

مقدمه مترجم

یکی از بهترین دلایل استفاده از مصالح ساختمانی جهانی و شناخته شده در سطح بین المللی ، بهره مندی از آخرین تحقیقات و نتایج انجام شده در همه جای دنیا است. یکی از این محصولات که بطور گسترده در دنیا علی الخصوص اروپا و امریکا مورد استفاده قرار می گیرد، بتن هوادار اتوکلاو شده است. با توجه به گستردگی شبکه های اطلاع رسانی در دنیای امروزی هر مصرف کننده ای می تواند سوای اطلاعاتی که یک تولید کننده ارائه می نماید هر لحظه به آخرین یافته ها و تحقیقات انجام شده در خصوص این نوع مواد (من جمله مزایا یا معایب) دسترسی داشته باشد. این در حالی است که این مهم برای محصولاتی که با حداقل دانش بومی و فقط در ایران تولید شده و دارای استاندارد بین المللی نمی باشند بهیچ وجه امکان پذیر نیست.

مقاله پیش رو با عنوان بتن هوادار اتوکلاو شده ایمن برای انسان و دوستدار محیط زیست ترجمه مقاله ای

به همین نام **Autoclaved aerated concrete – safe for human and environmentally friendly** بوده که توسط دو

مرکز معتبر علمی اروپا

¹ The Institute of Ceramics and Building Materials, Concrete Research Center CEBET in Warsaw

² University of Science and Technology, Faculty of Materials Science and Ceramics, Cathedral of Building Materials, Cracov

تهیه شده است.

در این مقاله با تعیین میزان عناصر سنگین و اندازه گیری رادیواکتیویته طبیعی بتن هوادار اتوکلاو شده نشان داده می شود که این محصول کاملا سازگار با طبیعت و انسان میباشد.

بدیهی است تحقیقات اینچنینی می تواند به شناخت بیشتر سازندگان از مصالح موجود کمک کرده و پارامتر تاثیرگذاری در انتخاب مصالح مورد استفاده باشد. که البته این مهم برای محصولاتی بومی با کاربرد مشابه نظیر انواع بلوک های سفالی و فوم بتنی و غیره ارائه شده اند وجود ندارد.



بتن هوادار اتوکلاو شده -

ایمن برای انسان (مصالح ساختمانی مطمئن) و دوستدار محیط زیست

چکیده:

بتن هوادار اتوکلاو شده، یکی از مصالح ساختمانی عایق است که به طور گسترده ای در صنعت ساخت و ساز به کار برده میشود. ساختمان های ساخته شده از AAC، با الزامات اساسی در دستورالعمل فرآورده های ساختمانی EEC/106/۸۹ مطابقت دارد. الزامات مربوط به بهداشت، سلامت و محیط زیست بسیار ضروری در نظر گرفته شده است. در مطالعات ترکیبات معدنی AAC، آزمایشات میزان pH، غلظت و قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و گوگرد، ثبات فلزات سنگین و غلظت اتم های رادیواکتیو طبیعی (K-۴۰، Ra-۲۲۶، Th-۲۲۸) نشان داد که AAC مصالح ساختمانی ایمن بوده و شرایط بهداشتی مطلوبی را برای ساکنین ساختمان فراهم می کند و ثابت گردید که برای محیط زیست نیز بی ضرر است.

کلمات کلیدی: بتن هوادار اتوکلاو شده، عملکرد لیچینگ، حفاظت زیست محیطی، رادیواکتیویته، مواد ایمن

۱- مقدمه

تکنولوژی کنونی تولید بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) اساساً عاری از هرگونه ضایعات بوده، همراه با راندمان انرژی بالا و مصرف کم مواد خام در مقایسه با فرمول تولید دیگر مصالح ساختمانی معاصر است [۱، ۲]. در سراسر فرایند تولید AAC هیچ ماده خطرناکی که بتواند برای موجودات زنده و محیط زیست مضر باشد، تولید نمی شود. محصولات AAC غیر قابل احتراق، دارای مقاومت نسبتاً بالا در چگالی پایین و عایق حرارتی بالا بوده که سبب راندمان بالای انرژی ساختمانهای AAC و مقرون به صرفه بودن آن گشته که کاهش مصرف انرژی توسط سیستم های گرمایشی و امکان برقراری هوای سالم در محیط داخلی را فراهم میکند [۲].

(با وجود خواص مطلوب اثبات شده ی بتن هوادار اتوکلاو شده، در این مقاله قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و یونهای گوگرد،



بتن هوادار اتوکلاو شده و سلامت آن برای انسان و محیط زیست بررسی شده است. ضمناً ادعای ایمن بودن AAC از عناصر رادیواکتیو راستی آزمایی شده است.

