

به نام خدا

دفترچه جزئیات اجرایی (دیوار)
مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
(ویرایش پنجم)

تهیه کننده: پریشاد رزمی

پژوهشگر دکتری معماری (حوزه انرژی)

کارشناس ارشد انرژی، استاندارد مصالح و محیط زیست

نظام مهندسی ساختمان استان اصفهان

فهرست

۴	 مقدمه
۵	 ۱- مشخصات لایه‌های جداره‌های مورد تحلیل
۷	 ۲- جزئیات کف مجاور خاک
۷	 ۱-۲- سناریو اول: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (بدون اصلاح پل حرارتی)
۸	 ۲-۲- سناریو دوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (با اصلاح پل حرارتی)
۱۱	 ۳-۲- سناریو سوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ (بدون اصلاح پل حرارتی)
۱۲	 ۴-۲- سناریو چهارم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ (با اصلاح پل حرارتی)
۱۵	 ۵-۲- سناریو پنجم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ (بدون اصلاح پل حرارتی)
۱۵	 ۶-۲- سناریو ششم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ (با اصلاح پل حرارتی)
۱۸	 ۷-۲- سناریو هفتم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ (بدون اصلاح پل حرارتی)
۱۸	 ۸-۲- سناریو هشتم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ (با اصلاح پل حرارتی)
۲۰	 ۹-۲- نتیجه گیری
۲۱	 ۳- جزئیات کف مجاور هوا
۲۱	 ۱-۳- سناریو اول: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (بدون اصلاح پل حرارتی)
۲۲	 ۲-۳- سناریو دوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (با اصلاح پل حرارتی)
۲۳	 ۳-۳- سناریو سوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)
۲۴	 ۴-۳- سناریو چهارم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ بدون ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)
۲۴	 ۵-۳- سناریو پنجم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)
۲۵	 ۶-۳- سناریو ششم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ بدون ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)
۲۶	 ۷-۳- سناریو هفتم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ بدون ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)
۲۷	 ۸-۳- سناریو هشتم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)
۲۷	 ۹-۳- سناریو نهم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ بدون ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)
۲۸	 ۱۰-۳- سناریو دهم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)
۲۹	 ۱۱-۳- سناریو یازدهم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)
۲۹	 ۱۲-۳- جمع‌بندی عملکرد حرارتی دیوار در حالت کف مجاور هوا
۳۲	 ۴- تحلیل نهایی و جمع‌بندی بر اساس همه سناریوها

در روزهایی که این دفترچه نگاشته می‌شود، سرزمین ما روزگار آسانی را پشت سر نمی‌گذارد. شرایط منطقه و دغدغه‌هایی که بر زندگی مردم سایه انداخته، دل بسیاری از ما را سنگین کرده است. در چنین زمان‌هایی، شاید هرکس از خود بپرسد که سهم او در ساختن آینده چیست؛ سهم او در حفظ آنچه به این سرزمین تعلق دارد چیست.

برای یک مهندس ساختمان، پاسخ به این پرسش در دل دانش، دقت و مسئولیتی نهفته است که در طراحی و اجرای ساختمان‌ها به کار می‌گیرد. انرژی، که امروز یکی از ارزشمندترین سرمایه‌های هر کشور به شمار می‌آید، در ساختمان‌ها بیش از هر جای دیگر مصرف می‌شود. هر دیوار، هر اتصال و هر جزئیات اجرایی می‌تواند یا راهی برای هدررفت این سرمایه باشد، یا گامی کوچک در مسیر حفظ آن. این مجموعه، تلاشی فنی برای بررسی پل‌های حرارتی در پوسته ساختمان و بهبود عملکرد انرژی آن‌هاست؛ اما برای من، تنها یک گزارش مهندسی نیست. این کار را می‌توان نذر کوچکی برای سعادت ایران دانست؛ تلاشی علمی و صادقانه برای آنکه مهندسان این سرزمین بتوانند با آگاهی بیشتر، ساختمان‌هایی کارآمدتر، پایدارتر و مسئولانه‌تر طراحی کنند.

هدف از تدوین این دفترچه، بیش از هر چیز **رشد و تعالی مهندسان صنعت ساختمان** و گسترش نگاه دقیق‌تر به موضوع مدیریت و **حفظ انرژی در ساختمان‌ها** است. اگر این مطالب بتواند حتی گامی کوچک در جهت ارتقای دانش فنی، بهبود جزئیات اجرایی و کاهش اتلاف انرژی در ساختمان‌های کشور بردارد، هدف آن محقق شده است.

امید است که دانش مهندسی، دقت علمی و تعهد حرفه‌ای، بتواند سهمی هرچند کوچک در آبادانی این سرزمین و حفظ سرمایه‌های ارزشمند آن داشته باشد.

