

# Mineralogical investigation and water absorption of bentonites in Momen Abad area, to be used in pelletizing industry and a comparison with some other bentonite mines in Eastern Iranian Bentonite Zone

Sahar Tarabi<sup>1\*</sup>, Soroush Modabberi<sup>2</sup>

1-Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2-School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

**Keywords:** Water absorption, Pelletizing, Bentonite, Momen Abad, Eastern Iran

## 1-Introduction

Bentonite deposits of Iran occur in six zones: Semnan-Torud, Alborz-Azerbaijan, Eastern Iran, Central Iran, Tafresh - Takab, and Zagros. They are mostly related to Cenozoic volcanic activity. Momen Abad Mining area is located in the northeast of Sarbisheh in South Khorasan province and southeast of Birjand and is a part of the Eastern Iranian Bentonite Zone (Hejazi and Ghorbani, 1994; Modabberi et al., 2019) (Fig. 1).

Bentonite is one of the main additives in the pelletizing industry. Sodium bentonite is suitable for iron ore pelletizing due to its higher swelling power and water absorption above 600 (Murray, 1991; Devaney, 1956) and high dry strength in iron ore pellets after iron ore sintering and condensation (Murray, 2002; 2007). Bentonite is the best bonding agent for iron ore particles as well as the major strength factor and an essential factor in preventing cracking of pellets (Mohamed et al., 2003).

Previous studies on mineralogy, geochemistry, mass changes, and bentonite formation processes have been performed on bentonite deposits in the Eastern Bentonite Zone of Iran (Karimpour et al., 2003; Karimpour and Malekzadeh Shafarodi, 2015; Namayandeh et al., 2012 and 2015; Modabberi et al., 2015; 2019; Tarabi et al., 2017a-b, 2019; Tarabi, 2018). Also, researchers have investigated the use of Eastern Iranian bentonites in the pharmaceutical applications (Modabberi et al., 2015), oil drilling (Tarabi et al., 2019), and casting (Karimpour et al., 2003). Since bentonites have been studied all over the world in the iron pelletizing industry (Murray, 1991–2002 and 2007; Mohamed et al., 2003; Allo and Murray., 2004) however, the mineralogy and industrial applications of bentonites in Iran and especially in Momen-Abad area have not been yet studied in this industry. To study the application of bentonites in the pelletizing industry, as well as water absorption factor in sodium bentonites of the Momen-Abad area and 8 other mines in Eastern Iranian Bentonite Zone, are investigated in this paper.

## 2- Methodology

About 100 samples of bentonite and altered rocks were collected from Momen Abad and other deposits. To perform water absorption tests, 86 samples were taken from trenches, wells, and high-quality dumps in the central part of the mine. Also, 16 bentonite samples from eight mine in the Eastern Iranian Bentonite Zone, namely Sanajan, Tighab, Deheshk, Gholegolkon, Khoshal, Ebrahimi, Mortezaejad and Shirazi, as well as 2 samples from Momen Abad mine. A total of 104 samples have been sent to Pars Gohar Powder Company for water absorption testing. X-Ray Diffraction (XRD) studies were performed on three air-dried and ethylene glycol solvated samples to study mineralogy and the mineralogical effect composition on water absorption. Scanning Electron Microscopy Image (SEM) and SEM-Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (SEM-EDX) were also performed on one bentonite lump sample, and two bentonite powder samples (B05-B06) and 12 points were analyzed.

\*Corresponding author: sahartarabi50@yahoo.com

DOI: 10.22055/aag.2020.29487.1982

Received 2019-05-11

Accepted 2020-01-20

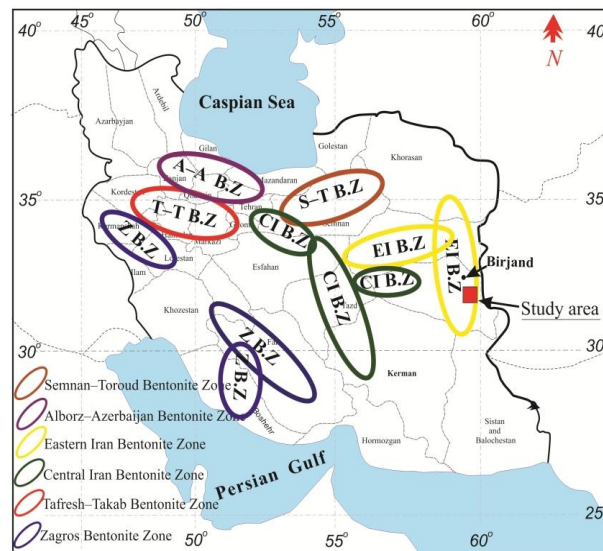


Fig. 1. Distribution of Iranian bentonite deposits on a geological framework on which the Momen Abad area is shown by a red solid square in the Eastern Iranian Bentonite zone. EIBZ: Eastern Iranian Bentonite Zone, green: CIBZ, blue: Zagros Bentonite Zone, TTBZ: Tefresh - Takab Bentonite Zone, AABZ: Alborz - Azerbaijan Bentonite Zone, STBZ: Semnan - Toroud Bentonite Zone) Tarabi et al., 2019).

### 3-Findings

#### 3-1- X-ray diffraction (XRD)

Mineralogical studies revealed the presence of cristobalite and smectite as the main phases, and plagioclase feldspar, alkali feldspar, zeolite (heulandite and/or clinoptilolite), mica-illite, amorphous silica, and calcite occur as the minor phases.

#### 3-2- Scanning Electron Microscopy (SEM) – Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDS/EDX)

Scanning electron microscopy of bentonite clumps indicates that smectite clays show wavy sheet-like morphology with overgrowth of cristobalite, and bentonite sheet grains occur as aggregates flocculated appearance and spherical and angular grains with popcorn texture. Energy Dispersive X-ray Spectrometer of 12 points show that montmorillonite is a significant component of bentonite. It was found out, based on the Na and Ca contents, that the bentonites are compositionally Na members (Table. 1).

Table 1. Numerical results of EDX spectroscopy at 12 points.

	phases	O	Na	Mg	Al	Si	Fe	K	Ca	Ti	Cl	Cu
		(wt%)										
B05- Spot 1	Qz	53.2	1.51	0.79	4.81	38.7	0.68	0.14	0.2			
B05- Spot 2	Qz+Clay	45.9	1.56	1.84	8.33	36	1.65	2.43	0.5	1.2	0.7	
B05- Spot 3	Qz+Clay	50	1.40	0.77	4.54	41.8	0.26	0.28	0.6			0.4
B05- Spot 4	Qz	52.2	1.11	0.70	2.31	43	0.42	0.26				
B05- Spot 1	Na-Sme	48.9	1.56	1.67	9.53	34.9	2.01	1.04	0.4			
B05- Spot2	Na-Sme	51.6	1.40	1.86	9.3	33.5	1.23	0.91	0.2			
B05- Spot 1	Na-Sme	48.4	7	1.09	11	28.9	0.46	0.68	2.5			
B05- Spot 2	Na-Sme	47.7	1.60	1.41	6.79	39.5	1.03	1	0.6		0.5	
B05- Spot 3	Na-Sme	50.8	1.93	1.70	7.01	35.7	1.05	0.98	0.4		0.4	
B06- Spot 1	Na-Sme	49.4	1.62	1.50	7.47	35.9	1.59	2.02	0.3	0.2		
B06- Spot3	Na-Sme	53.3	1.48	1.71	9.56	30	1.34	2.07	0.3			0.3
B06- Spot 1	Na-Sme	47.4	1.07	0.99	5.64	42.4	0.8	1.23	0.5			

#### 3-3-Water absorption

Figure 2 presents the water absorption results of the Momen Abad mine. Accordingly, the percentage of water absorption from the base to the bottom of the trench (about 15 meters deep) and the stored materials in dumps is variable. Thus, from the trench base to the location of sample 52, the average water adsorption is about 401; however, from sample 53 to the bottom of the trench, the percentage of water adsorption is 503. Examination of boreholes indicates that only BH-03 has more than 400% water absorption, and the rest has less than 300% water absorption. TR1-2M, TR1-39M, and DP1-4M show the lowest water absorption of samples. The highest water absorption was reported for TR1-3M, TR1-27M, TR1-68M, and DP1-8M samples. The average water absorption percentage of the main bentonite dump is about 440, and the small dump at the base of the trench has a 540% water absorption. These studies show that the quality of bentonites in deeper zones increases in bentonite zones due to the leaching of the elements (Özdamar et al., 2014). Since the samples with these values were taken from the surface, it is proposed that bentonites have much better quality in deeper parts.

Table 2 shows the results of water absorption from other mines. These results show that two mines of Deheshk (sample B151) with 680 water absorption and Gholegolkon mine (sample B142) with 342 water adsorption have acceptable water absorption results the bentonite mines in the eastern bentonite zone of Iran. Considering the vital factor of water absorption of bentonites in the pellet industry (water absorption above 600) and their sodium type, it seems that these three mines, respectively, two mines of Deheshk and Momen Abad, are suitable for the pelleting industry.

Table 2. Water absorption results of 18 samples from different mines.