در مطالعات ارائه شده در این مقاله، بتن هوادار اتوکلاو شده که با استفاده از انواع تکنولوژی ها و فرمول ها (AAC خاکستر بادی و ماسه) در کشور لهستان تولید شده، مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، غلظت و قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و سولفات ها در AAC، همراه با ثبات فلزات سنگین و آزمون های رادیواکتیویته طبیعی تعیین شده است. مطالعات شامل تست های جرم حجمی و مقاومت در شرایط خشک و بعد از قرار گرفتن در معرض رطوبت $(2 \pm 6)\%$ ، و همچنین ترکیب فاز AAC است. تاکنون غلظت و قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و سولفات ها در AAC تنها در موارد نادر تست شده است، رادیواکتیویته غیر طبیعی به طور منظم از سال ۱۹۸۰ توسط موسسه تحقیقات ساختمان، مرکز تحقیقات و توسعه سرامیک ها و مصالح ساختمانی CEBET در ورشو (از ۱ ژانویه ۲۰۱۱ - موسسه سرامیک ها و مصالح ساختمانی ICiMB، مرکز تحقیقات بتن CEBET) و آزمایشگاه مرکزی، برای حفاظت رادیولوژی، مورد بررسی قرار گرفته است.

الزامات بهداشت و سلامت برای شرایط محیط داخلی و هم ترازای سطح و به طور خاص برای رادیواکتیویته طبیعی، در حال حاضر به صورت اساسی در دو مفاد قانونی در لهستان اجباری ذکر شده: قانون ساخت و ساز و قانون اتمی، همراه با مقررات ضمیمه و پیشنهاد شورا، سالیانه، در میانگین غلظت رادون در ساختمان ها و مقررات شورای وزیران ۲ ژانویه ۲۰۰۷ (لهستانی مجله قوانین، Dz.U. 2007 هیچ. ۴ مورد ۲۹). روش پژوهش مربوطه و ضوابط ارزیابی در دستورالعمل های موسسه تحقیقات ساختمان بیان شده است (ITB 234/20031 و 98/۳۵۲).

در سال ۱۹۹۸، در یک مطالعه انجام شده توسط مرکز تحقیقات و توسعه بتن CEBET، ثابت شد ضایعات تولیدی AAC هیچ اثر منفی بر محیط زیست طبیعی ندارد و برای استفاده بیشتر مطلوب است، به عنوان مثال برای پوشش لایه های زباله ها در مکان های دفن زباله شهری، و یا یکنواخت کردن خاک زیر سطح جاده ها (زیر سطحی) به کار می رود.

۲- انواع و خواص بتن هوادار

مطالعات بیان شده، بر روی نمونه هایی از بتن هوادار اتوکلاو شده با کلاس دانسیته ۶۰۰، تولید شده با تکنولوژی روز تولید AAC و مواد خام کنونی به کار برده شده در لهستان، انجام شده است. جدول شماره ۱ مشخصات انواع مختلفی از خواص فیزیکی بتن تست شده را ارائه می دهد (چگالی بتن هوادار و مقاومت فشاری در شرایط خشک و بعد از قرار گرفتن در معرض آب $(2 \pm 6)\%$).

با

بتن



توجه به استاندارد لهستانی قابل اجرا PN-EN آزمایش شده است [۵,۴]

۳- آزمایش ترکیب فاز

ترکیب فاز در آزمون های اشعه ایکس و آنالیز حرارتی دیفرانسیل / گرماسنجی (TGA / DTA) مورد بررسی قرار گرفته است. الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه های AAC خاکستر بادی و ماسه، به ترتیب در شکل ۱ و ۲ ارائه شده است. اندازه های نمونه در سمت راست نمودارها نشان داده شده اند.

تمام نمونه های بتن هوادار اتوکلاوی تست شده، ترکیب فاز مشابه با بتن هوادار معمولی داشت. آزمایش ها حضور توپرموریت، C-S-H (کلسیم سیلیکات هیدرات)، کلسیت و همچنین کوارتز واکنش نداده و انیدریت را تایید کرد. بعلاوه در نمونه های بتن هوادار خاکستربادی، مولایت و هیدروگارت یافت شد. هیچ گونه گچ یا انیدریتی در نمونه های بتن هوادار تهیه شده با خاکستربادی شناسایی نشد.