پیشاد رزمی

فروردین ۱۴۰۵

با توجه به سهم قابل توجه بخش ساختمان در مصرف انرژی کشور و نقش تعیین کننده پوسته خارجی در کنترل اتلاف حرارت، بررسی عملکرد حرارتی جداره‌ها و به‌ویژه محل اتصالات آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در بسیاری از ساختمان‌ها، علی‌رغم رعایت حداقل الزامات مربوط به ضریب انتقال حرارت دیوار، وجود پل‌های حرارتی در محل اتصال دیوار به سقف و کف موجب افزایش اتلاف انرژی، کاهش دمای سطح داخلی، ایجاد خطر تعریق و در نهایت افت کیفیت آسایش حرارتی می‌گردد.

از این رو، تحلیل دوبعدی انتقال حرارت در محل دیتیل‌های اجرایی، روشی دقیق و علمی برای ارزیابی رفتار واقعی پوسته ساختمان محسوب می‌شود و می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری صحیح در انتخاب مصالح و اصلاح جزئیات اجرایی قرار گیرد.

در نرم‌افزار **THERM**، مقاطع دیوار به همراه اتصال سقف و کف مدل‌سازی گردید تا اثر پل‌های حرارتی و همچنین میزان مقاومت حرارتی جدار خارجی ساختمان مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. در این تحلیل، جزئیات اجرایی اتصالات به منظور بررسی انتقال حرارت دوبعدی و شناسایی نقاط ضعف حرارتی مورد توجه ویژه قرار گرفته است.

شایان ذکر است کلیه بلوک‌های مورد استفاده در این شبیه‌سازی می‌بایست دارای مقاومت حرارتی مشخص و مستند بر اساس گواهی فنی معتبر باشند. استفاده از **بلوک‌های فاقد گواهی‌نامه فنی معتبر**، از نظر صحت نتایج تحلیل و انطباق با الزامات مقررات ملی ساختمان قابل پذیرش نمی‌باشد.

۱- مشخصات لایه‌های جداره‌های مورد تحلیل

در تمامی دیتیل‌های مورد بررسی، ترکیب لایه‌های بام، کف و نمای خارجی ثابت در نظر گرفته شده و تنها پارامتر متغیر در تحلیل، مقاومت حرارتی لایه بلوک دیوار می‌باشد. بدین ترتیب امکان ارزیابی دقیق اثر تغییر نوع بلوک بر عملکرد حرارتی کل جدار فراهم گردیده است.

ساختمان مورد مطالعه دو طبقه بوده و تحلیل در شرایط پایدار حرارتی انجام شده است. (این شرایط تحلیلی برای هر تعداد طبقه ایی قابل ارایه است)

۱-۱- ترکیب لایه‌های دیوار خارجی (از بیرون به داخل)

مقاومت حرارتی	ضخامت (mm)	λ ضریب انتقال حرارت (W/mK)	متریال	جدار
0.03	25	—	آجرنما	دیوار
—	50	1.3	ملات ماسه سیمان	
متغیر	150	متغیر	بلوک	
—	30	1.1	گچ و خاک	

تنها لایه متغیر در تحلیل، بلوک دیواری با ضخامت ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد که مقاومت حرارتی آن بر اساس نوع بلوک و گواهی فنی معتبر تعیین گردیده است.

۱-۲- ترکیب لایه‌های بام (از بالا به پایین)

مقاومت حرارتی	ضخامت (mm)	λ ضریب انتقال حرارت (W/mK)	متریال	جدار
—	25	1.4	موزاییک	بام
—	20	1.3	ملات ماسه سیمان	
—	15	0.23	ایزوگام	
—	35	1.3	ملات ماسه سیمان	
—	70	1.05	پوکه معدنی	
—	50	0.039	عایق حرارتی	
0.35	400	—	سازه سقف	
0.14	100	—	هوای محبوس	
—	25	1.1	کناف	

۳-۱- سقف میانی طبقات

مقاومت حرارتی	ضخامت (mm)	λ ضریب انتقال حرارت (W/mK)	متریال	جدار
—	25	1.4	سرامیک	سقف میانی
—	30	1.3	ملات ماسه سیمان	
—	100	1.05	پوکه معدنی	
0.35	400	—	سازه سقف	
0.14	100	—	هوای محبوس	
—	25	1.1	کناف	

۴-۱- کف روی خاک

مقاومت حرارتی	ضخامت	(W/mK) ضریب انتقال حرارت	متریال	جدار
—	15	1.4	سرامیک	کف
—	35	1.3	ملات ماسه سیمان	
—	100	1.05	پوکه معدنی	
—	50	0.039	عایق حرارتی	
—	190	2	بتن کف	

۵-۱- کف مجاور هوای آزاد

مقاومت حرارتی	ضخامت	(W/mK) ضریب انتقال حرارت	متریال	جدار
—	15	1.4	سرامیک	کف
—	30	1.3	ملات ماسه سیمان	
—	100	1.05	پوکه معدنی	
—	50	0.039	عایق حرارتی	
0.35	400	—	سازه سقف	
—	25	1.1	کناف	