No.	Mines	Water absorption	No.	Mines	Water absorption	No.	Mines	Water absorption
B139	Sanajan	108	B153	Gholegolkon	228	B146	Shirazi	158
B140	Sanajan	182	B151	Deheshk	680	B147	Shirazi	146
B141	Khoshal	78	B154	Tighab	148	B152	Mortezanejad	190
B143	Khoshal	110	B156	Tighab	94	B155	Mortezanejad	130
B149	Khoshal	126	B144	Ebrahimi	182	B148	Momen Abad	626
B142	Gholegolkon	324	B145	Ebrahimi	198	B150	Momen Abad	446

#### 4-Conclusions

The mineralogical studies indicate that cristobalite and smectite occur as major phases in bentonite samples, and the lack or scarcity of crystalline phases like quartz as a minor phase may be an advantage in the application of bentonites in the pelletizing industry. According to electronic imaging, the bentonites are composed of smectitic clays with wavy sheets and irregular rims that favor the pelletizing application. Sheet-like grains of bentonite show flocculated appearance and spherical and angular grains with popcorn texture. The XRD results prove that bentonites are composed of Na-montmorillonite type, swelling, and high water absorption capacities that follow the specification needed for pelletizing usage.

Water absorption tests were performed on 88 samples of Momen Abad (74 samples from trenches, 11 samples from dumps, three samples from boreholes), and 16 samples taken from other mines in the area. The tests show that samples from Momen Abad possess a lower water absorption of 401 despite the favorable morphology and mineralogy because they were taken from the surface so that the surface samples are not qualified for this purpose. The deep-seated samples were proved to have higher absorption of 600-800% favorable for pelletizing. Compared with other bentonite mines in the area, Momen Abad samples show acceptable water absorption levels and are applicable in pelletizing according to their tests and mineralogy, and Deheshk mine samples are also favorable based on their water absorption tests.

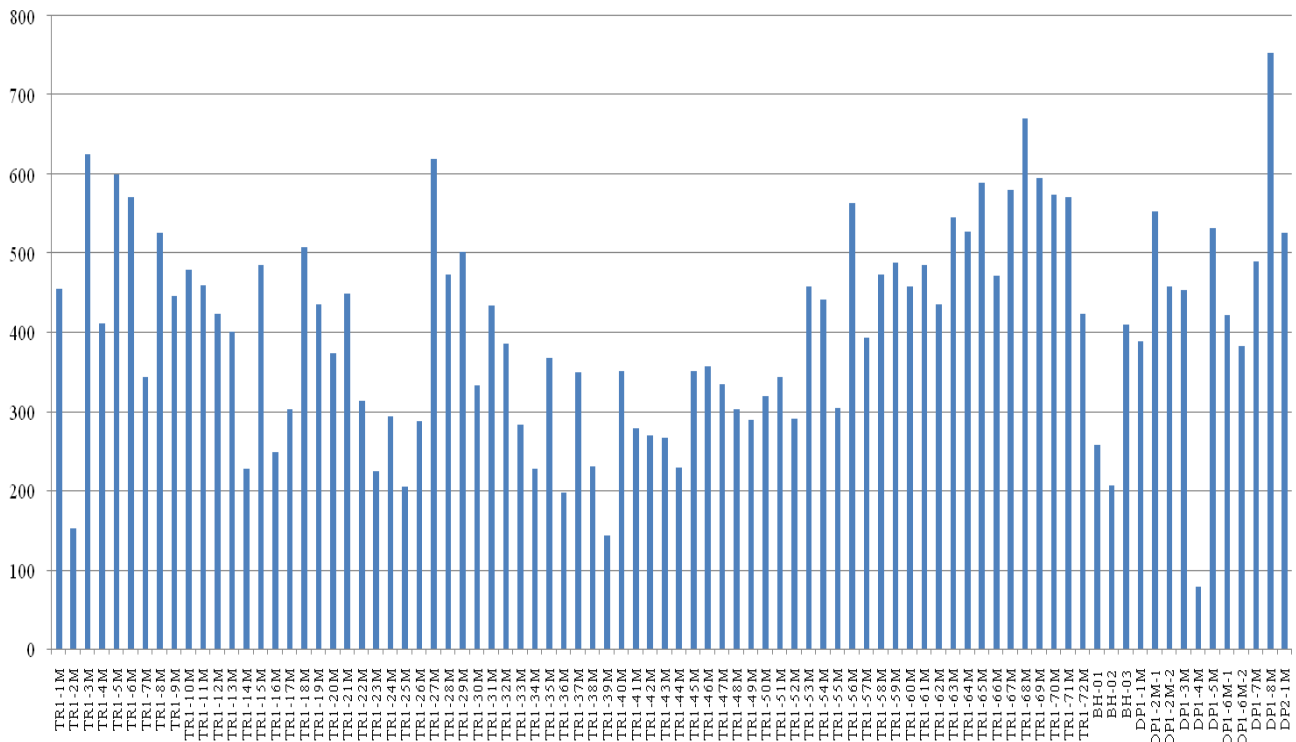


Fig. 2. Water absorption percentages of Momen-Abad mine.

## References

- Allo, W.A., Murray, H.H., 2004. Mineralogy, chemistry and potential applications of a white bentonite in San Juan province, Argentina. *Applied Clay Science* 25, 237–243.
- Devaney, F.D., 2019. Process of Preparing Indurated Pallets of Iron Ore Fines. US Patent 2,172-173.
- Hejazi, M., Ghorbani, M., 1994. Bentonites–Zeolite. Geological Survey of Iran, p. 128 (in Persian).
- Karimpour, M.H., Rashed, A.A., Erteza, H., 2003. Mineralogical Composition, Geochemistry and Application of Deh Mohamad, Chah Kem 1, Chah Kem 2 and Shir Gasht (Khorasan and Yazd). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 82, 15-27 (in Persian).
- Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafarodi, A., 2015. Satellite data processing for identification of sodic and calcic bentonite deposits in eastern Iran. *Advanced Applied Geology* 21, 84-96 (in Persian).
- Murray, H.H., 1991. Overview-clay mineral application. *Applied Clay Science* 5, 379-395.
- Murray, H.H., 2002. Traditional and new application for Kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science* 17, 207-221.
- Murray, H.H., 2007. *Applied Clay Mineralogy, Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays*. Developments in Clay Science, 2, Elsevier, USA, p 180.
- Mohamed, O.A., Shalabi, M.E.H., El-Hussiny, N.A., Khedr, M.H., Mostafa, F., 2003. The role of normal and activated bentonite on the pelletization of barite iron ore concentrate and the quality of pellets. *Powder Thchnology* 130, 277-282.
- Modabberi, S., Namayandeh, A., López-Galindo, A., Viseras, C., Setti, M., Ranjbaran, M., 2015. Characterization of Iranian bentonites to be used as pharmaceutical materials. *Applied Clay Science* 116, 193-201.
- Modabberi, S., Namayandeh, A., López-Galindo, A., Setti, M., 2019. Genesis of the Eastern Iranian bentonite deposits. *Applied Clay Science* 168, 56-67.
- Namayandeh, A.R., Modabberi, S., Ranjbaran, M., 2012. Mineralogy and geochemistry of Chah-Golestanbentonite mine, Sarayan, Iran. *Advanced Applied Geology* 5, 69-79 (in Persian).
- Namayandeh, A.R., Modabberi, S., Ranjbaran, M., 2015. Mineralogical and geochemical studies to determine genesis of Khalkuh bentonite mine, Ferdows, Southern Khorasan. *Petrology* 21, 19-34 (in Persian).
- Tarabi, S., Emami, M.H., Modabberi, S., 2017a. Study of diagenetic and hydrothermal alteration in stratigraphy section of Momen-abad (North- East of Sarbisheh, Birjand) and its role of them in non-metallic mineralization. 4th YES Congress.

- Tarabi, S., Modabberi, S., Emami, M.H., Sheykh Zakariaei, S.J., 2020a. The Study of Diagenetic and Hydrothermal Alteration in the Volcanic Sequence of Momen-abad (North- East of Sarbisheh, Birjand) and Their Roles in Non-metallic Mineralization. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences* 29, 163-174 (in Persian).
- Tarabi, S., Modabberi, S., Emami, M.H., Sheykh Zakariaei, S.J., 2020b. Mineralogical and Rheological Characterization of Bentonites in Momen Abad Area, Eastern Iranian Bentonite Zone, to be Used in Drilling Industry. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 28, 83-94 (in Persian).
- Tarabi, S., 2018. The Study of Petrology, Geochemistry and Alteration of Momen Abad Area (North-East of Sarbisheh) with Reference to the Formation of Bentonite Deposits and their Industrial Application, Unpublished P.hD. thesis. Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (in Persian).

**HOW TO CITE THIS ARTICLE:**

Tarabi, S., Modabberi, S., 2020. Mineralogical investigation and water absorption of bentonites in Momen Abad area, to be used in pelletizing industry and a comparison with some other bentonite mines in Eastern Iranian Bentonite Zone. *Adv. Appl. Geol.* 10(3), 407-420.

