

ЗАПИСНИЦИ СРПСКОГ ГЕОЛОШКОГ ДРУШТВА
за 2013. годину

COMPTES RENDUS
DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ SERBE DE GÉOLOGIE
pour les années 2013

REPORTS
OF THE SERBIAN GEOLOGICAL SOCIETY
for the year 2013

Beograd, 2014.

Зоран Стевановић¹
Zoran Stevanović¹

ПОПУЛАРНА ХИДРОГЕОЛОГИЈА: КАРБОНАТНИ И ЕВАПОРИТСКИ КАРСТ
ЦЕНТРАЛНОГ И ЈУЖНОГ ИРАНА

POPULAR HYDROGEOLOGY: CARBONATE AND EVAPORITIC KARST OF
CENTRAL AND SOUTHERN IRAN

(ЗБОР - SESSION 06.12.2013)

ПРЕТХОДНО САОПШТЕЊЕ, СТРУЧНИ РАД - RAPPORT - REPORT

Абстракт: Рад приказује основне карактеристике терена централног и јужног Ирана у ширем простору области Шираз, Исхафан и Казерун у којој је аутор имао прилике да борави и обави теренске екскурзије током 2013. Између издужених планинских венаца које изграђују карстификоване карбонатне или евапоритске стенске масе пружају се широке долине испуњене млађим, углавном миоценским водонепропусним седиментима и које предиспонирају главне правце кретања изданских вода и положај дренажних зона. Област обилује разноврсним геолошким и карстним појавама и феноменима, међу њима посебан значај имају соне дијапирске доме Конарсиаха, слани карстни извори и језера, јаки карстни извори као што су Шехпир, Маргун, Сасан, карстна поље (Дашт-Арџан), пећине (Шахпур).

Кључне речи: карст, сони дијапир, извори, Иран

Abstract: The article presents basic characteristics of karstic terrains of central and south Iran in wider area of Shiraz, Ishafan and Kaseroun which author had an opportunity to visit and study during excursion in 2013. Between elongated mountains ranges built from carbonate and evaporitic rocks there are wide valleys filled by younger, mostly Miocene low permeable sediments. The late defines main groundwater pathways and drainage zones. Study area is rich in various and specific geological and karstic features and phenomena. Among them, of particular importance are salty diapir dome of Konarsiagh, salty springs and lakes, large karstic springs Shehpeer, Margoon, Sasan, karstic poljes (e.g. Dasthe-Arjan), caves (e.g. Shahpour).

Key words: karst, salty diapir, springs, Iran

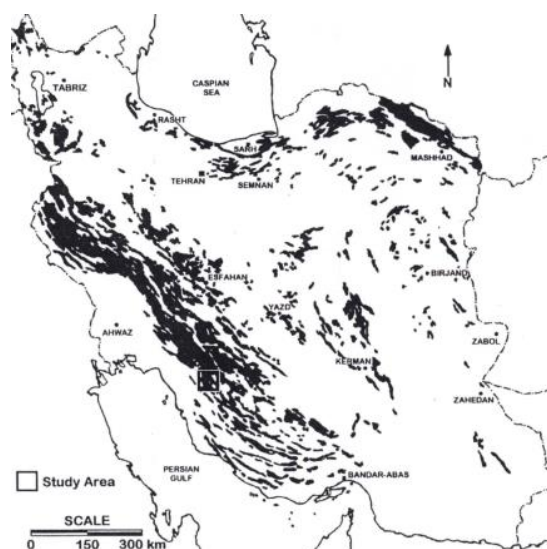
¹ Центар за хидрогеологију карста Департмана за хидрогеологију, Универзитет у Београду-Рударско-Геолошки факултет. Ђушина 7, Београд ; Center for Karst Hydrogeology of the Department of Hydrogeology, University of Belgrade-Faculty of Mining & Geology, Djusina 7, Belgrade, Serbia
контакт e-mail: zstev_2000@yahoo.co.uk

УВОД

Карстни терени захватају око 11 % површине Ирана. Највеће распрострањење имају у јужном и централном делу Ирана где је учешће карбонатних и евапоритских стена око 23%. То су претежно аридни, полупустињски терени, са ретким површинским токовима, ретком вегетацијом и доминатном подземном циркулацијом вода које се дренирају преко бројних јаких извора на контакту карста и некарста.