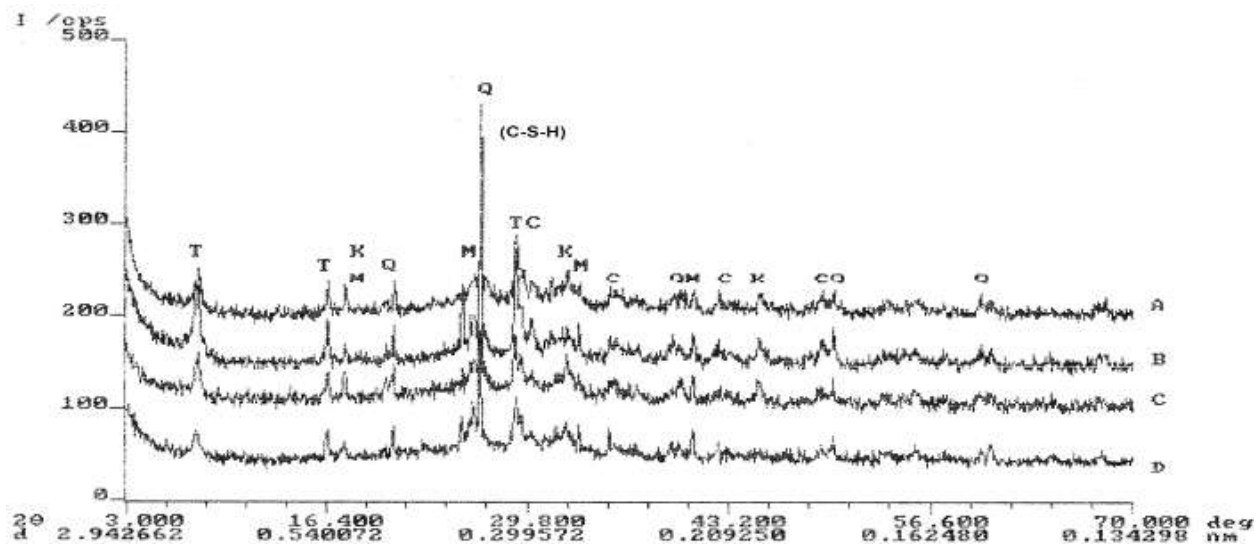
در نمونه های G و E (AAC ماسه ای) هیچ گونه گچی مشاهده نشد، باوجود این واقعیت که، گچ به فرمول AAC اضافه شده است. به همین ترتیب، علی رغم افزودن انیدریت در فرآیند تولید AAC، تنها مقدار ناچیزی انیدریت در نمونه F شناسایی شده است. ترکیبات فاز نمونه های تست شده متفاوت ظاهر شد.

جدول ۱. تعیین، مشخصات فیزیکی و خواص انواع بتن هوادار تست شده

نمونه	نوع تکنولوژی	سولفات افزوده	چگالی* [kg/m ³]	استحکام** [MPa]	رطوبت [%]	استحکام*** [MPa]
A	(خاکستر+آهک) PGS	گچ طبیعی	۶۰۰	۵,۹	۵,۲	۵,۴
B	(خاکستر+سیمان.آهک) Unipol	گچ طبیعی	۵۷۵	۴,۵	۴,۹	۳,۹
C	(خاکستر+آهک) PGS	گچ بی گوگرد	۵۷۰	۵,۶	۵,۱	۴,۷
D	(خاکستر+سیمان.آهک) Unipol	گچ بدون گوگرد	۵۷۵	۷,۵	۵,۴	۶,۵
E	(ماسه+سیمان.آهک) Unipol	گچ طبیعی	۵۸۰	۵,۵	۵	۴,۳
F	(ماسه+سیمان.آهک) Unipol	انیدریت	۶۳۰	۵,۴	۴,۹	۴,۴
G	(ماسه+سیمان.آهک) SW	گچ بدون گوگرد	۵۸۰	۳,۸	۴,۵	۳,۳
H	(ماسه+سیمان.آهک) Unipol	گچ آزاد	۵۷۰	۴,۱	۴,۹	۳,۴

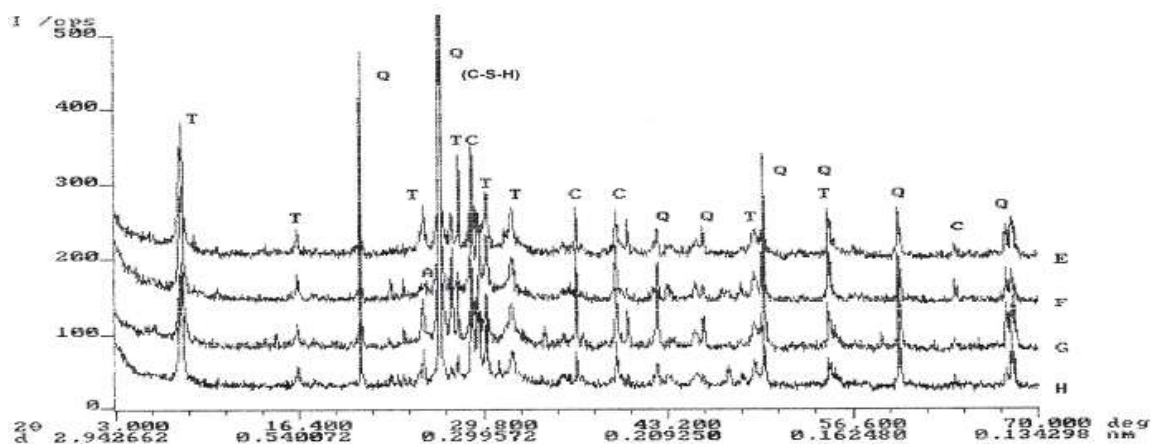


*-دانشیه در شرایط خشک،**-مقاومت فشاری در شرایط خشک،***-مقاومت فشاری در شرایط خیس



شکل ۱. الگوهای منحنی از بتن هوادار اتوکلاو شده خاکستر بادی. T- توپرموریت, Q- کوارتز, C- کلسیت, M, مولیته K-