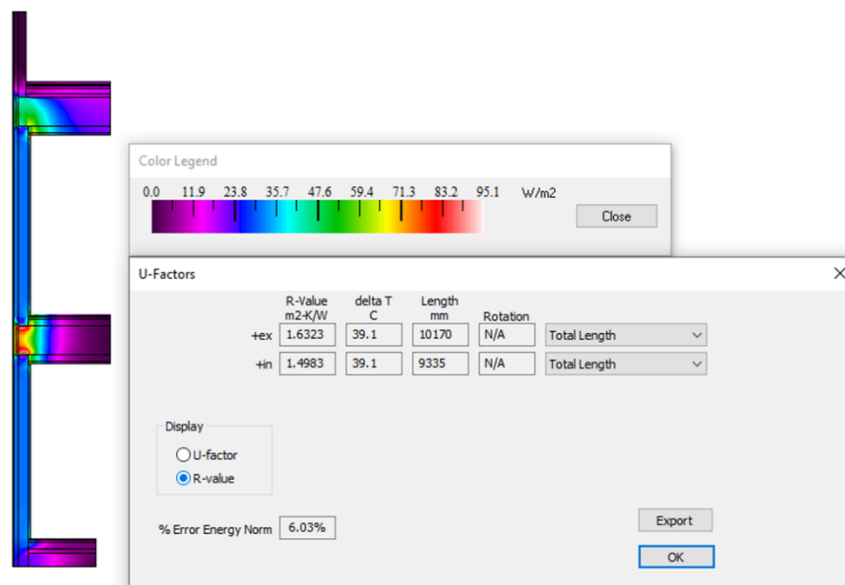
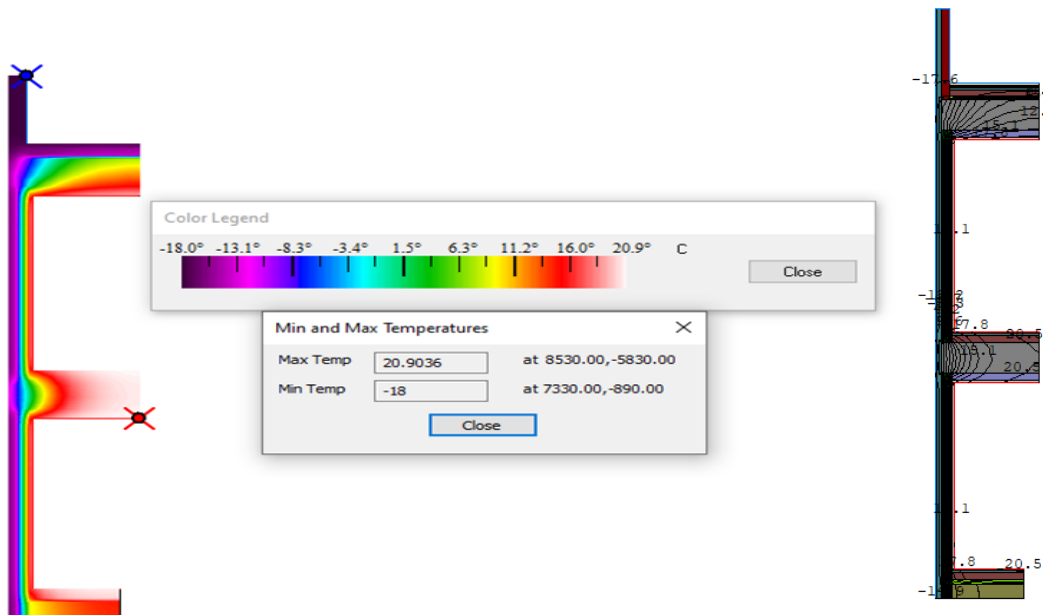
با توجه به ثابت بودن لایه‌های بام و کف در تمامی سناریوها و اجرای ۵ سانتی متر عایق حرارتی بر روی آن‌ها، اثر تغییر نوع بلوک دیواری به صورت خالص بر ضریب انتقال حرارت کل دیوار (U-value) و همچنین بر میزان پل حرارتی در محل اتصال دیوار به سقف و کف قابل استخراج می‌باشد. این روش تحلیل امکان مقایسه علمی و دقیق بین انواع بلوک‌های دارای گواهی فنی معتبر را فراهم می‌نماید و نتایج آن می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری در انتخاب مصالح بهینه از منظر انرژی باشد.

۲- جزئیات کف مجاور خاک

۲-۱- سناریو اول: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (بدون اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو، از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 1 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ بدون اعمال تمهیدات پوشش پل حرارتی در محل اتصالات استفاده شده است.

مقاومت بلوک بدون اندود	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی	۱.۱
------------------------	---	------------------------------------	-----



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.5 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۲-۲- سناریو دوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (با اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 1 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است، با این تفاوت که در محل اتصال دیوار به سقف و کف، پل حرارتی با استفاده از لایه عایق حرارتی اصلاح گردیده است.