DOI: 10.22055/AAG.2020.29487.1982

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15344.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15344.html?lang=en)

## بررسی کانی شناسی و جذب آب بنتونیت‌های منطقه مؤمن آباد به منظور کاربرد در صنایع گندله سازی و

### مقایسه با برخی معادن زون بنتونیت خاور ایران

سحر طربی\*

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران

سروش مدبری

دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

\*sahartarabi50@yahoo.com

#### چکیده

منطقه معدنی مؤمن آباد بخشی از زون بنتونیتی خاور ایران است. نتایج کانی شناسی نشان می‌دهد کریستوبالیت و اسمکتیت به عنوان کانی اصلی و پلاژیوکلاز، فلدسپار، کانی‌های شکل‌دار نظیر سیلیس به عنوان فاز فرعی می‌تواند زمینه را برای کاربرد بهتر در صنعت گندله آهن ایجاد کند. تصاویر SEM بیان می‌کند که رس‌های اسمکتیتی، مرفولوژی ورقه‌ای موج‌دار با رورشدی کریستوبالیت نشان می‌دهد و ذره‌های صفحه‌ای بنتونیت، انبوهه‌هایی را با ظاهری لخته شده و به صورت کروی و زاویه‌دار با بافت دانه‌ذرتی نشان می‌دهند. براساس میزان  $Ca$  و  $Na$  بنتونیت‌ها، سدیمی هستند. آزمون جذب آب بر روی ۱۰۴ نمونه نشان می‌دهد که معدن مؤمن آباد برخلاف ویژگی‌های کانی شناسی قابل قبول، در عمق کمتر از ۱۵ متر میزان جذب آب غیر قابل قبولی دارند، اما در نمونه‌های با عمق بیشتر از ۱۵ متر با توجه به ماهیت زمین شناسی و ارتباط مستقیم جذب آب با عمق، مناسب کاربرد در گندله سازی هستند. مقایسه هشت معدن از زون بنتونیتی خاور ایران نشان می‌دهد که معدن دهشک و مؤمن آباد نسبت به معادن سناجان، تیغاب، قله گل کن، خوشحال، ابراهیمی، مرتضی‌نژاد و شیرازی جذب آب بالای ۶۰۰ را نشان می‌دهند و ویژگی مناسب‌تری برای گندله سازی آهن دارند.

**کلمات کلیدی:** جذب آب، گندله سازی، بنتونیت، مؤمن آباد، خاور ایران

#### مقدمه

Devaney (1956) و مقاومت خشک بالا در گندله کانه‌های آهن پس از مرحله ساییدن و تغلیظ کانه‌های آهن، برای مصرف گندله کانستگ آهن مناسب بوده و برای گندله کردن استفاده می‌شود (Murry, 2002 and Mohame, 2007). همکاران (۲۰۰۳) بیان می‌کنند که بنتونیت‌ها بهترین عامل پیوند دهنده ذرات کانه‌های آهن و همچنین عامل اصلی استحکام و عامل مهمی در جلوگیری از ترک خوردگی گندله‌ها است. بنتونیت‌های به کار برده شده در گندله سازی باید ۷۰ تا ۹۰ درصد کوچکتر از ۴۵ میکرون و محتوی مونت‌موریلونیت آن بین ۸۰ تا ۹۰ درصد باشد و به اصطلاح به صورت پودر میکرونیزه و فرآوری شده باشد. پلاستیسیته بالا و اندازه ریز ذرات و توزیع یکنواخت این ذرات ریز در بین سنگ آهن، باعث توزیع یکنواخت آب در گندله می‌شود و در صورت خشک شدن گندله خام از ترک برداشتن آن جلوگیری می‌شود.

مطالعات پیشین در مورد کانی شناسی، ژئوشیمی، تغییرات جرم و روند تشکیل بنتونیت‌ها، بر روی نهشته‌های بنتونیتی زون خاور ایران انجام شده است (Karimpouret al., 2003; Karimpour and Malekzadeh, 2012 and 2015; Shafarodi, 2015; Namayandeh et al., 2012 and 2015; Modabberi et al., 2015 and 2019; Tarabi et al., 2017; Tarabi, 2018; Tarabi et al., 2010 a-b). مطالعات ژئوشیمیایی در مناطق فردوس و سرایان، سربیشه و مؤمن آباد نشان می‌دهد که این کانسارها به ترتیب، در نتیجه دگرسانی دیاژنتیک در شرایط محیطی لاگون مانند (Namayandeh et al., 2012 and 2015; Modabberi et al., 2015 and 2019) و دگرسانی دیاژنتیک به همراه دگرسانی گرمایی در

بنتونیت‌ها، به طور عمده از کانی‌های گروه اسمکتیت (مونت‌موریلونیت) تشکیل شده‌اند. مونت‌موریلونیت سدیم نسبتاً کمیاب‌تر از نوع کلسیمی است (Murry, 2007). بنتونیت‌ها را براساس ویژگی‌های فیزیکی و کانی شناسی به دو گروه تقسیم می‌کنند (Takagi et al., 2007). نوع سدیمی یا سدیم-کلسیمی مانند کانسارهای ایالت‌های وایومینگ و مونتانا در آمریکا (Hosterman and Patterson, 1992) که تورم‌پذیری بالا تا متوسط دارد و نوع کلسیمی مانند کانسارهای ایتالیا، خاورمیانه، ترکیه، یونان و مصر (Christidis et al., 1995; Yalçın and Gümüşer, 2000; Yildiz and Kuscü, 2004 and 2007) که تورم‌پذیری پایینی دارد. بنتونیت سدیمی با ویژگی جذب آب بالا، خاصیت چسبندگی و حالت ویسکوز در سوسپانسون و ژله‌شوندگی و بنتونیت کلسیمی با ویژگی‌های جذب آب پایین، قابلیت تورم و ناتوانی در ماندن به حالت تعلیق در آب شناسایی می‌شوند (Eisenhour and Brown, 2009). بنتونیت کلسیمی در ماسه ریخته‌گری، جاذب روغن و گریس، فیلتر کردن و تصفیه، خوراک دام و بنتونیت سدیمی در گل حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله سازی، غذای دام، مهندسی عمران کاربرد دارند (Murry, 2007). بیشترین مصرف بنتونیت-ها، در تولید گندله آهن، ریخته‌گری و حفاری است.

بنتونیت یکی از اصلی‌ترین افزودنی‌های صنعت گندله سازی محسوب می‌شود که پارامترهای کیفی آن علاوه بر تأثیر مستقیم بر کیفیت گندله، تأثیر غیرمستقیم بر فرایند تولید فولاد خواهد داشت. بنتونیت‌های سدیمی به علت قدرت تورم بالاتر و جذب آب بالای ۶۰۰ (Murry, 1991; )

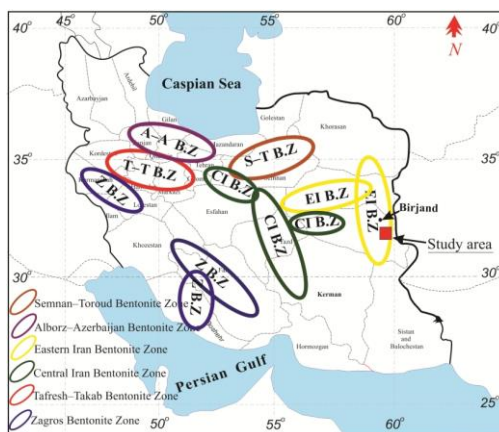
خاور ایران است (Hejazi and Ghorbani, 1994) (شکل ۱). این منطقه بر اساس زمین‌شناسی و تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران (Stocklin, 1968) و مطالعات (Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983) در زون زمین‌درز سیستان واقع شده‌است. بنتونیت زون خاور ایران در نواحی تربت حیدریه، تربت جام، کاشمر، گناباد، بیرجند، سرایان و فردوس در دو زون بلوک لوت و زون زمین‌درز سیستان رخمون دارند (شکل ۱). این بنتونیت‌ها شامل کانسارهای دروگر در منطقه کاشمر و بردسکن، کانسار کوه سرخ زرین در منطقه اردکان، کانسار اسفهدک در منطقه طبس و اسفهدک، کانسار بسطاق سرایان در منطقه فردوس و بسطاق و کانسار بنتونیت خوشاب در منطقه خراسان رضوی و شهرستان کاشمر هستند (Stocklin, 1968). مطالعات صحرایی نشان داده‌است که محدوده معدن بنتونیت مؤمن آباد در واحدهای سنگی داسیت، ریولیت و آندزیت به صورت واحدهایی با دگرسانی شدید رخمون دارد. این معدن در چهار لایه مرفولوژی بنتونیت‌های لایه‌ای به همراه پرلیت‌های عدسی شکل، توده‌ای و رگه‌ای را نشان می‌دهد. بنتونیت‌ها ویژگی‌های ظاهری خشک شده، انقباض یافته و شکسته شده، را نشان می‌دهند است (Tarabi et al., 2010 a-b). بر اساس مطالعات زمین‌ساختی، سه دسته گسل در منطقه شناسایی شده‌است: ۱- گسل‌های دارای روند NNW-SSE، ۲- گسل‌های دارای روند WNW-ESE و ۳- گسل‌های دارای روند NE-SW (Kavoshgaran, 2015; Tarabi et al., 2017; Tarabi, 2018).