هیدروگارت (کاتولیت), C-S-H--C-S-H فاز



شکل ۲. الگوهای منحنی بتن هوادار اتوکلاو شده ماسه ای. T- توپرموریت, Q- کوارتز, C- کلسیت, A انیدریت, C--C-S-H

فاز S-H

جدول ۲ به ترتیب بررسی اثرات حرارتی بر اساس آنالیز منحنی حرارتی نمونه های تست شده ی بتن هوادار اتوکلاو شده ی



خاکستر بادی و ماسه را ارائه میدهد.

جدول ۲. تاثیرات حرارتی بر روی AAC خاکستر بادی و ماسه ای

نوع اثر	نمونه AAC							
	A	B	C	D	E	F	G	H
گرماگیر آبزدایی از توپرموریت و سایر کلسیم سیلیکات های هیدراته [C]	125	160	130	130	230	230	130	130
کاهش جرم [%]	6.5	7.6	6.6	6.7	5.6	6.8	4.7	6.1
گرما ده احتراق حاصل از کربن باقیمانده از خاکستر بادی [C]	510	530	520	510	---	---	---	---
گرماگیر تجزیه کلسیت [C]	730	---	---	815	750	780	720	750
کاهش جرم غلظت کلسیت	0.4	---	---	0.4	0.5	2.3	0.8	3.15
گرما ده تغییر سیلیکات کلسیم C-S-HI به ولاستونیت [C] (بدون کاهش جرم)	850	850	850	890	850	780	780	780
مجموع جرم کم شده	13.9	16.5	13.3	14	11.1	15.1	8	12.3

آنالیز دمایی برای نمونه AAC هدایت شده به سیستم Paulik & Paulik بوسیله پارامترهای عملیات زیر:

DTG حساسیت- ۱/۱۰، DTA حساسیت- ۱/۵، TG حساسیت- 200 mg، برنامه گرمایش- 10°/min، طول زمان

آزمون- ۱۰۰ دقیقه، جرم نمونه- 750 mg

۴- تعیین میزان رادیواکتیویته طبیعی

میزان رادیواکتیویته طبیعی مطابق با دستورالعمل ITB شماره ۲۳۴/2003 تست شده است. (دستورالعمل در حال حاضر با

مقررات شماره 455/2010 جایگزین شده است [۶]). نتایج تست در جدول ۳ ارائه شده است.

مصالح ساختمانی بر اساس دو شاخص فعالیت معین آزمایشگاهی: f_1 و f_2 ارزیابی شده است. شاخص - f_1 نشان دهنده قرارگرفتن

تمام بدن در معرض تابش گاما با منشا هسته های رادیواکتیو: پتاسیم K-40، رادیوم Ra-226 و توریم Th-228 موجود در مواد

ساختمانی است.



شاخص f_2 نشان دهنده غلظت Ra-226، ایزوتوپ منشا رادون، قرار گرفتن در معرض تابش مستقیم اشعه آلفا Rn-222 و مشتقات آن است.

جدول ۳. نتایج اندازه گیری رادیواکتیویته طبیعی*

نمونه AAC	نوع تکنولوژی	غلظت			شاخص فعالیت	
		پتاسیم [Bq/Kg]	رادیوم [Bq/Kg]	توریوم [Bq/Kg]	f_1	f_2 [Bq/Kg]
A	(خاکستر+آهک, گچ طبیعی) PGS	612.06 ±88.85	90.05 ±16.6	67.74 ±9.03	0.83 ±0.08	90.05 ±16.6
B	(خاکستر+سیمان, آهک, گچ طبیعی) Unipol	529.77 ±83.68	51.85 ±14.68	63.76 ±8.92	0.66 ±0.07	51.85 ±14.68
C	(خاکستر+آهک, گچ بی گوگرد) PGS	584.63 ±86.69	81.46 ±16.02	65.1 ±8.85	0.78 ±0.08	81.46 ±16.02
D	(خاکستر+سیمان, آهک, گچ بی گوگرد) PGS	509.5 ±83.73	85.36 ±16.47	70.93 ±9.26	0.8 ±0.08	85.36 ±16.47
E	(ماسه+سیمان, آهک, گچ طبیعی) Unipol	267.23 ±52.97	11.33 ±8.36	11.63 ±4.31	0.18 ±0.04	11.33 ±8.36
F	(ماسه+سیمان, آهک, اندریت) Unipol	255.5 ±53	10.93 ±8.47	11.12 ±4.35	0.17 ±0.04	10.93 ±8.47
G	(ماسه+سیمان, آهک, گچ بی گوگرد) SW	176.24 ±46.06	11.16 ±7.87	8.75 ±3.93	0.13 ±0.04	11.16 ±7.87
H	(ماسه+سیمان, آهک, گچ آزاد) Unipol	278.15 ±55.47	15.55 ±8.93	11.73 ±4.47	0.2 ±0.04	15.55 ±8.93

*- آزمونها در آنالیزگر MAZAR انجام شدند. در مجموع خطای اندازه گیری دارای سطح اطمینان ۹۵٪ است.