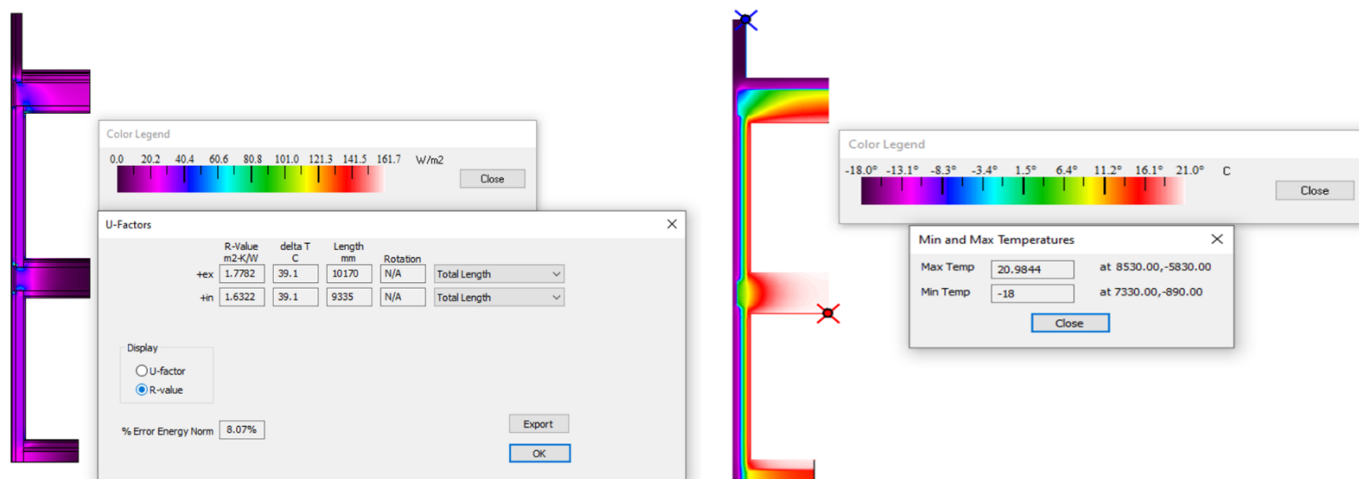
مشخصات عایق اصلاح پل حرارتی:

- ضخامت عایق: ۳ سانتی متر
- ضریب هدایت حرارتی 0.047 W/mK (λ):

مقاومت حرارتی لایه عایق مورد استفاده:

$$R_{\text{insulation}} = \frac{0.03}{0.047} \approx 0.63 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

۱.۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	---	---	-----------------------------



با در نظر گرفتن اصلاح پل حرارتی، مقاومت مؤثر جدار خارجی دیوار به:

$$R_{\text{total}} \approx 1.63 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

افزایش یافته است.

در این حالت، هرچند نوع بلوک نسبت به سناریو اول تغییری نکرده است، اما با اصلاح دیتیل اجرایی و پوشش محل قطع عایق در اتصال سقف و کف:

- مقدار شار حرارتی در ناحیه اتصال کاهش یافته است.
- ضریب انتقال حرارت خطی (Ψ -value) کاهش محسوسی نشان می دهد.
- توزیع دما در سطح داخلی یکنواخت تر شده است.

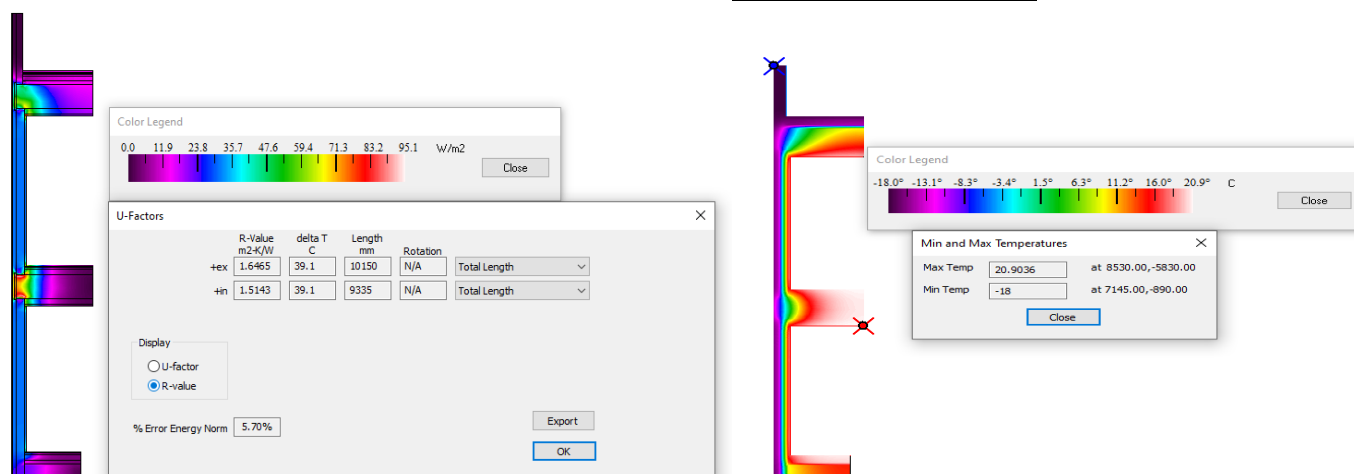
- ریسک تعریق سطحی کاهش یافته است.