این گسل‌ها، موجب حضور محلول‌های گرمابی و دگرسانی اپی‌ترمال در منطقه شده‌است. حضور بنتونیت‌های سفید در اطراف گسل و بنتونیت‌های سبز روشن تا تیره در ریولیت‌های پرلیتی شاهدهی بر این ادعا هستند. این کانسار توسط کلاهدک آندزیتی، پوشیده شده‌است (Tarabi et al., 2017; Tarabi et al., 2010 a-b).

شرایط دریاچه‌ای - لاگونی تشکیل شده‌اند (Tarabi, 2018; Tarabi et al., 2017 a-b; Tarabi et al., 2010). مطالعه کانی‌شناسی نشان داده‌است که کانی‌های اسمکتیت و کریستوبالیت را به عنوان فاز کانیایی اصلی و پلاژیوکلاز فلدسپار، آلکالی فلدسپار، زئولیت، میکا، ایلیت، کوارتز از نوع اپال کریستوبالیت، کلسیت، هالیت و ژیبس به عنوان فازهای فرعی کانی‌های بنتونیت هستند (Namayandeh et al., 2012 and 2015; Tarabi et al., 2017a-b; Tarabi, 2018; Karimpour et al., 2003; Karimpour and Malekzadeh Shafarodi, 2015). Karimpour و Malekzadeh Shafarodi (2015) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بنتونیت‌های سدیک و پتاسیک خاور ایران را شناسایی کرده‌است. علاوه بر آن پژوهشگران به بررسی کاربرد بنتونیت‌های شرق ایران در صنایع دارویی (Modabberi et al., 2015)، حفاری نفت (Tarabi et al., 2019) و ریخته‌گری (Karimpour et al., 2003) پرداخته‌اند. با توجه به اینکه بنتونیت‌ها در سراسر جهان در صنعت گندله‌سازی مورد مطالعه قرار گرفته‌است (Murry, 1991-2002 and 2007; Mohamed et al., 2003; Allo and Murray., 2004; Özdamar et al., 2014) و تاکنون کانی‌شناسی و کاربردهای صنعتی بنتونیتی‌های ایران و بخصوص منطقه مؤمن‌آباد در این صنعت مطالعه نشده‌است، به منظور مطالعه کاربرد بنتونیت‌ها در صنعت گندله‌سازی، همچنین عامل جذب آب در بنتونیت‌های سدیمی منطقه مؤمن آباد و ۸ معدن دیگر مربوط به زون بنتونیتی خاور ایران که از غرب فردوس تا جنوب شهر سربیشه کشیده شده‌است، مورد بررسی قرار خواهند گرفت تا بتواند در صنعت گندله‌سازی ایران کارگشا باشد.

### زمین شناسی منطقه

کانسارهای بنتونیتی ایران در شش زون سمنان-ترو، البرز-آذربایجان، خاور ایران، ایران مرکزی، تفرش - تکاب و زاگرس پدید آمده‌اند و در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی سنوزویک هستند. منطقه معدنی مؤمن آباد در شمال خاوری سربیشه در استان خراسان جنوبی و جنوب خاوری بیرجند قرار دارد و از نظر موقعیت کانسارهای بنتونیتی ایران، بخشی از زون بنتونیتی



شکل ۱- نقشه موقعیت زون‌های بنتونیتی ایران و منطقه مؤمن آباد به وسیله مربع قرمز در زون بنتونیتی خاور ایران، نشان داده شده‌است. بیضی زرد: زون بنتونیتی خاور ایران، بیضی قرمز: زون بنتونیتی تفرش - تکاب، بیضی بنفش: زون بنتونیتی البرز - آذربایجان، بیضی قهوه‌ای: زون بنتونیتی سمنان-ترو (Tarabi et al., 2019).

Fig. 1. Distribution of Iranian bentonite deposits on a geological framework and the Momen-Abad area is shown by a red square in the Eastern Iranian bentonite zone. Yellow oval: Eastern Iranian Bentonite Zone, green ovals: Central Iranian Bentonite Zone, blue ovals: Zagros Bentonite Zone, red ovals: Tafresh-Takab Bentonite Zone, purple ovals: Alborz-Azerbaijan Bentonite Zone, brown ovals: Semnan-Toroud Bentonite Zone (Tarabi et al., 2020b).

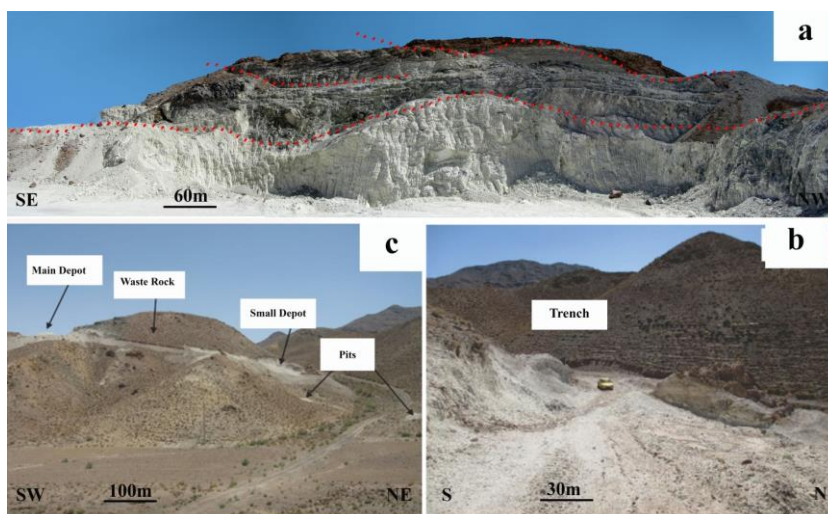
## مواد و روش‌ها

پس از مطالعات صحرایی و شناسایی واحدهای معدن مؤمن آباد مربوط به ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه، به منظور مطالعات کانی‌شناسی و انجام آزمون‌های جذب آب، حدود ۱۰۰ نمونه از واحدهای دگرسان و بنتونیتی منطقه برداشت شده است. به‌منظور انجام آزمون‌های جذب آب، نمونه‌برداری از ترانشه، چاهک‌ها و دیپوها در بخش مرکزی معدن انجام شده است که تعداد ۸۶ نمونه از کلوخه بنتونیتی به وزن تقریبی ۶ تا ۷ کیلوگرم برای انجام این تجزیه به شرح زیر برداشت شده‌است (شکل ۲): ۷۲ نمونه از ترانشه ۱ (TR1) به طول ۱۸۰ متر و ارتفاع ۲ تا ۱۵ متر، ۹ نمونه از دیپوی خاوری ترانشه (DP1)، ۲ نمونه از دیپوی ابتدای ترانشه (DP1)، ۳ نمونه از چاهک‌های BH-01، BH-02، BH-03.

پس از مطالعات زمین‌شناسی اولیه و بررسی وجود پتانسیل معدنی در زون بنتونیتی خاور ایران، تعداد ۱۶ نمونه بنتونیتی از هشت محدوده معدنی به نام‌های سناجان، تیغاب، دهشک، قله‌گل‌کن، خوشحال، ابراهیمی، مرتضی‌نژاد و شیرازی و همچنین ۲ نمونه از معدن مؤمن آباد به منظور مقایسه بهتر برداشت شده است. معادن بنتونیتی سناجان در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند، معادن تیغاب، دهشک، خوشحال، مرتضی‌نژاد و شیرازی در ورقه قائن، معدن قله گل کن در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ فردوس و معدن ابراهیمی در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ بشروئیه و گناباد در زون بنتونیتی خاور ایران و در فاصله حدود ۳۰۰ کیلومتری مابین منطقه فردوس-سرایان تا سربیشه، قرار دارند.

در مجموع تعداد ۱۰۴ نمونه به شرکت گوهر پودر پارس به منظور آزمایش جذب آب ارسال شده است. در شرکت گوهر پودر پارس، کلوخه بنتونیتی به پودر ۴۵ میکرون خردایش شد. بنتونیت‌ها ابتدا به وسیله آسیاب مورد خردایش اولیه قرار گرفتند به طوری که تقریباً ۳۰ درصد نمونه‌های نرم شده، از الک ۳۰۰ مش عبور کرده و سپس در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد رطوبت زدایی شدند. نمونه‌های پودر شده توسط ریفل به قسمت‌های مساوی تقسیم شده و حدود نیم گرم از آن جدا شد. نمونه بنتونیت خشک روی کاغذ صافی که از آب اشباع شده و وزن آن به دست آمده است، گذاشته و سپس بر روی آجر نسوز در ظرف آب گذاشته شدند. وزن آن بعد از ۲۴ ساعت تعیین شد. وزن اولیه کاغذ صافی از وزن بعد از ۲۴ ساعت کسر شده و عدد بدست آمده به درصد رسانده شد.