عناصر رادیواکتیو طبیعی در تمام مصالح ساختمانی معدنی موجودند. از لحاظ تابش زمینه یونیزه ای طبیعی، عناصر رادیواکتیو زیر که برجسته ترین آنها پتاسیم K-40 و عناصر اورانیوم- رادیوم و سری های توریوم میباشند. محصولات واپاشی رادیوم برای سلامت انسان بسیار مضر عنوان شده است.

شاخص f_1 برای بتن هوادار خاکستربادی 0.66-0.83 برآورد شده است: حد مجاز بالایی ۱/۲ است، به این معنی که میزان شاخص f_1 برای AAC خاکستربادی خیلی مشابه آجر و سرامیک ($f_1 = 0.54-0.85$) است که معمولا به عنوان امن ترین مصالح ساختمانی شناخته شده اند. نتیجه گیری مشابهی از آنالیز شاخص f_2 لحاظ شده، که حدود 52-90 بکرل بر کیلوگرم برآورد شده است. با ۲۴۰ بکرل بر کیلوگرم به عنوان حد مجاز بالایی برای مواد استفاده شده در ساختمان های طراحی شده برای انسان و حیوانات است.



شاخص f_1 و f_2 به ترتیب برای بتن هوادار ماسه ای به طور قابل توجهی پایین تر و برابر 0.13-0.20 و 11-16 بکرل بر کیلوگرم است .

بر اساس اندازه گیری رادیواکتیویته طبیعی بتن هوادار تست شده، غلظت های عناصر رادیواکتیو طبیعی در پایین تر از حد مجاز مشخص شده در مقررات شورای وزیران (۲۰۰۷ ژانویه ۲ لهستانی مجله قوانین، Dz.U. 2007 شماره ۴ آیم ۲۹) تایید شده بود. بنابراین بتن هوادار می تواند از نظر پارامترهای رادیواکتیویته طبیعی ایمن و سالم در نظر گرفته شود.

۵- میزان pH

میزان pH در نمونه AAC تست شده در جدول ۴ نشان داده شده است .

نمونه AAC	pH
A	11.27
B	11.21
C	11.47
D	11.44
E	11.32
F	10.42
G	11.46
H	11.50

میزان pH بتن هوادار خاکستریادی و ماسه ای به ترتیب 11.21-11.47 و ۱۱/۴۶-۱۰/۴۲ برآورد شده بود.

میزان pH معمولی برای بتن متراکم استفاده شده در فنداسیون، و سایر موارد ۱۳-۱۲ است . میزان بالاتر pH بتن متراکم را می توان به محتوای هیدروکسید قلیایی و کلسیم نسبت داد. میزان pH بتن هوادار اتوکلاو شده در مقررات شورای وزیران محیط زیست از ۱۳ می ۲۰۰۴ تحت شرایطی که ضایعات مضر طبقه بندی شده، بسیار پایین تر و در مقادیر محدود (۳/۰-۱۱/۵) تعریف شده است. توجه داشته باشید که پایداری بتن هوادار در سازه های بنایی با وجود مقدار پایینتر pH، حفظ شده است [۷].

۶- غلظت فلزات سنگین و گوگرد در بتن هوادار

غلظت فلزات سنگین و گوگرد با روش های آزمون زیر تعیین شده است :



- نمونه های AAC برای آزمایش طبق استاندارد در نظر گرفته شده اند [۸ .]
- حجم کل فلزات سنگین در محلول تعیین طبق استاندارد تعیین شده اند [9].
- حجم کل گوگرد در محلول با آنالیز طیف سنجی IR طبق استاندارد تعیین شده است [10]؛
- غلظت در محلول و پساب ۱۰ عنصر زیر تست شده: Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr, Ba, Sr, As, Hg.
- جدول ۵ حجم فلزات سنگین و کل گوگرد در نمونه های AAC تست شده را نشان میدهد.