نکته مهم آن است که افزایش مقاومت دیوار از ۱.۵ به ۱.۶۳ بدون تغییر در نوع بلوک، صرفاً با اصلاح صحیح دیتیل اجرایی حاصل شده است؛ که نشان‌دهنده اهمیت کنترل پل‌های حرارتی در عملکرد واقعی پوسته ساختمان می‌باشد.

نکته:

۱- در صورتیکه پل‌های حرارتی بدون پوشش عایق حرارتی در نظر گرفته شود و ضخامت عایق حرارتی سقف، به ۷ سانتی متر تغییر پیدا کند

مقاومت بلوک بدون اندود=	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی=	۱.۱
----------------------------	---	--	-----

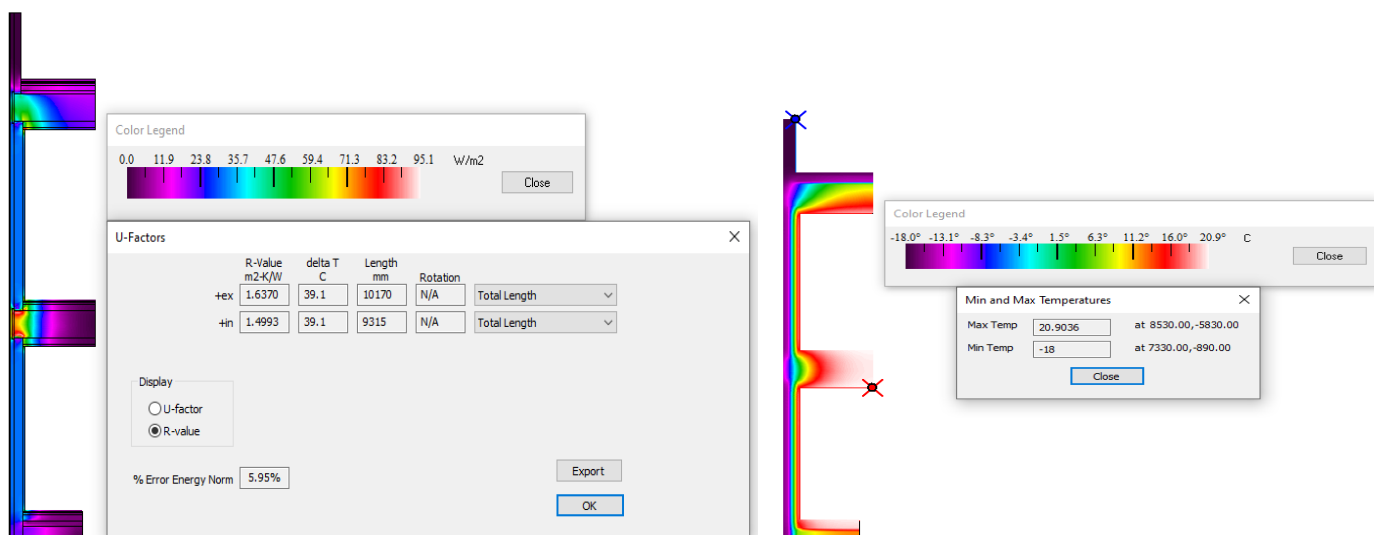


با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.51 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۲- در صورتیکه پل‌های حرارتی بدون پوشش عایق حرارتی در نظر گرفته شود و ضخامت عایق حرارتی کف، به ۷ سانتی متر تغییر پیدا کند

مقاومت بلوک بدون اندود=	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی=	۱.۱
----------------------------	---	--	-----