به منظور بررسی کانی‌شناسی دقیق و تأثیر مستقیم نتایج آنها با مطالعات جذب آب در بنتونیت‌های منطقه مومن آباد، مطالعات پراش پرتو ایکس (XRD) بر روی ۳ نمونه در شرایط خشک شده در هوا و اشباع شده از حلال اتیلن گلیکول، تصویربرداری الکترونی (SEM) و طیف سنجی پرتو ایکس پراکنش انرژی (SEM-EDX) بر روی یک نمونه کلوخه بنتونیتی و دو نمونه پودر بنتونیتی (B05-B06) و ۱۲ نقطه انجام شد. این نمونه‌ها در اداره کل تحقیقات و اکتشاف معادن، گروه تحلیل و تکنولوژی معدن در کشور ترکیه مورد تجزیه قرار گرفته‌اند.



شکل ۲ - (a) نمای کلی از معدن مومن‌آباد، (b) دورنمایی از ترانشه استخراجی و (c) دورنمایی از ترانشه و محل دیپوها و چاهک‌ها.

Fig. 2. (a) Overview of Momen-Abad mine, (b) Overview of the extractive trench, and (c) Overview of the trench and location of deposit and wells.

2001; Christidis and Huff, 2009; Gorniak et al., 2016, 2017).

نتایج کلی XRD نشان می‌دهد که در نمونه‌ها اسمکتیت و کریستوبالیت به عنوان فاز کانیاپی اصلی هستند. کانی اسمکتیت به وسیله دامنه  $16/5 - 17/5 \text{ \AA}$  شناسایی می‌شوند. فازهای فرعی کانی‌های بنتونیت‌ها، بر اساس فراوانی شامل پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، زئولیت بیشتر از نوع هولاندیت و کلینوپتیولیت، میکا و

## نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌ها

### پراش پرتو ایکس (XRD)

کانی‌شناسی بنتونیت نقش اساسی در کاربرد آن دارد. به طوری که فراوانی کانی‌های اسمکتیت خلوص و کاربری آن را بالا برده و حضور کانی‌های شکل‌دار یا کم متبلور مانند برخی گونه‌های سیلیس، کاربردهای صنعتی آن را محدود می‌سازد (Grim and Güven 1978; Christidis and Dunham, 1997; Christidis,



پراکندگی اندازه دانه‌ها، ناهمگن است و در اندازه‌هایی از  $1 \mu\text{m}$  تا  $10 \mu\text{m}$ ، متفاوت هستند (شکل ۵) و دانه‌ها، ترکیبی از کوارتز تا رس از نوع مونت‌موریلونیت سدیم هستند. ذره‌های صفحه‌ای بنتونیت، انبوهه‌هایی با ظاهری لخته شده می‌سازند و به صورت کروی و زاویه‌دار دیده می‌شوند (شکل ۵) که بافت دانه ذرتی (Cornflake) را نیز نشان می‌دهند (شکل ۵). نسبت انبوهه‌های کروی بیشتر از انبوهه‌های زاویه‌دار است. انبوهه‌های زاویه‌دار، ذره‌های دووجهی اسمکتیت را تشکیل می‌دهند (شکل ۵). بر روی لخته‌های بنتونیتی، کریستوبالیت و ذرات کوارتزی دیده می‌شود که به صورت رورشدی بر روی بنتونیت‌ها، رشد کرده‌اند (شکل ۵).

مطالعات طیف‌سنجی EDX بر روی ۱۲ نقطه نشان می‌دهد که نسبت Al/Si تقریباً ۱ به ۴ است و مونت‌موریلونیت جزو اصلی بنتونیت‌هاست (Falode et al., 2008) و انبوهه‌های بنتونیتی از نوع مونت‌موریلونیت‌های سدیم هستند که میزان Mg, Fe, Al, Si، Ca و Na آنها متفاوت است. میزان Ca و Na در ۱۲ نقطه تجزیه شده بر روی مونت‌موریلونیت‌های منطقه به ترتیب از ۱/۱۱ تا ۷ و ۰/۲ تا ۲/۵ هستند و نشان می‌دهد که بنتونیت‌های منطقه از نوع مونت‌موریلونیت‌های سدیم هستند (جدول ۳).

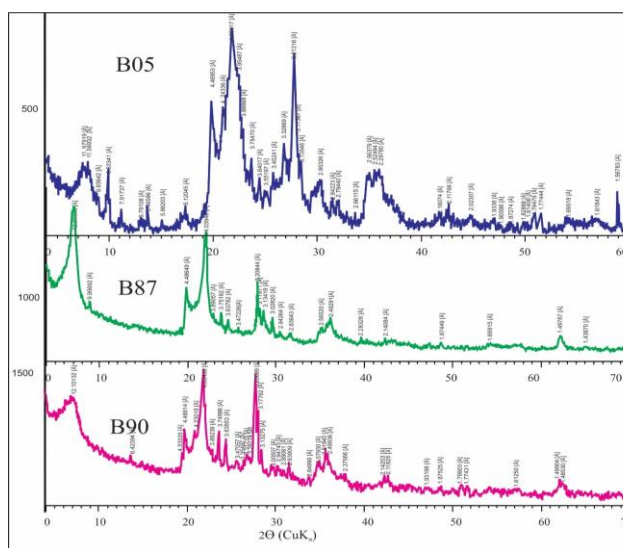
ایلپت، پاراگونیت، کوارتز و کلسیت هستند که در نمونه‌های مختلف متفاوت است. فاز فرعی پلاژیوکلاز و آلکالی‌فلدسپار به وسیله دامنه  $3/76$  و  $4/04$  و  $3/15$  و  $3/20$  زئولیت از نوع هولاندیت و کلینوپتیولیت با درصد‌های کم با دامنه  $2/83$  و  $2/49$  ایلپت با دامنه  $1/49$ ، کلسیت با دامنه  $2/83$  -  $2/49$  شناسایی می‌شوند (شکل ۳).

### تصویربرداری الکترونی (SEM) و طیف سنجی پرتو ایکس پراکنش انرژی (EDS/EDX)

تصویربرداری الکترونی بر روی یک نمونه کلوخه بنتونیتی انجام شده است. مطالعه این بنتونیت‌ها نشان می‌دهد اسمکتیت به همراه کوارتز (اپال کریستوبالیت - تریدیمیت) حضور دارند. رس‌های اسمکتیتی مرفولوژی ورقه‌ای (Flake) با لبه‌های ناهموار (Ragged edge) را نشان می‌دهند. اسمکتیت‌های ورقه‌ای می‌تواند به صورت ورقه‌ای با مورفولوژی موج‌دار (Oriented Wavy) نیز دیده شوند. گاه بر روی اسمکتیت‌های ورقه‌ای رورشدی‌های از کریستوبالیت به صورت کروی و Lepispher نیز دیده می‌شود. اسمکتیت‌های ورقه‌ای همراه با شیشه‌های ورقه‌ای به صورت موج‌دار دیده می‌شوند (شکل ۴). علاوه بر تصویربرداری الکترونی، طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکنش انرژی نیز بر روی پودرهای بنتونیتی منطقه (B05-B06) و بر روی ۱۲ نقطه، انجام شده است. تصویربرداری الکترونی نشان می‌دهد که

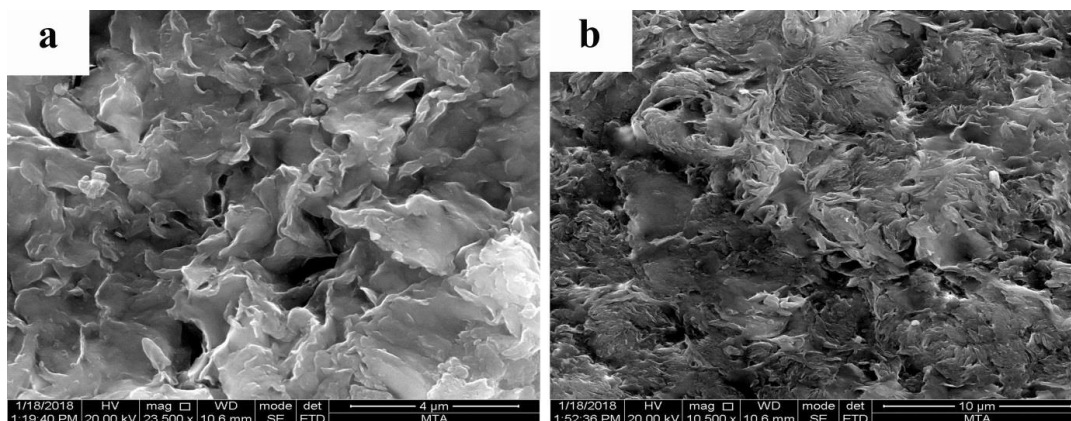
جدول ۱- نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌های بنتونیت در محدوده معدنی مؤمن آباد.  
Table 1. X-ray diffraction (XRD) results of bentonite samples in the Momen-Abad area.