ГЕОЛОШКЕ И ХИДРОГЕОЛОШКЕ ОДЛИКЕ ТЕРЕНА

Планински масив Загроса као јужни продужетак Алпског орогена дугачак је преко 1500 km, започиње у централном делу северног Ирака а завршава у Хормуском теснацу у Персијском заливу. Формиран је колизијом две тектонске плоче, Евроазијске и Арабијске (сл. 1).



Сл. 1. Распрострањење карста у Ирану према RAEISI-ju (2008)
Fig. 1. Karst distribution in Iran after RAISI (2008)

Најстарије формације јужног Ирана су протерозојске старости, то су претежно метаморфити, гвожђевити пешчари, шкриљци и евапорити Хормуз формације. Ове стене су на више локалитета издигнуте или пробијене соним дијапирима. Један од највећих дијапира је Конарсиах у близини широке Фирузабад долине. Конарсиах дијапир (ZAREI & RAEISI, 2010) и Сарвак формација са којом је у контакту дренирају се преко бројних извора. Просечна минерализација „контаминираних“ вода је од 5500 до 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ а удео хлоридних јона је 88%. У екстремним случајевима минерализација достиже и 300 g/l. Насlage соли настале исталожавањем у претходним периодима истицања често се еродују и поново прелазе у раствор током наредних периода великих вода (сл. 2).



Сл. 2. Слани извор у подножју дијапирске боре Конарсиаха
 Fig. 2. Salt spring in the foothill of the salt diapir of Konarsiagh

Највеће дебљине и распрострањење имају карбонатне формације кредне и олиго-миоценске старости. То су формације Сарвак од горњокредних кречњака, и Азмари формација формирана током олигоцена и доњег миоцена. Дебљина прве може достићи до 800 m, док је дебљина Азмари кречњака мања, од свега неколико m. до максимално 500 m. Ове две главне карбонатне формације у којима су формиране богате карстне издани су међу собом одељене непропусним глинцима и лапорцима Пабдех – Гурпи формације која је формирана током највиших одељака горње креде и палеоцена.

У тектонским депресијама Азмари кречњаци су прекривени слабо пропусним или потпуно непропусним седиментима, лапорцима и евапоритима Гашсаран или Разак формација, који навише прелазе у лапорце и глинце Мишан формације горње миоценске старости. Дебљина миоценског комплекса стена може прећи и 800m.

Квартарне алувијалне, терасне и делувијалне наслаге Бахтијари формације могу локално достићи и преко 200m дебљине по ободу Загроског планинског венца у тектонски предиспонираним басенима. Аридни климат јужног Ирана и интензивна евапорација допринели су формирању сланих језера у затвореним потолинама. Једна од највећих је на подручју Ширази у коју воде периодично дотичу али из њих нигде не истичу, већ испаравају у атмосферу (сл. 3) остављајући по ободу басена дебеле наслаге соли.

Сарвак и Азмари кречњаци су јако испуцали, често веома деформисани и убрани што је допринело и њиховој интензивној карстификацији. На подручју Конарсиах дијапира регистровано је преко 2500 вртача. У појединим зонама густина вртача достиже $70/\text{km}^2$ (ZAREI & RAEISI, 2010). На ширем простору има и сувих долина, увала. Једно од већих типичних карстних поља јужног Ирана је *Даит-Арџан*. Налази се око 50 km јужно од Ширази, а површина му је око 8 km^2 . По дну поља формирану су бројни алувијални понори. Извршени опити трасирања указују на брзину изданског тока од око 80 m/h.