جدول ۵. حجم فلزات سنگین [mg/kg] و کل گوگرد [وزن %] در نمونه های AAC

Element*	AAC specimens							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	Content, mg/kg							
As	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cr	82	84	73	89	15	10	15	13
Zn	233	209	264	130	44	27	67	96
Cd	2.6	1.8	2.2	1.6	0.6	0.6	0.4	0.6
Pb	9	6	40	29	5	7	3	4
Ni	63	58	62	94	8	6	9	9
Cu	69	60	60	71	7	5	3	13
Sr	498	439	441	521	81	48	44	128
Ba	706	619	707	638	25	23	21	111
Hg	0.86	0.52	0.53	0.34	0.18	0.16	0.25	0.17
S**, % weight	0.95	1.01	0.95	1.04	1.11	0.21	1.33	0.22

*غلظت عناصر در محلول ها و پساب ها در نشر اتمی پلاسما با طیف سنج پلاسما ۴۰۰ تست شدند ، که غلظت ها در حدود 10^{-7} تا 10^{-8} اندازه گیری شده است (0.1-1ppb) یعنی در راستای استانداردهای حفاظت از محیط زیست و فاضلاب آبی ثبت شده است. غلظت یون جیوه در محلول ها و پساب های تست شده به وسیله طیف سنج جرمی ICP-MS، اندازه گیری ها در 10^{-12} ppt صورت گرفته است.

** آزمون به روش مقدماتی تست IR

مقررات قانونی لهستانی در حال حاضر هیچ محدودیتی در محدوده غلظت فلزات سنگین و گوگرد در مواد ساخت و ساز تحمیل نمی کند. کروم (VI) تنها استثنا است - حد بالایی برای غلظت کروم (VI) در سیمان و آماده سازی سیمان شده است در دستورالعمل 2003/53/EC از پارلمان اروپا و شورا ۱۸ ژوئن ۲۰۰۳ تعریف شده است. بر این اساس، اگر سیمان و مشتقات سیمان حاوی بیش از ۰/۰۰۰۲٪ (۲ میلی گرم بر کیلوگرم) کروم VI محلول که از کل وزن خشک سیمان باشد، امکان ندارد مورد



استفاده قرار گیرد و یا در بازار قرار داده شود. در لهستان، میزان کروم (VI) توسط اداره مقررات وزارت اقتصاد و کار از ۵ ژوئیه ۲۰۰۴ محدود شده و نیز تولید و قرار دادن در بازار و یا استفاده از مواد خطرناک و آماده سازی هر گونه محصولات حاوی آنها ممنوع شده است (مجله لهستانی قوانین، DZ. U. شماره 168/2004).

در تمام آزمون ها قابلیت لیچینگ کروم (VI) محلول در آب، غلظت کروم (VI) کمتر از ۲ میلی گرم بر کیلوگرم برای تمام نمونه های AAC مشخص شد، که سازگار با معیار های مندرج در مقررات وزارت اقتصاد و کار از ۵ جولای ۲۰۰۴ است. (جدول ۶)

۷- فلزات سنگین و قابلیت لیچینگ یون های سولفات از سیمان هوادار

عملکرد لیچینگ فلزات سنگین و گوگرد از نمونه های AAC با روش های آزمون زیر تست شده است:

- قابلیت لیچینگ فلز سنگین در پساب به دست آمده توسط لیچینگ ۱ قسمت مصالح ساختمانی به ۱۰ قسمت آب، مطابق با استاندارد تست شده است [۱۱].
- قابلیت لیچینگ یون های سولفات در پساب توسط لیچینگ ۱ قسمت مصالح ساختمانی به ۱۰ قسمت آب، مطابق با استاندارد تست شده [12]، که با استفاده از تجزیه وزنی بر اساس [۱۳]، توسط رسوب یون SO_4^{2-} در پساب با کمک محلول کلرید باریم انجام شده است.

در جدول ۶ قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و گوگرد از نمونه های بتن هوادار، همراه با مقادیر حد مجاز برای قابلیت لیچینگ زباله جمع آوری شده در مکان های دفن زباله با اشاره به عناصر خاص نشان داده شده است.

با توجه به میزان وجود فلزات سنگین و گوگرد در مصالح ساختمانی، در حال حاضر هیچ مقررات قانونی در مورد تاثیر مصالح ساختمانی بر محیط زیست طبیعی وجود ندارد.

جدول ۷ غلظت های فلزات سنگین در پساب نمونه های بتن هوادار، و حداکثر غلظت برای ضایعات وارد شده به آب یا خاک را نشان می دهد.

جدول ۸ ضرایب ثابت فلزات سنگین در AAC را ارائه می دهد.

نتایج آزمون نشان داده شده در جدول ۶ و ۷ با مقررات قانونی اجباری در لهستان تجزیه و تحلیل شده است :

- ضوابط و روش های تصویب شده دفن زباله در انواع محل های دفن زباله معین بر اساس مقررات وزارت اقتصاد و کار از

۷ سپتامبر ۲۰۰۵



تولید کننده سیستمهای بتن هوادار اتوکلاو شده و انواع ملاتهای خشک تحت لیسانس هس آلمان و لاهتی فنلاند

این شرایط هنگامیکه ورود ضایعات به آب و یا خاک، و به ویژه در ورود مواد خطرناک به آب - مطابق نظر وزارت محیط زیست از 2006 ژوئیه ۲۴، تحت کنترل قرار گیرد قابل انجام می شود (جدول ۷).