SAMPLE	RESULT	
	Main minerals	Secondary Minerals
B-05	Cristobalite + Smectite	Plagioclase Feldspar + Alkali Feldspar + Zeolite (Heulandite and/or Clinoptilolite) + Quartz + Mica-Illite
B-87	Montmorillonite+ Cristobalite	Plagioclase+ Calcite+ Mica-Illite+ Amorphous
B-90	Cristobalite	Plagioclase+ Montmorillonite+ Alkali Feldspar + Illite+ Morphous



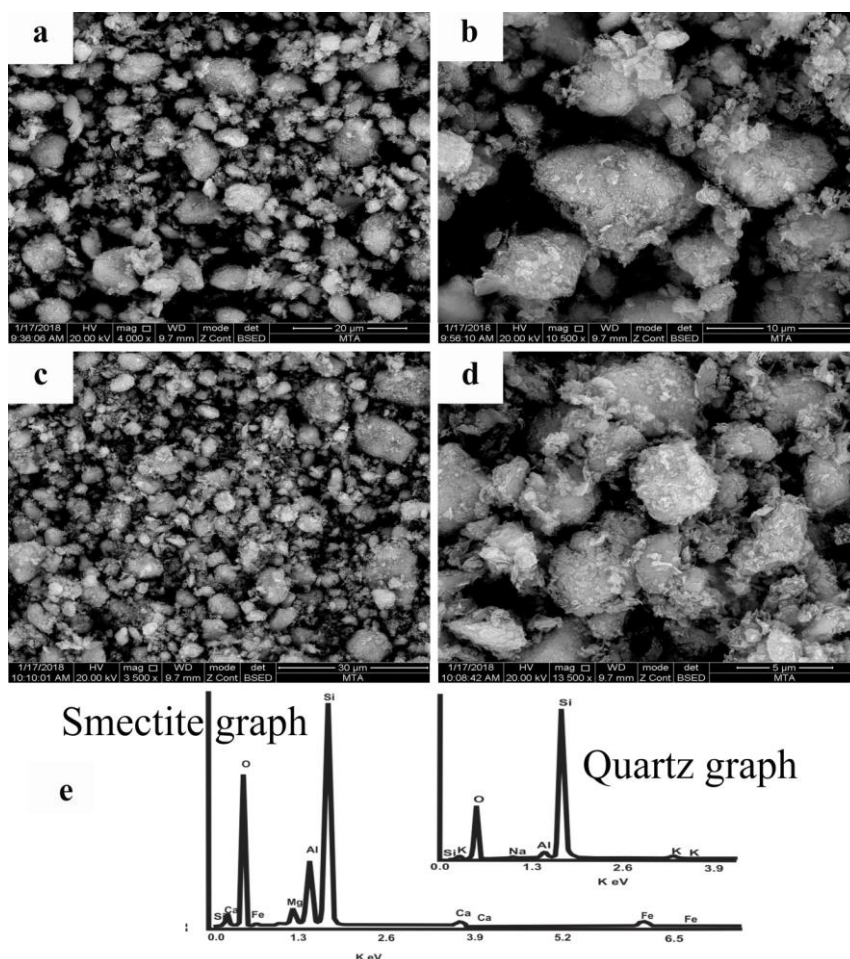
شکل ۳- الگوی XRD بر روی نمونه اولیه بنتونیت‌ها.

Fig. 3. XRD pattern on the initial bentonites.



شکل ۴- تصویر برداری الکترونی SEM، (a) رس اسمکتیتی با مرفولوژی ورقه‌ای- لبه‌های ناهموار و رورشدی کریستوبالیت کروی و (b) ترکیبی از رس اسمکتیتی با مرفولوژی ورقه‌ای ضعیف و لبه‌های ناهموار، شیشه‌های ورقه‌ای و کوارتز.

Fig. 4. SEM electron imaging, (a) Smectite clay with lamellar morphology - rugged edges of spherical cristobalite, and (b) combination of smectite clay with poor lamellar morphology and rough edges, laminated glass, and quartz.



شکل ۵- تصویر برداری الکترونی و طیف‌سنجی SEM-EDX نمونه B05 و B07، (a) بلورهای زاویه‌دار تا کروی با ترکیب کوارتز که گاه ترکیباتی از رس را نیز نشان می‌دهند، همراه با بلورهای اسمکتیت کروی با بزرگنمایی ۲۰ μm، (b) لخته‌های نیمه زاویه‌دار اسمکتیت و بلورهای Lepispher کریستوبالیت با بزرگنمایی ۱۰ μm، (c-d) بلورهای کروی تا نیمه کروی و مرفولوژی ورقه‌ای اسمکتیت به همراه مرفولوژی رورشدی و Lepispher کریستوبالیت و (e) نمودار طیف سنجی EDX بر روی کوارتز و اسمکتیت سدیم.

Fig. 5. SEM- EDX electron and spectroscopy imaging of samples B05 and B07, (a) Quartz lepispher crystals that show somewhen clay mineral, with smectite lepispher crystals with magnification 20 μm, (b) Semi angular Smectite and cristobalite lepispher crystals with magnification 10 μm, (c-d) Spherical to semicircular crystals and smectite sheet morphology with the morphology of cristobalite lepispher crystals, and (e) EDX spectroscopy graph on quartz and sodium smectite.

جدول ۲- نتایج عددی طیف سنجی EDX (درصد وزنی) بر روی ۱۲ نقطه.  
Table 2. Numerical results of EDX spectroscopy at 12 points.

	Kind	O	Na	Mg	Al	Si	Fe	K	Ca	Ti	Cl	Cu
		(wt%)										
B05- Spot 1	Qz	53.2	1.51	0.79	4.81	38.7	0.68	0.14	0.2			
B05- Spot 2	Qz+Clay	45.9	1.56	1.84	8.33	36	1.65	2.43	0.5	1.2	0.7	
B05- Spot 3	Qz+Clay	50	1.40	0.77	4.54	41.8	0.26	0.28	0.6			0.4
B05- Spot 4	Qz	52.2	1.11	0.70	2.31	43	0.42	0.26				
B05- Spot 1	Na-Sme	48.9	1.56	1.67	9.53	34.9	2.01	1.04	0.4			
B05- Spot2	Na-Sme	51.6	1.40	1.86	9.3	33.5	1.23	0.91	0.2			
B05- Spot 1	Na-Sme	48.4	7	1.09	11	28.9	0.46	0.68	2.5			
B05- Spot 2	Na-Sme	47.7	1.60	1.41	6.79	39.5	1.03	1	0.6		0.5	
B05- Spot 3	Na-Sme	50.8	1.93	1.70	7.01	35.7	1.05	0.98	0.4		0.4	
B06- Spot 1	Na-Sme	49.4	1.62	1.50	7.47	35.9	1.59	2.02	0.3	0.2		
B06 - Spot3	Na-Sme	53.3	1.48	1.71	9.56	30	1.34	2.07	0.3			0.3
B06 - Spot 1	Na-Sme	47.4	1.07	0.99	5.64	42.4	0.8	1.23	0.5			

### جذب آب

نتایج به دست آمده از جذب آب در نمونه‌های اولیه مربوط به معدن مؤمن آباد، نتایج قابل توجهی را نشان داده است. بنابراین تعداد ۸۶ نمونه از این منطقه مورد تعیین دقیق جذب آب قرار گرفته است. این نتایج در جدول ۳ و شکل ۶ ارائه شده است. بر اساس نمودار شکل ۵، درصد جذب آب از ابتدای ترانشه تا انتهای آن با عمقی حدود ۱۵ متر و همچنین در دیوها، تغییراتی را نشان می‌دهند. بدین صورت که از ابتدای ترانشه تا محل نمونه ۵۲ متوسط جذب آب حدود ۴۰۱، از نمونه ۵۳ تا انتهای ترانشه درصد جذب آب ۵۰۳ است. بررسی نمونه‌های چاهک نشان می‌دهد که تنها چاهک شماره BH-03 دارای جذب آب بیش از ۴۰۰ درصد بوده و بقیه درصد جذب آب کمتر از ۳۰۰ دارند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کمترین میزان جذب آب مربوط به نمونه‌های TR1-2M، TR1-39M و DPI-4M است. بیشترین میزان جذب آب مربوط به نمونه‌های TR1-3M، TR1-27M، TR1-68M و DPI-8M است. متوسط درصد جذب آب دیووی اصلی حدود ۴۴۰ که با توجه به مدت زمان طولانی از ایجاد آن کیفیت مناسبی ندارد و دیووی کوچک ابتدای ترانشه دارای جذب آب ۵۴۰ است. مطالعات جدید نشان می‌دهند که در مناطق بنتونیتی به علت شستشوی عناصر، کیفیت بنتونیت‌ها در زون‌های عمیق‌تر بیشتر می‌شود (Özdamar et al., 2014)، بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به سطحی بودن برداشت در منطقه، احتمال افزایش جذب آب در اعماق بیشتر وجود دارد.

