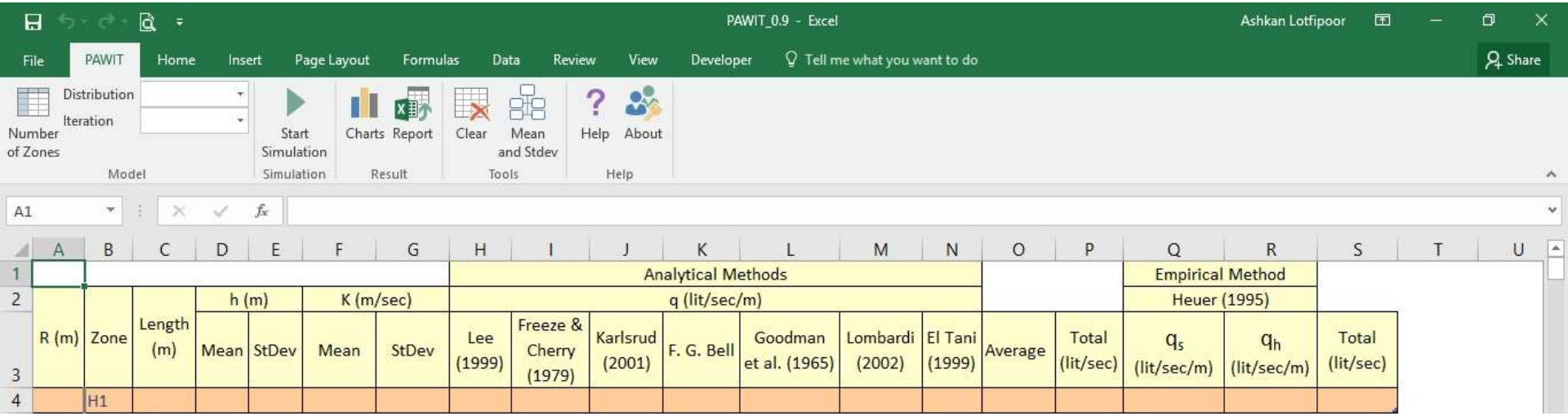
							Analytical Methods									Empirical Method				
			h (m)		K (m/sec)		q (lit/sec/m)									Heuer (1995)				
R (m)	Zone	Length (m)	Mean	StDev	Mean	StDev	Lee (1999)	Freeze & Cherry (1979)	Karlsrud (2001)	F. G. Bell	Goodman et al. (1965)	Lombardi (2002)	El Tani (1999)	Average	Total (lit/sec)	q_s (lit/sec/m)	q_h (lit/sec/m)	Total (lit/sec)		
2.50	H1	109	30	5	5.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.032	0.030	0.030	0.031	0.031	0.030	3.249	0.0024	0.0024	0.263275		
	H2	643	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	5.989	0.0009	0.0009	0.560389		
	H3	480	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	4.632	0.0010	0.0010	0.491761		
	H4	83	60	10	1.00E-06	2.50E-07	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	8.039	0.0103	0.0103	0.857258		
	H5	2013	90	10	1.00E-07	2.50E-08	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	24.492	0.0016	0.0016	3.2087		
	H6	68	160	20	1.00E-07	2.50E-08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	1.541	0.0023	0.0023	0.153642		
	H7	82	140	15	1.00E-06	2.50E-07	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	14.776	0.0246	0.0246	2.014706		
	H8	406	140	15	1.00E-07	2.50E-08	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	6.945	0.0021	0.0021	0.839794		
	H9	305	145	16	1.00E-07	2.50E-08	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	5.659	0.0022	0.0022	0.684605		
	H10	1837	270	30	1.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	54.360	0.0044	0.0044	8.04232		