Сл. 3. Седименти сланог језера у близини Ширази
 Fig. 3. Salty lake deposits near city of Shiraz

Један од највећих подземних карстних облика је *пећина Шахпур* формирана у Азмари кречњацима. Ова пећина високо изнад данашњег ерозионог базиса и дна Шахпур реке предмет је опречних теорија везаних за њену генезу, то јест дилему да ли је настала као врелска или понорска (MILANOVIC & AGILI, 1993; RAEISI & KOWSAR, 1997).

Две главне карстне издани Сарвак и Азмари, у сендвичу непропусних формација, међусобно комуницирају само у теренима где је ерозија уколонила непропусне стене или у раседним зонама. По ободу карстних масива јављају се бројна карстна врела. Нека од њих дренирају кречњаке Сарвак формације, док је друга група врела везана за Азмари кречњаке. ASHJARI & RAEISI (2006) су на бази анализа 72 антиклиналне форме класификовали све изворе у две велике групе наглашавајући доминантан значај геолошких и тектонских фактора за циркулацију изданских вода.

Аташкадех („Огњени извори“) је група од 14 карстних врела који дренирају кречњаке Пордено антиклинале. Средња издашност највећег међу њима (Гомп) је 1400 l/s и знатно је увећана након изградње бране и акумулације на узводном делу терена што указује на значајне губитке воде из акумулационог простора. Ово језеро данас снабдева водом град Фирузабад, док су Аташкадех врела обезбеђивала снабдевање водом оближњег утврђења и храма Ардашира Првог подигнутог још у време Сасан династије 224 н.е.

Шехпир врело јавља се на контакту Сарвак кречњака и непропусних седимената Пабдех формације. Дренира слив од око 80 км² и има средњу издашност од 3 m³/s (RAEISI, 2010).

Водопади Маргун су један од најимпресивнијих карстних феномена у карсту јужног Ирана (сл. 4). То су извори који дренирају Азмари кречњаке са просечном издашношћу од око 500 l/s. Висина водопада је 58м, а воде до зоне истицања циркулишу дуж широке субхоризонталне зоне по пружању слоја.



Сл. 4. Водопад извора Маргун
Fig. 4. Waterfall of Margoon Spring

Извори Сасан у близини поменуте Шахпур пећине и долине, имају и историјски значај. Предодредили су позицију града и изузетно значајног археолошког локалитета Бишапура из пост-сасанидског периода у чијем су креирању значајну улогу имали грчки архитекти у служби Александра Македонског, који је покорио ове персијске територије. У овој зони је и чувени рељеф у камену који обележава победу персијских ратника над римским легијама које је предводио Валеријан, као и храм Анахите. Сасан врело, чија је просечна издашност $6.3 \text{ m}^3/\text{s}$ снабдева град Бушер на обали Персијског залива (RAEISI & STEVANOVIC, 2010).

КОРИШЋЕЊЕ ВОДНИХ РЕСУРСА

Оно што је специфично за овај део Ирана је да и поред великог богатства у изданским водама акумулираних у карстним изданима Сарвак и Азмари, коришћење површинских вода из бројних акумулација има доминатну улогу у водоснабдевању становништва. Разлози су пре свега у експанзији великих градова попут Ширази и Исхафана и демографским променама, тј. увећању броја становника које су резерве вода карстне издани тешко могле да прате. Као карактеристичан може се узети пример Ширази (STEVANOVIC, in press) који се у прво време снабдевао водом са извора по ободу карстног масива изграђеног од Азмари кречњака, затим са бунара бушених у близини извора, потом са дубоких бунара који су „повукли“ и воде повлатних алувијалних наслага и са њима и загађење нитратима и другим непожељним компонентама из отпадних вода.