نتایج جذب آب به دست آمده از معادن سناجان، تیغاب، دهشک، خوشحال، مرتضی نژاد، شیرازی، قله گل کن، همراه با دو نمونه انتخابی دیگر از معدن مؤمن آباد در عمق بیشتر از ۱۵ متری در جدول ۵ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهند که دو محدوده معدنی دهشک در فاصله ۲ کیلومتری جنوب خاور شهر دهشک در شهرستان قائن، با شماره نمونه B151 با جذب آب ۶۸۰ و معدن قله گل کن در ۳۲ کیلومتری غرب شهرستان فردوس با شماره نمونه B142 با جذب آب ۳۴۲، نتایج جذب آب قابل قبولی در بین

معادن بنتونیتی در زون بنتونیت خاور ایران و منطقه فردوس- سرایان تا سربیشه (حدود ۳۰۰ کیلومتر) دارد. با توجه به عامل مهم جذب آب بنتونیت‌ها در صنعت گندله‌سازی (جذب آب بالای ۶۰۰) و نوع سدیمی آنها، به نظر می‌رسد که از این سه محدوده معدنی، به ترتیب دو معدن دهشک و مؤمن آباد از نظر جذب آب مناسب برای صنعت گندله‌سازی هستند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه کانی‌شناسی و تجزیه جذب آب در بنتونیت‌های معدن مؤمن آباد و برخی معادن زون بنتونیتی خاور ایران از منطقه فردوس- سرایان تا سربیشه به منظور بررسی کاربرد در صنعت گندله‌سازی، پرداخته شده است.

مطالعات کانی‌شناسی بر روی نمونه‌های معدن مؤمن آباد در این پژوهش شامل تجزیه‌های پراش پرتو ایکس، تصویربرداری الکترونی بر روی کلوخه بنتونیتی و پودر میکرونیزه و طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکنش انرژی است. نتایج پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که کریستوبالیت و اسمکتیت به عنوان کانی‌های اصلی و کم بودن مقدار کانی‌های شکل‌دار مانند سیلیس به عنوان کانی‌های فرعی می‌توانند زمینه را برای کاربرد بهتر در صنعت گندله آهن ایجاد کند. تصویربرداری الکترونی نشان می‌دهد که بنتونیت‌های منطقه، غالباً رس‌های اسمکتیتی هستند که مرفولوژی ورقه‌ای موج‌دار و لبه‌های ناهموار با رورشدی به نسبت کمتر کریستوبالیت دارند که تأکیدی بر نتیجه بند قبل است. ذره‌های صفحه‌ای بنتونیت، انبوهه‌هایی را باظاهری لخته شده و به صورت کروی و زاویه‌دار با بافت دانه‌ذرتی را نشان می‌دهند. بر اساس مطالعات طیف سنجی پرتو ایکس پراکنش انرژی بنتونیت‌های منطقه از نوع مونت‌موریلونیت‌های سدیمی هستند که این نوع بنتونیت‌ها قابلیت تورم و جذب آب بالایی دارند و مطابق با نوع بنتونیت کاربردی در صنعت گندله‌سازی هستند.

آزمون‌های جذب آب بر روی ۸۸ نمونه از معدن مؤمن آباد (۷۴ نمونه از ترانشه، ۱۱ نمونه از دیو و ۳ نمونه از چاهک) و ۱۶ نمونه از

نهشته‌های بنتونیتی با افزایش عمق به علت مسائل زمین شناسی و نحوه تشکیل کانسار در محیط‌های دیاژنتیک و دریاچه‌ای - لاگونی افزایش پیدا می‌کند و اینکه میزان جذب آب با عمق رابطه مستقیم دارد و هرچه عمق نمونه‌برداری بیشتر شود این جذب افزایش پیدا می‌کند، توجیه می‌شود. بنابراین معدن مؤمن آباد مناسب به منظور کاربرد در گندله سازی سنگ آهن است. در مطالعه سایر معادن مانند دهشک، سناجان، تیغاب، قله‌گل‌کن، خوشحال، ابراهیمی، مرتضی‌نژاد و شیرازی و مؤمن آباد، معدن مؤمن آباد بر اساس مطالعات دقیق جذب آب و کانی‌شناسی و همچنین معدن دهشک بر اساس مطالعات جذب آب، نسبت به سایر معادن زون بنتونیتی خاور ایران، ویژگی جذب آب قابل قبول و کاربردی در صنعت گندله سازی سنگ آهن را دارند.

سایر معادن به منظور مقایسه و معرفی بهترین پتانسیل کاربردی انجام شده است. این آزمون‌ها نشان می‌دهند که بنتونیت‌های معدن مؤمن آباد علی‌رغم ماهیت سدیمی اسمکتیت‌های ورقه‌ای و قابلیت جذب آب و تورم بالای آنها به علت ارتفاع کم برداشت نمونه در ترانشه در عمق ۱۵ متری پس از کنار زدن سطوح هوازده و مدت زمان طولانی از حفر ترانشه، متوسط کل درصد جذب آب در ترانشه حدود ۴۰۱ درصد را نشان می‌دهد، بنابراین این نمونه‌ها در این اعماق و کمتر ویژگی جذب آب مناسب به جهت استفاده در صنعت گندله‌سازی (جذب آب حدود ۶۰۰ درصد) را ندارد. در نمونه‌های با عمق بیشتر از ۱۵ متر، درصد جذب آب میزان بالای ۶۰۰ تا ۸۰۰ را نشان می‌دهد که مناسب به جهت استفاده در صنعت گندله سازی هستند. نتایج فوق با توجه به محرز بودن این موضوع که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

جدول ۳- نتایج جذب آب ۸۶ نمونه از معدن مؤمن آباد.

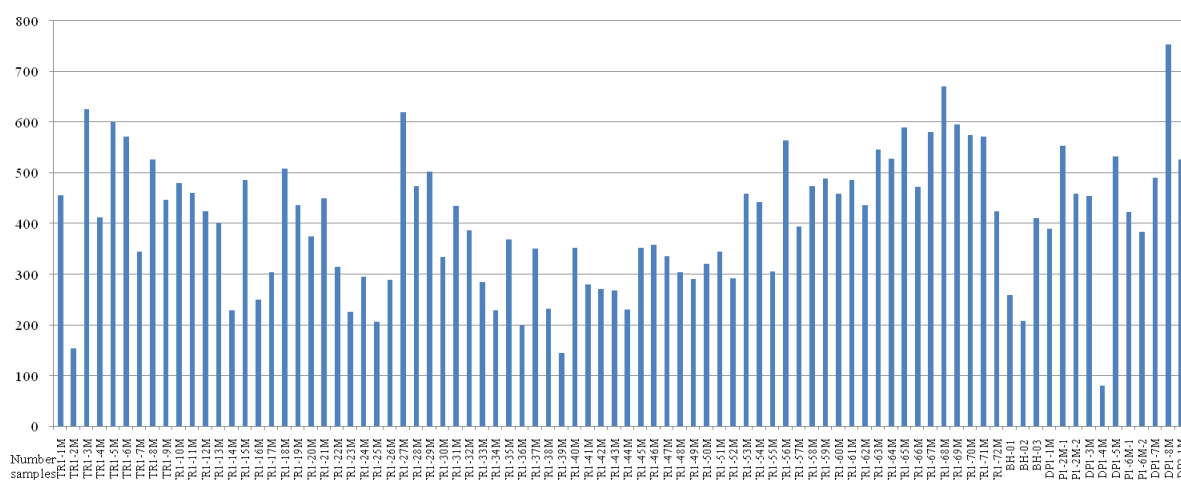
Table 3. Water absorption results of 86 samples from Momen-Abad mine.

Row	Sample Number	Water Absorption	Row	Sample Number	Water Absorption	Row	Sample Number	Water Absorption	Row	Sample Number	Water Absorption	Row	Sample Number	Water Absorption
1	TR1-1M	456	21	TR1-21M	450	41	TR1-23M	226	61	TR1-59M	488	81	DP1-4M	80
2	TR1-2M	154	22	TR1-22M	314	42	TR1-24M	294	62	TR1-60M	458	82	DP1-5M	532
3	TR1-3M	626	23	TR1-28M	474	43	TR1-25M	206	63	TR1-61M	486	83	DP1-6M	384
4	TR1-4M	412	24	TR1-29M	502	44	TR1-26M	288	64	TR1-62M	436	84	DP1-7M	490
5	TR1-5M	600	25	TR1-30M	334	45	TR1-27M	620	65	TR1-63M	546	85	DP1-8M	754
6	TR1-6M	572	26	TR1-31M	434	46	TR1-42M	270	66	TR1-64M	528	86	DP2-1M	526
7	TR1-7M	344	27	TR1-32M	386	47	TR1-43M	268	67	TR1-65M	590			
8	TR1-8M	526	28	TR1-33M	284	48	TR1-44M	230	68	TR1-66M	472			
9	TR1-9M	446	29	TR1-34M	228	49	TR1-45M	352	69	TR1-67M	580			
10	TR1-10M	480	30	TR1-35M	368	50	TR1-46M	358	70	TR1-68M	670			
11	TR1-11M	460	31	TR1-36M	198	51	TR1-47M	336	71	TR1-69M	596			
12	TR1-12M	424	32	TR1-37M	350	52	TR1-48M	304	72	TR1-70M	574			
13	TR1-13M	402	33	TR1-38M	232	53	TR1-49M	290	73	TR1-71M	572			
14	TR1-14M	228	34	TR1-39M	144	54	TR1-52M	292	74	TR1-72M	424			
15	TR1-15M	486	35	TR1-40M	352	55	TR1-53M	458	75	BH-01	258			
16	TR1-16M	250	36	TR1-41M	280	56	TR1-54M	442	76	BH-02	208			
17	TR1-17M	304	37	TR1-50M	320	57	TR1-55M	306	77	BH-03	410			
18	TR1-18M	508	38	TR1-51M	344	58	TR1-56M	564	78	DP1-1M	390			
19	TR1-19M	436	39	DP1-6M	422	59	TR1-57M	394	79	DP1-2M	458			
20	TR1-20M	374	40	DP1-2M	554	60	TR1-58M	474	80	DP1-3M	454			

جدول ۴- نتایج جذب آب ۱۸ نمونه از معادن مختلف.