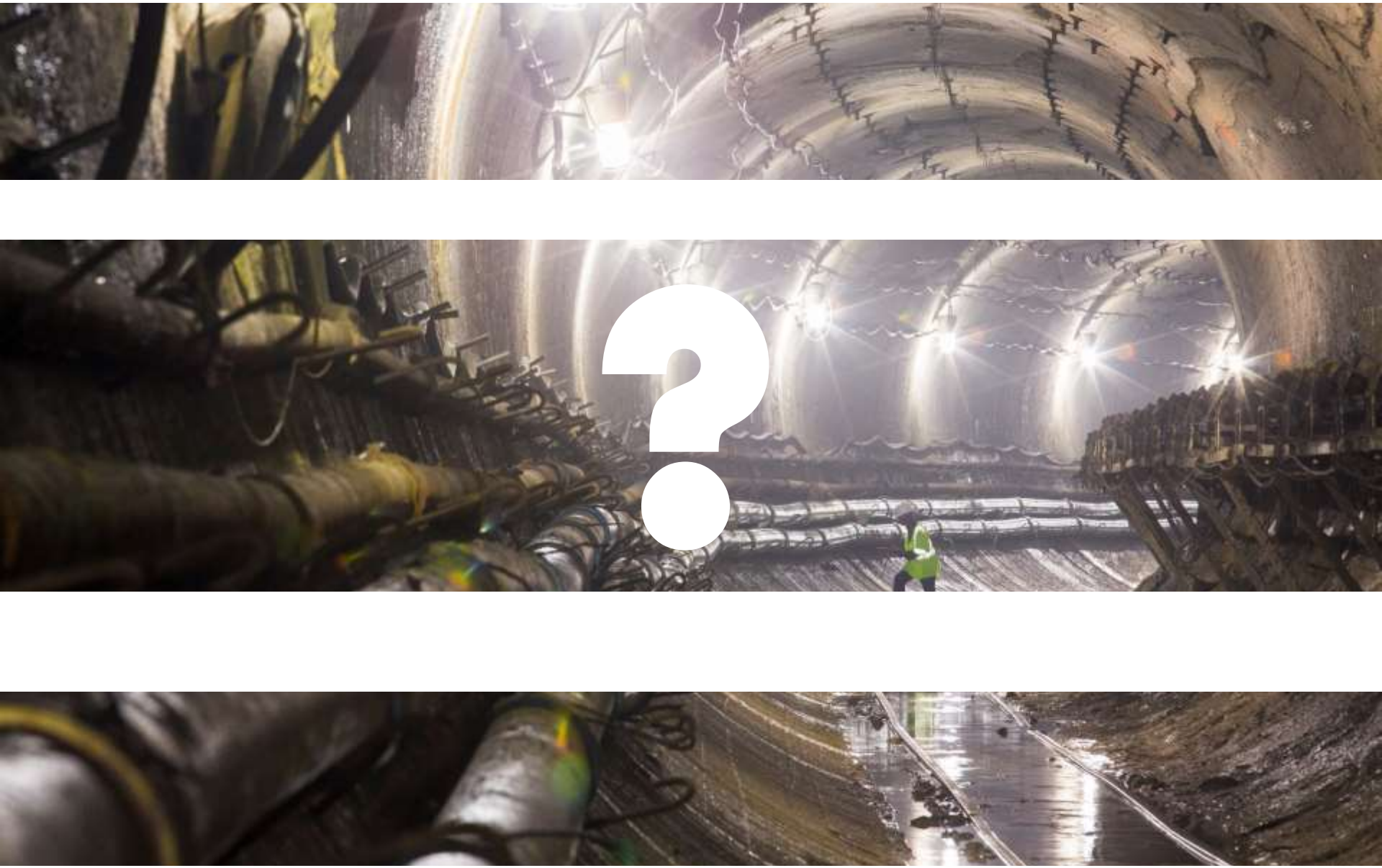
Introducing the New Program



R (m)	Zone	Length (m)	h (m) Mean	h (m) StDev	K (m/sec) Mean	K (m/sec) StDev	Analytical Methods q (lit/sec/m) Lee (1999)	Freeze & Cherry (1979)	Karlsrud (2001)	F. G. Bell	Goodman et al. (1965)	Lombardi (2002)	El Tani (1999)	Average	Total (lit/sec)	Empirical Method Heuer (1995) q_s (lit/sec/m)	q_h (lit/sec/m)	Total (lit/sec)
2.50	H1	109	30	5	5.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.032	0.030	0.030	0.031	0.031	0.030	3.249	0.0024	0.0024	0.263275
	H2	643	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	5.989	0.0009	0.0009	0.560389
	H3	480	60	10	1.00E-07	2.50E-08	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	4.632	0.0010	0.0010	0.491761
	H4	83	60	10	1.00E-06	2.50E-07	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	8.039	0.0103	0.0103	0.857258
	H5	2013	90	10	1.00E-07	2.50E-08	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	24.492	0.0016	0.0016	3.2087
	H6	68	160	20	1.00E-07	2.50E-08	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	1.541	0.0023	0.0023	0.153642
	H7	82	140	15	1.00E-06	2.50E-07	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	0.180	14.776	0.0246	0.0246	2.014706
	H8	406	140	15	1.00E-07	2.50E-08	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	6.945	0.0021	0.0021	0.839794
	H9	305	145	16	1.00E-07	2.50E-08	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	5.659	0.0022	0.0022	0.684605
	H10	1837	270	30	1.00E-07	2.50E-08	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	54.360	0.0044	0.0044	8.04232

Introducing the New Program



Conclusion

- Variability/Uncertainty in the data
- Probabilistic methods
- Using VBA language for probabilistic analysis of water inflow into tunnels
- New method for estimating water inflow