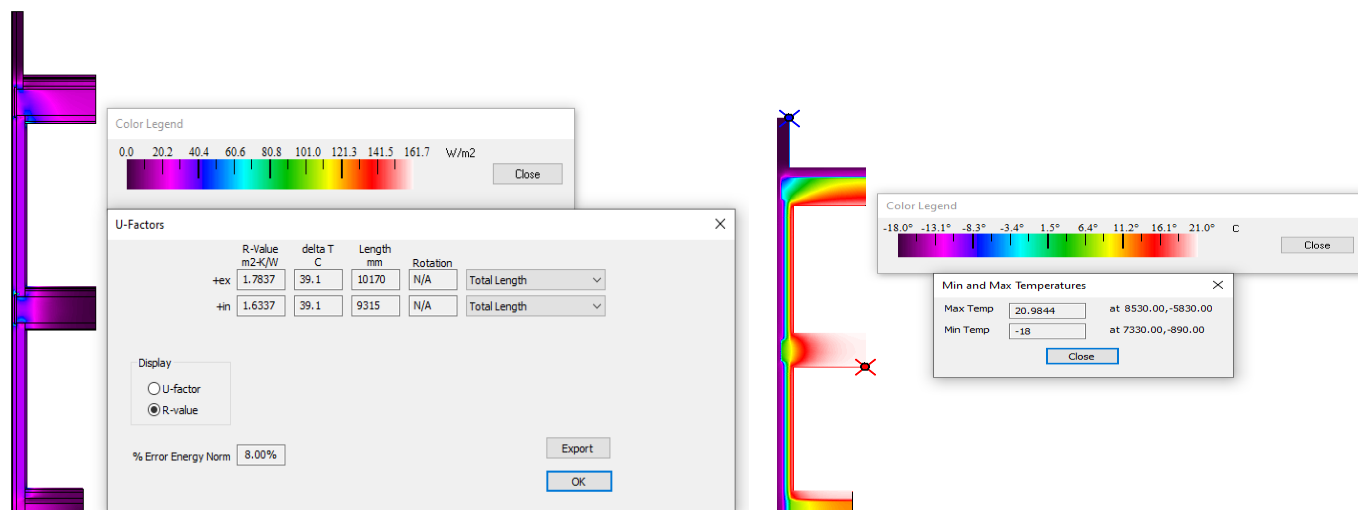


با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.5 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۳- در صورتیکه پل های حرارتی با پوشش عایق حرارتی در نظر گرفته شود و ضخامت عایق حرارتی کف، به ۷ سانتی متر تغییر پیدا کند

مقاومت بلوک بدون اندود =	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱.۱
--------------------------	---	--------------------------------------	-----



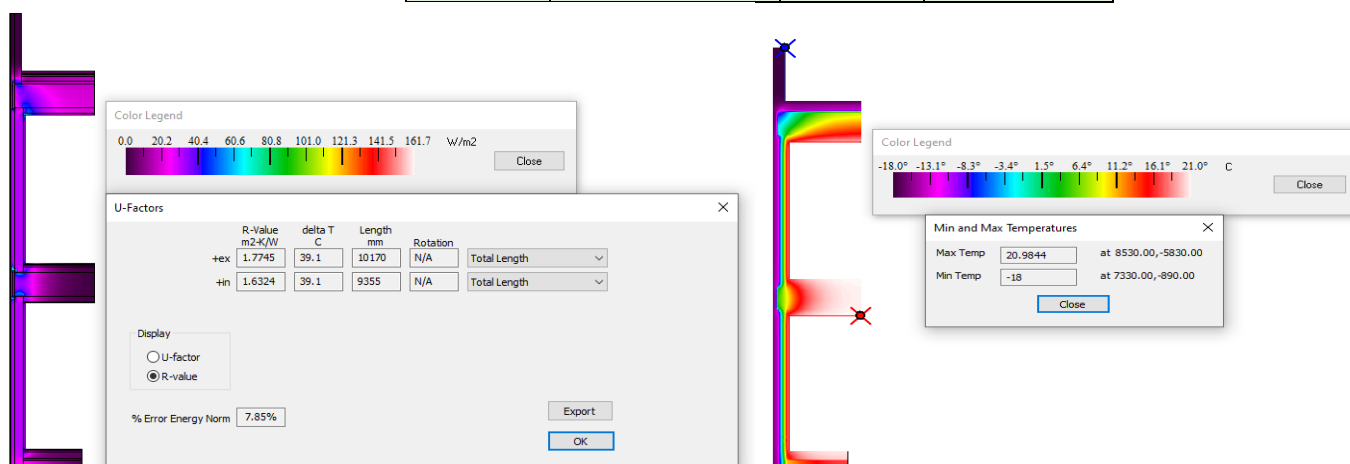
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.63 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۴- در صورتیکه پل های حرارتی بپوشش عایق حرارتی در نظر گرفته شود و ضخامت عایق حرارتی کف، به ۳ سانتی متر تغییر

پیدا کند

مقاومت بلوک بدون اندود =	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱.۱
-----------------------------	---	---	-----



با در نظر گرفتن سایر لایه های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.63 \text{ (m}^2\text{K/W) می باشد.}$$

نتیجه گیری:

بررسی حالات مختلف ضخامت عایق کف و بام

تحلیل های تکمیلی نشان می دهد که:

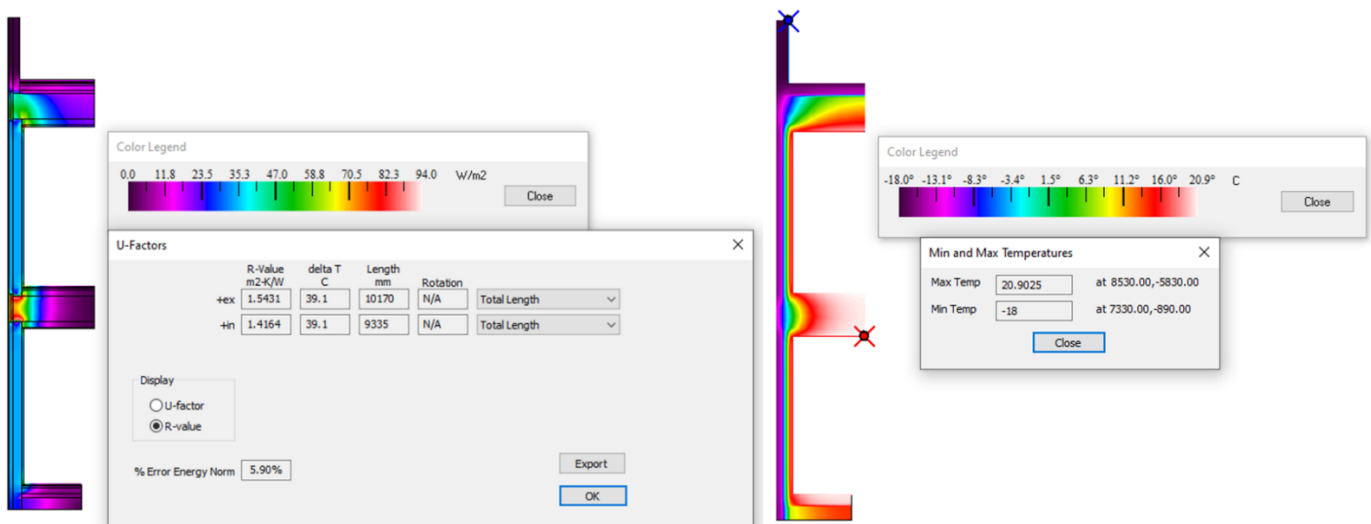
- افزایش ضخامت عایق کف یا بام، بدون اصلاح پل حرارتی، تأثیر ناچیزی بر مقاومت حرارتی مؤثر دیوار دارد.
- در مقابل، اصلاح صحیح پل حرارتی حتی با حداقل ضخامت عایق (۳ سانتی متر)، تأثیر تعیین کننده ای بر عملکرد حرارتی کل جدار خواهد داشت.
- در تمامی حالات اصلاح شده، مقدار:

$$R_{total} \approx 1.63 \text{ (m}^2\text{K/W) تقریباً ثابت باقی مانده است.}$$

۳-۲ - سناریو سوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ (بدون اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو، از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 0.9 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ بدون اعمال تمهیدات پوشش پل حرارتی در محل اتصالات استفاده شده است.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۹	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱
-----------------------------	-----	---	---



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.42 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۲-۴ - سناریو چهارم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ (با اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 0.9 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است، با این تفاوت که در محل اتصال دیوار به سقف و کف، پل حرارتی با استفاده از لایه عایق حرارتی اصلاح گردیده است.

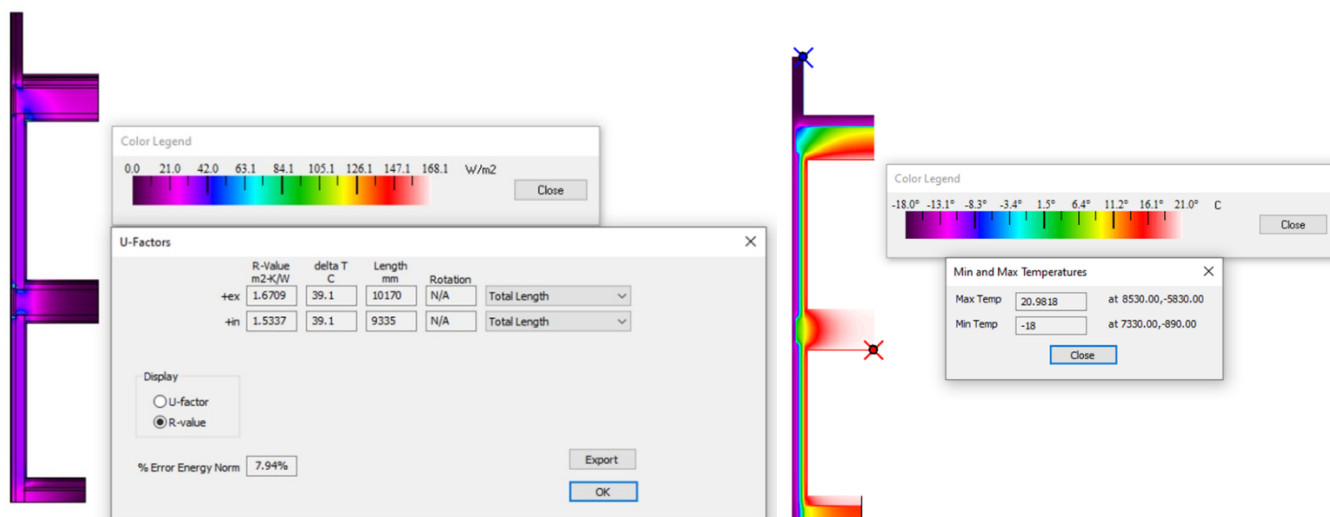
مشخصات عایق اصلاح پل حرارتی:

- ضخامت عایق: ۳ سانتی‌متر
- ضریب هدایت حرارتی $(\lambda): 0.047 \text{ W/mK}$

مقاومت حرارتی لایه عایق مورد استفاده:

$$R_{\text{insulation}} = \frac{0.03}{0.047} \approx 0.63 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹	مقاومت بلوک بدون اندود =
---	---	-----	-----------------------------