ضوابط تصویب شده برای دفن زباله در انواع محل های دفن زباله معین بر اساس نتایج حاصل از تست های آزمایشگاهی انجام شده در یک آزمایشگاه معتبر که برای انجام تست پارامترهای ذکر شده در فایل های پیوست ۲-۵ مقررات وزارت اقتصاد و کار از ۲۰۰۵ سپتامبر ۷، با استفاده از روش های آزمون مشخص در شورای تصمیم گیری 2003/33/EC از دسامبر ۱۹ ۲۰۰۲ در نظر گرفته شده است. قابلیت لیچینگ اجزای خطرناک از مصالح و مواد ساختمانی تست شده بوسیله یک آزمایشگاه معتبر با روش های آزمون ذکر شده در شورای تصمیم گیری 2003/33/EC بررسی شده است.

جدول ۶. قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و گوگرد از بتن هوادار [mg/kg]

Element	AAC specimens								Leachability limit values***		
	A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
	Element content in mg/kg of dry mass										
As	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	2	25
Cr	0.54	0.68	0.53	0.81	0.82	0.32	0.62	<0.2	0.5	10	70
Zn	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	4	50	200
Cd	0.03	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.02	<0.02	<0.02	0.04	1	5
Pb	0.33	0.25	0.31	0.69	0.70	0.28	0.56	0.20	0.5	10	50
Ni	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.4	10	40
Cu	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2	50	100
Sr	13.34	23.70	6.32	13.30	36.60	1.04	9.98	0.81	-	-	-
Ba	0.18	0.06	0.09	0.21	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	20	100	300
Hg*	0.015	0.010	0.017	0.014	0.011	0.014	0.015	0.014	0.01	0.2	2
SO ₄ ^{2-***}	12060	12190	8586	9744	13680	1873	14060	2043	1000	20000	50000

*تپیف سنج ICP-MS ** تجزیه وزنی *** حد مجاز قابلیت لیچینگ برای ضایعات انباشته در محل دفن مطابق با مقررات

وزارت کار و اقتصاد در ۷ سپتامبر ۲۰۰۵: X- طبیعی: Y- غیر از خطرناک و طبیعی: Z- خطرناک

جدول ۷. غلظت فلزات سنگین در پساب بتن هوادار [mg/dm³]



Element	AAC specimens								Upper limit values for the concentration*
	A	B	C	D	E	F	G	H	
	Element concentration in effluent, mg/dm ³								
As	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1
Cr	0.054	0.068	0.053	0.081	0.082	0.032	0.062	<0.02	0.5
Zn	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	2
Cd	0.003	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<0.002	<0.002	0.2
Pb	0.033	0.025	0.031	0.069	0.070	0.028	0.056	0.020	0.5
Ni	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.5
Cu	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.5
Sr	1.334	2.370	0.632	1.330	3.660	0.104	0.998	0.081	-
Ba	0.018	0.006	0.009	0.021	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	3
Hg	0.0015	0.0010	0.0017	0.0014	0.0011	0.0014	0.0015	0.0014	0.05
SO ₄ ²⁻	1206	1219	858	974	1368	187	1406	204	500
pH	11.27	11.21	11.62	11.44	11.32	10.42	11.75	10.50	6.5 – 12.5

*حد مجاز آلودگی بوسیله مواد خطرناک برای آب (مقرر شده از ۲۰۰۸، ۰۱، ۰۱) بر طبق مقررات وزارت محیط زیست

۲۴ جولای ۲۰۰۶.

جدول ۸. ثبات فلزات سنگین در بتن هوادار اتوکلاو شده

Element	AAC specimens							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	Heavy metal immobilization in aerated concrete, %							
As	>95	>95	>95	>95	>95	>95	>95	>95
Cr	99.3	99.2	99.3	99.1	94.5	97	95.9	98.5
Zn	99.9	99.9	99.9	99.8	99.5	99.3	99.7	99.8
Cd	98.8	98.9	>99.1	>96.7	>98.7	96.7	>95	>96.7
Pb	96.3	95.8	99.2	97.6	88.3	96.0	81.3	95.0
Ni	>99.7	>99.7	>99.7	>99.8	>97.5	>96.7	>97.8	>97.8
Cu	>99.7	>99.7	>99.7	>99.8	>97.1	>96.0	>93.3	>98.5
Sr	97.3	94.6	97.0	97.4	92.9	97.8	77.3	99.4
Ba	99.9	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8	99.8	99.9
Hg	98.3	98.1	96.8	95.9	93.9	91.3	94.0	91.8

توبرمیت (C₅S₆H_{5.5}) و C-S-H هر دو مسئول ضرایب ثبات فلزات سنگین سازگار، در نظر گرفته شده اند. ترکیبات ساختاری

ذکر شده ی فوق به میزان زیادی قادر به ثبات فلزات سنگین هستند [۱۴، ۱۵، ۱۶]، و علاوه بر این، مقداری از یون های سولفات را

می توان در فاز C-S-H گنجاند [۷].