С друге стране, акумулације се активно користе за наводњавање пољопривредног земљишта и производњу електричне енергије, и та мултифункционалност чини да ови објекти добијају приоритет у водопривредним плановима. Међутим, и воде заробљене у акумулацијама некада нису довољне за све потребе. Због велике потрошње, проблематичне вододрживости тј. губитака на процуривање (MILANOVIĆ, 2004), и појачане евапорације, низводни токови испод брана често су недовољни и за гарантоване минималне протоке. Тако кроз Исхафан у периодима маловођа воде циркулишу само кроз алувијалне насlage са сувим коритом реке на површини терена (сл.5).



Сл. 5. Потпуно суво корито реке испод моста из 17 века са 33 аркаде у центру Исхафана и бунара на десној обали који црпи воду из алувијона
 Fig. 5. Dry riverbed below bridge with 33 arcades from 17 Ct. in the centre of Isfahan City, and drilled well pumping alluvial groundwater on the right river bank

У овом делу Ирана налазе се и бројни трагови добрих техничких решења из доба персијског царства. Међу њима је бунар са четвртастим зидовима дубине око 30m издубљен у кречњацима Сарвака који је служио за водоснабдевање главног града царства Персеполиса. У јужном и централном Ирану постоје хиљаде каната (или кареза, тунела са вертикалним окнима) ископаних у подножју планинских венаца да би се њима дошло до изданских вода. Ови објекти припадају светској културној баштини и многи од њих су заштићени посебним прописима.

Захвалница

Ова популарни приказ настао је у жељи да се широј стручној јавности приближе информације о изузетним и специфичним особинама карста Ирана. Резултат је сарадње Универзитета у Ширазу и Центра за хидрогеологију карста Департмана за хидрогеологију РГФ. Аутор је у склопу студијског боравка и одржаних предавања октобра 2013. имао прилику да у пратњи својих колега Др Езата Раисија, Др Мехди Зареија, Др Заргхама Мохамедија и млађих колега доктораната Надерија и Заре обиђе карстне терене централног и јужног Ирана и упозна се са најзначајнијим појавама и феноменима, као и резултатима истраживања које су оствариле иранске колеге. Аутор дугује велику захвалност Др Езат Раисију и његовим колегама за вођство у заједничкој теренској екскурзији, за уступљене податке и слајдове приказане на сесији СГД, али изнад свега за остварено велико пријатељство.

POPULAR HYDROGEOLOGY: CARBONATE AND EVAPORITIC KARST OF CENTRAL AND SOUTHERN IRAN

The karstic terrains outcrop on around 11% of the territory of the Islamic Republic of Iran. The largest extension is in southern and central parts where carbonates and evaporites

cover some 23% of the land surface. These are dominantly arid, semi-desert terrains with limited hydrographic network and sparsely distributed vegetation. The groundwater circulation is prevailing, and many large springs are located at the contacts of karstic and non-karstic rocks.

The Zagros Mountains as an extension of Alpine Orogenic belt make up Iran's and Iraq's largest mountain range. They have a total length of 1500 km from north east of Iraq to Straits of Hormuz in Persian Gulf (Fig. 1). The Zagros Mountains were formed by collision of two tectonic plates, the Eurasian and Arabian.

The oldest formations in southern Iran are of Proterozoic age: Metamorphic rocks, ferrous sandstones, schists and evaporitic rocks of Hormuz Fm. In this zone there are numerous salt diapirs, the Konarsiagh near the Firozabad Plain being the major one (ZAREI & RAEISI, 2010). Konarsiagh Fm. salty rocks contaminate the adjacent Sarvak limestones and their groundwater. This result in high mineralization of sampled spring waters, electrical conductivity is in range of 5500 - 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and dominance of chloride ions (88%). Maximum measured mineralization of brine water can even reach 300 g/l. Deposited salts can be removed during periods of next floods and they may again precipitate into river flows (Fig.2).