Table 4. Water absorption results of 18 samples from different mines.

Sample Number	Mine Name	Water Absorption	Sample Number	Mine Name	Water Absorption	Sample Number	Mine Name	Water Absorption
B139	Sanajan	108	B153	Gholeh Gol Kon	228	B146	Shirazi	158
B140		182	B151	Deheshk	680	B147		146
B141	Khoshhal	78	B154	Tighab	148	B152	MortezaN ejad	190
B143		110	B156		94	B155		130
B149		126	B144	Ebrahimi	182	B148	Momen Abad	626
B142	Gholeh Gol Kon	324	B145		198	B150		446



شکل ۶- نمودار درصد جذب آب نمونه‌ها در معدن مومن آباد.

Fig. 6. Diagram of water absorption percentages of Momen-Abad mine.

## منابع

- Allo, W.A., Murray, H.H., 2004. Mineralogy, chemistry and potential applications of a white bentonite in San Juan Province, Argentina. *Applied Clay Science* 25, 237–243.
- Camp, V., Griffis, R., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos* 15, 221-239.
- Christidis, G., Dunham, A.C., 1997. Compositional variations in smectites. Part II: Alteration of acidic precursors, a case study from Milos Island, Greece. *Clay Minerals* 32, 253-270.
- Christidis, G.E., 2001. Formation and growth of smectites in bentonites: A case study from Kimolos Island, Aegean, Greece. *Clays and Clay Minerals* 4, 204-215.
- Christidis, G.E., Huff, W. D., 2009. Geological aspects and genesis of bentonites. *Elements* 5, 93-98.
- Christidis, G.E., Scott, P.W., Marcopoulos, T., 1995. Origin of the bentonite deposits of Eastern Milos, Aegean, Greece: geological, mineralogical and geochemical evidence. *Clays and Clay Minerals* 43, 63-77.
- Devaney, F.D., 2019. Process of Preparing Indurated Pallets of Iron Ore Fines. US Patent 2, 172-173.
- Eisenhour, D.D., Brown, R.K., 2009. Bentonite and Its Impact on Modern Life 5, 83-88.
- Falode, O.A., Ehinola, O.A., Nebeife, P.C., 2008. Evaluation of local bentonitic clay as oil well drilling fluids in Nigeria. *Applied Clay Science* 39, 19–27.
- Górniak, K., Szydlak, T., Gawel, A., Klimek, A., Tomczyk, A., Motyka, J., Bahranowski, K., 2017. Smectite, silica- and zeolites-bearing rawmaterials (HliníknadHronom bentonite, Slovakia) - A new approach using integrated petrographic and mineralogical studies. *Applied Clay Science* 141, 180-191.
- Górniak, K., Szydlak, T., Gawel, A., Klimek, A., Tomczyk, A., Sulikowski, B., Olejniczak, Z., Motyka, J., Serwicka, E.M., Bahranowski, K., 2016. Commercial bentonite from the Kopernica deposit (Tertiary, Slovakia): a petrographic and mineralogical approach. *Clay Minerals* 51, 97-122.
- Grim R., Güven N., 1978. Bentonite: geology, mineralogy, properties and uses. *Developments in Sedimentology* 24, New York, Elsevier, p 256.
- Hejazi, M., Ghorbani, M., 1994. Bentonites–Zeolite. Geological Survey of Iran, p. 128 (in Persian).
- Hosterman J.W., Patterson S.H., 1992. Bentonite and fuller's earth resources of the United States, US Geological Survey Professional Paper 1522, p. 45.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafarodi, A., 2015. Satellite data processing for identification of sodic and calcic bentonite deposits in eastern Iran. *Advanced Applied Geology* 21, 84-96 (in Persian).
- Karimpour, M.H., Rashed, A.A., Erteza, H., 2003. Mineralogical Composition, Geochemistry and Application of Deh Mohamad, ChahKem 1, ChahKem 2 and ShirGasht (Khorasan and Yazd). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 82, 15-27, (in Persian).
- Kavoshgaran, 2015. Exploration report and evaluation of geological reserve of Momen-Abad area, 1:100000 scal, (in Persian).
- Modabberi, S., Namayandeh, A., López-Galindo, A., Setti, M., 2018. Genesis of the Eastern Iranian bentonite deposits. *Applied Clay Science* 168, 56-67.

- Modabberi, S., Namayandeh, A., López-Galindo, A., Viseras, C., Setti, M., Ranjbaran, M., 2015. Characterization of Iranian bentonites to be used as pharmaceutical materials. *Applied Clay Science* 116, 193-201.
- Mohamed, O.A., Shalabi, M.E.H., El-Hussiny, N.A., Khedr, M.H., Mostafa, F., 2003. The role of normal and activated bentonite on the pelletization of barite iron ore concentrate and the quality of pellets, *Powder Thchnology* 130, 277-282.
- Murray, H.H., 1991. Overview-clay mineral application. *Applied Clay Science* 5, 379-395.
- Murray, H.H., 2002. Traditional and new application for Kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science* 17, 207-221.
- Murray, H.H., 2007. *Applied Clay Mineralogy, Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays*. Developments in Clay Science, 2, Elsevier, USA, p 180.
- Murry, H., 2007. *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing, and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays*, Elsevier's Science and Technology Right Department in Oxford, UK.
- Namayandeh, A.R., Modabberi, S., Ranjbaran, M., 2012. Mineralogy and geochemistry of Chah-Golestanbentonite mine, Sarayan, Iran. *Advanced Applied Geology* 5, 69-79 (in Persian).
- Namayandeh, A.R., Modabberi, S., Ranjbaran, M., 2015. Mineralogical and geochemical studies to determine genesis of Khalkuh bentonite mine, Ferdows, Southern Khorasan. *Petrology* 21, 19-34 (in Persian).
- Özdamar, S., Ece, Ö. I., Uz, B., Boyluf, F., Ercan, H. Ü., Yanik, G., 2014. Element mobility during the formation of the Uzunisa-Ordu bentonite, NE Turkey, and potential applications. *Clay Minerals* 49, 609-633.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review, *AAPG Bulletin* 52, 1229-1258.
- Takagi, T., Koh, S.M., Song, M.S., Itoh, M., Mogi, K., 2005. Geology and properties of the Kawasaki and Dobuyama bentonite deposits of Zao region in northeastern Japan. *Clay Minerals* 40, 333-350.
- Tarabi, S., 2018. The Study of Petrology, Geochemistry and Alteration of Momen Abad Area (North-East of Sarbisheh) with Reference to the Formation of Bentonite Deposits and their Industrial Application, Unpublished P.hD. thesis. Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, (in Persian).
- Tarabi, S., Emami, M.H., Modabberi, S., 2017. Study of diagenetic and hydrothermal alteration in stratigraphy section of Momen-abad (North- East of Sarbisheh, Birjand) and its role of them in non-metallic mineralization. 4th YES Congress.
- Tarabi, S., Modabberi, S. Emami, M.H., Sheykh Zakariai, S.J., 2020a. The Study of Diagenetic and Hydrothermal Alteration in the Volcanic Sequence of Momen-abad (North- East of Sarbisheh, Birjand) and Their Roles in Non-metallic Mineralization. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences* 29, 163-174 (in Persian).
- Tarabi, S., Modabberi, S. Emami, M.H., Sheykh Zakariai, S.J., 2020b. Mineralogical and Rheological Characterization of Bentonites in Momen Abad Area, Eastern Iranian Bentonite Zone, to be Used in Drilling Industry. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 28, 83-94 (in persian).
- Tirrul, R., Bell, I., Griffis, R., Camp, V., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 94, 134-150.
- Yalçın, H., Gümüşer, G., 2000. Mineralogical and geochemical characteristics of Late Cretaceous bentonite deposits of the Kelkit Valley Region, Northern Turkey. *Clay Minerals* 35, 807-825.
- Yildiz, A., Kuscu, M., 2004. Origin of the Basoren (Kutahya, W Turkey) bentonite deposits. *Clay Minerals* 39, 219-231.
- Yildiz, A., Kuscu, M., 2007. Mineralogy, chemistry and physical properties of bentonites from Başören, Kütahya, W. Anatolia, Turkey. *Clay Minerals* 42,