۸- خلاصه

- تکنولوژی تولید بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) فرایندی بدون ضایعات است، که در آن ضایعات کیک سبز، یعنی مواد اضافی بعد از برش، همراه با ضایعات اتوکلاو (در صورت وجود) به چرخه تولید هدایت می شوند. هیچ ماده ای که برای موجودات زنده و یا محیط زیست خطرناک باشد، در کل فرایند تولید AAC تولید نمیشود. در نتیجه میتوان بیان کرد که AAC با شیوه ای دوستدار محیط زیست تولید شده است.
- مطالعات AAC ارائه شده در این مقاله به تکنولوژی و ترکیب اولیه مواد مورد استفاده در تولید AAC در لهستان اشاره دارد. برخلاف باور عموم، ثابت کرد که AAC به هیچ وجه برای سلامت انسان و محیط زیست طبیعی خطرناک نیست، و به ویژه:
 - مطالعات نشان داد که ضایعات (بقایا) بتن هوادار تست شده، مطابق با معیارهای تصویب شده برای دفن زباله خنثای دیگر مواد خطرناک است. نتایج تست به دست آمده (از قابلیت لیچینگ فلزات سنگین و گوگرد کل) با معیارهای تعریف شده در مقررات وزارت اقتصاد و کار از ۷ سپتامبر ۲۰۰۵ مقایسه شده است.
 - غلظت های فلزات سنگین در نمونه های پساب AAC در حد مجاز آلودگی آب با مواد خطرناک است (تنظیم وزارت محیط زیست در ۲۴ ژوئیه ۲۰۰۶) و غلظت فلزات سنگین در تمام نمونه های AAC زیر حد مجاز قانونی یافت شد. اگرچه، غلظت بیش از حد یون های SO_4^{2-} در فاضلاب AAC پیدا شده بود، با این حال، باید تاکید شود که ایمنی AAC به دلیل ترکیب فازهاست، که بخشی از یون های سولفات می تواند در فاز C-S-H گنجانیده شود. علاوه بر این، این یون ها اساساً منسوب به حلالیت انیدریت هستند، و انیدریت برای محیط زیست بی خطر در نظر گرفته شده است.
 - بتن هوادار اتوکلاو شده نشان داده بود که یک پتانسیل بالا برای ثبات فلز سنگین دارد (جدول ۸)، به ویژه توبرمیت، فاز C-S-H و هیدروگارت ها. در اکثر نمونه های آنالیز شده، بیش از ۹۰٪ از یونهای فلزی سنگین در بتن هوادار ثابت یافت شد.
 - نمونه های AAC تست شده ترکیب فاز معمولی به نمایش گذاشت. توبرمیت و فاز C-S-H محصولات اصلی از هیدراتاسیون، همراه با هیدروگارت ها در AAC خاکستربادی را نشان داد. همچنین AAC حاوی کوارتز و واکنش نداده



تولید کننده سیستمهای بتن هوادار اتوکلاو شده و انواع ملاتهای خشک تحت لیسانس **هس آلمان** و **لاهنی فنلاند**

- مولایت نیز بود. هیچ گونه گچی در نمونه مشاهده نشد و تنها یک نمونه تک حاوی مقادیر ناچیزی از انیدریت بود.
- تست های رادیواکتیویته طبیعی از نمونه های AAC نتایج دیگر مطالعات رادیواکتیویته سیستماتیک را تایید کرد ، و هر دو نوع بتن هوادار تولید شده در لهستان، AAC تولید شده با خاکستر بادی و ماسه، صرف نظر از ترکیب مواد خام، مطابق با الزامات مورد نیاز برای حد مجاز غلظت عناصر رادیواکتیو در برنامه های کاربردی ساخت و ساز، در هم تراز سطح و در سازه های زیر زمینی، به عنوان مثال دریایی و راه آهن و تونل های جاده بود. غلظت عناصر رادیواکتیو طبیعی در بتن هوادار (AAC خاکستر بادی و شن و ماسه)، و غلظت رادون در ساختمان های AAC به وضوح نشان می دهد که بتن هوادار از نقطه نظر حفاظت رادیولوژیکی ایمن و سالم است.
- به طور خلاصه، جدا از مشخصات فنی مطلوب، ایمنی بتن هوادار اتوکلاو شده برای انسان و محیط زیست طبیعی ثابت شده است. این ایمنی را می توان با نتایج حاصل از مطالعات مورد اشاره در این مقاله و با دیگر تست های انجام شده در انواع مراکز تحقیقاتی اثبات کرد.