The largest thickness and extension have carbonate rocks of Cretaceous and Oligocene-Miocene ages. The former are limestones of Sarvak Fm. (up to 800m thick) while younger limestones belong to Asmari Fm (maximum thickness 500m). ASHJARI & RAEISI (2006) and RAEISI (2008) showed that most of the karstic aquifers in the Zagros Mts. are sandwiched between two thick impermeable formations (Pabdeh – Gurpi Fms. of Upper Cretaceous and Paleocene ages) such that the hydrogeological connections between karstic formations are disconnected except in rare occasions that a major fault moves the two karstic formations beside each other.

In tectonic depressions Asmari limestones are overlaid by impervious marls and evaporites (gypsum) of Gachsaran and/or Razak Fms. The top layers consist of marls and clays of Upper Miocene Mishan Fm. In centre of depressions the Miocene rocks can be over 800 m thick. The Quaternary Bakhtiari deposits follow foothills of Zagros Mts. chain and their thickness is also significant, it may reach 200m. Due to arid climate and intensive evaporation many salty lakes are formed in closed depressions. One of such is near Shiraz City. The temporary streams are flowing into lake, but no outflows, although all waters disappear through evaporation process keeping thick salts deposits behind (Fig.3).

Sarvak and Asmari limestones are intensively fractured and folded which resulted in their high karstification. In Konarsiagh diapir some 2500 sinkholes (dolines) were recorded, in certain areas density is even 70 features/ km^2 (ZAREI & RAEISI, 2010). In wider area there are also dry valleys, uvalas. One of the largest karstic poljes Dashte-Arjan is also located in southern Iran, some 50 km from Shiraz. Its surface is around 8 km^2 . The tracing test at one of many alluvial ponors resulted in groundwater velocity of 80 m/h.

The Shahpour Cave, carved in Asmari limestones is one of the largest caves in the area. It is located high above current erosional base and Shahpour River, and there are opponent theories of its creation: either originated by ponor or by spring waters (MILANOVIC & AGILI, 1993; RAEISI & KOWSAR, 1997).

ASHJARI & RAEISI (2006) presented a conceptual model for flow direction in Zagros Mts. based on the 72 anticlines. The two major groups of springs exist: one draining Sarvak Fm. and another is linked to Asmari Fm. limestones. The geological and tectonic settings are the main controlling factors within these two groups.

Atashkadeh springs (“*Fire place springs*”) is the group consists of fourteen springs which emerges from the southern flank of Podenow anticline. The mean annual discharge of

the major one (Ghomp Spring) is 1400 l/s. Nearby castle of Atashkadeh (in Persian) was built in AD 224 by Ardashir I of the Sassanian Empire.

The discharge of these springs has significantly increased after construction of upstream dam and reservoir which are built for supplying water to the city of Firozabad. This indicates great water losses from the reservoir mainly resulted from high karstification of Asmari limestones.

Shehpeer Spring is located at the contact of Sarvak limestones and impervious sediments of Pabdeh Fm. Its catchment is 80 km² and has an average discharge of 3 m³/s (RAEISI, 2010).

Margoon waterfall springs are one of the most beautiful karstic features and tourist attractions (Fig. 4). Springs with an average discharge of around 500 l/s emerge from a bedding plane in Asmari limestones. The height of waterfall is 58 m.

Sasan spring emerges from the Asmari aquifer in vicinity of above mentioned Shahpour Cave and probably represents current outlet of the same system. It is in a walking distance of famous Sassanid rock reliefs (mark victory of Persians led by Shahpour over Romans led by Valerian) and the historical Bishapur city and Anahita Temple whose inhabitants utilized Sasan's waters. The average annual discharge is 6.3 m³/s. Sasan Spring is nowadays the main water source of Busher city, located at the coast of Persian Gulf (Raeisi & Stevanovic, 2010).

Although rich in Sarvak and Asmari karstic groundwater, utilization of surface waters captured in numerous artificial reservoirs have dominant role in local water supply. On one side reasons are demographic: groundwater reserves could not followed expansions of large cities such Shiraz and Ishafan. In addition to, waters from reservoirs have multi functions, they are also used for irrigation and/or electrical energy production. The typical example is Shiraz. Firstly, the natural springs along Asmari karstic rocks' foothills had been utilized for the supply of the city with potable water. Later on, several wells were drilled nearby those springs, and they have been soon replaced by the drilled deep wells. Unfortunately, intensive pumping of groundwater resulted with mixture of karstic and overlain alluvial waters, which resulted in an increase of nitrates and other pollutants percolate from untreated waste waters (Stevanovic, 2015).

However, waters from reservoirs are not always sufficient to cover increased demands. Great consumption, intense evaporation from lakes' surface and finally water losses in surrounded karstified environment (Milanović, 2004) may result with dry valleys downstream of dams. As such, even guaranteed minimal flows can be absent as in case of Ishafan City where during the dry season flows exist in permeable alluviums but not at the surface, in the riverbeds (Fig.5).

This part of Iran has many important traces and artifacts of genuine water utilization. For instance, preserved 30m deep shaft carved in hard Sarvak limestones is witnessing on water supply of Persepolis, the ancient capital of Persian Empire. In wider area there are also several thousand of qanats (kharezes, tunnels with vertical wells above) excavated into foothill zones in order to tap groundwater. These qanats are part of world cultural heritage and many are protected by national regulations.

Acknowledgements

This popular article aiming at present to the wider public information on attractive and specific karst of Iran. It is result of cooperation of University of Shiraz and Centre for Karst Hydrogeology of the Department of Hydrogeology of Faculty of Mining and Geology, Belgrade. Author had an opportunity to be guided by Dr Ezzat Raeisi, Dr Mahdi Zarei, Dr Zargham Mohammadi, and PhD students Naderi and Zare, during field excursion in terrains of Central and Southern Iran and to be acquainted with impressive results of work of Iranian

colleagues. The author gratefully acknowledges the support, data provision, slides and guidance of Dr Ezzat Raeisi and his staff, but above all appreciates our confirmed great friendship.

ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- ASHJARI J., RAEISI E. (2006): *Influences of anticlinal structure on regional flow, Zagros, Iran*. Journal of Cave and Karst Studies, 68(3): 118-129
- MILANOVIĆ P., AGILI B. (1993): *Hydrogeological characteristics and groundwater mismanagement of Kazerun karst aquifer, Zagros, Iran*. In: Hydrogeological Process In Karst Terrains, Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar, IAHS Publication, pp.163-171
- MILANOVIĆ P. (2004): *Water resources engineering in karst*. pp.312, CRC Press, Boca Raton, FL,
- RAEISI E., KOWSAR N. (1997): *Development of Shahpour Cave, southern Iran*. Journal of Cave and Karst Studies, 24: 27-34
- RAEISI E. (2008): *Groundwater storage calculation in karst aquifers with alluvium or no-flow boundaries*. Journal of Cave and Karst Studies, 63: 62-70
- RAEISI E. (2010): Case study: Shehpeer spring, Iran. In: (eds. Kresic N., Stevanovic Z.) Groundwater hydrology of springs: Engineering, theory, management and sustainability, pp. 516-525, Elsevier Inc., BH, Burlington-Oxford
- RAEISI E., STEVANOVIĆ Z. (2010): *Springs of Zagros mountain range (Iran and Iraq)*, In: (eds. Kresic N., Stevanovic Z.) Groundwater hydrology of springs: Engineering, theory, management and sustainability, pp. 498-515, Elsevier Inc., BH, Burlington-Oxford
- STEVANOVIĆ Z. (2015): *Characterization of karst aquifer*. In: Characterization and Engineering of Karst Aquifer. (Z. Stevanovic, ed.), Springer
- ZAREI M., RAEISI E. (2010): *Karst development and hydrogeology of Konarsiah salt diapir, south of Iran*. Carbonates and Evaporites, 25: 217–229