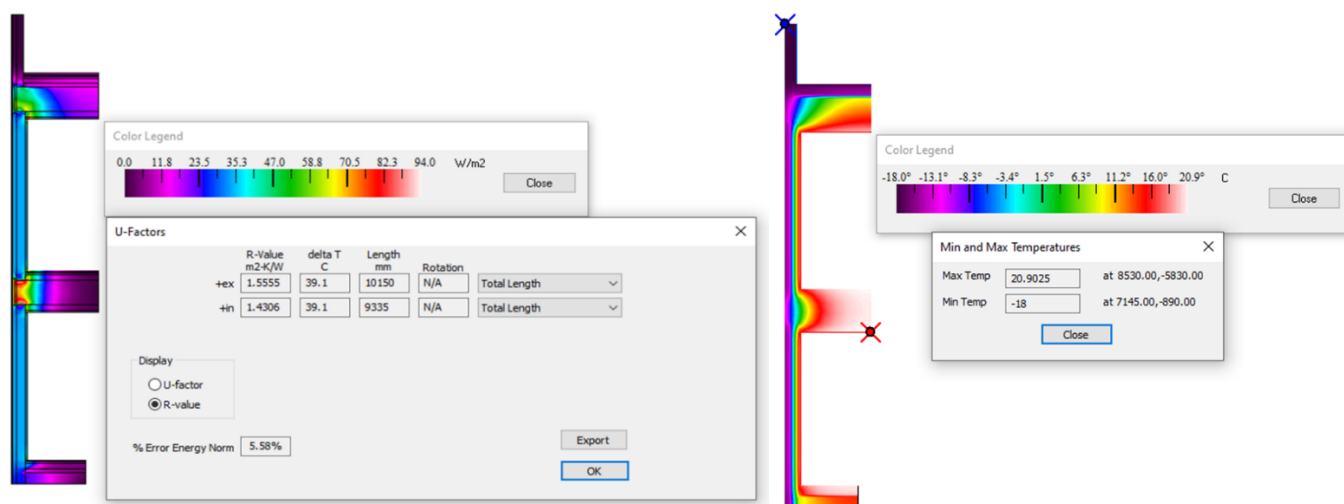
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.53 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

نکته:

۱- دیوار با مقاومت ۰.۹ به ضخامت ۱۵ سانتی متر با ۷ سانتی متر عایق حرارتی سقف بدون پوشاندن پل حرارتی

۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹	مقاومت بلوک بدون اندود =
---	---	-----	-----------------------------

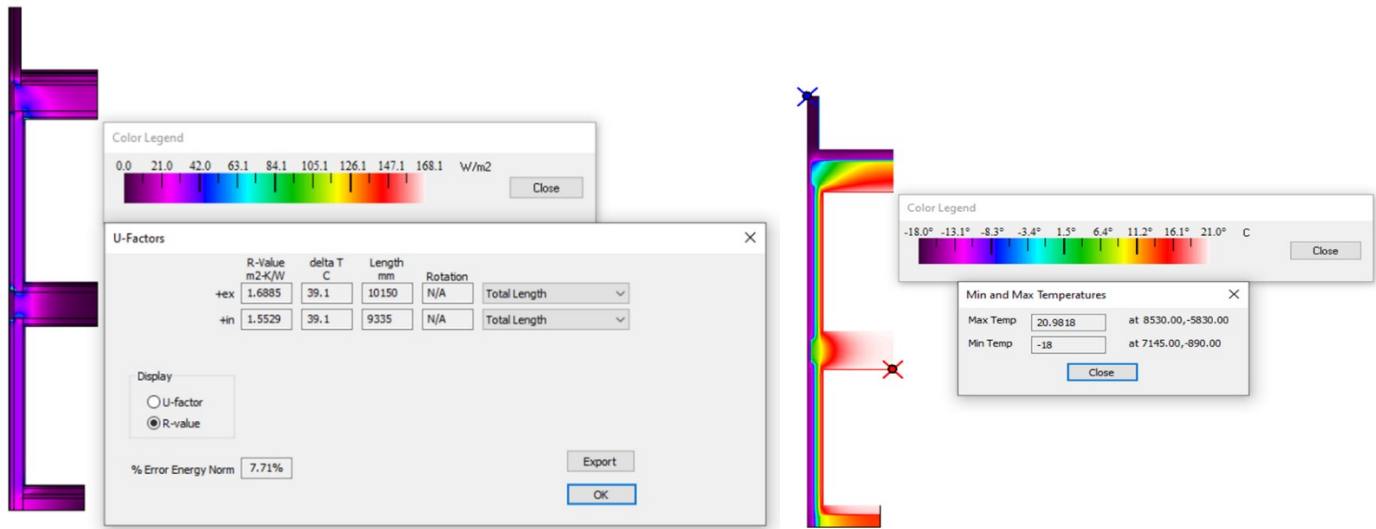


با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.43 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۲- دیوار با مقاومت ۰.۹ به ضخامت ۱۵ سانتی متر با ۷ سانتی متر عایق حرارتی سقف با پوشاندن پل حرارتی

۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹	مقاومت بلوک بدون اندود =
---	---	-----	-----------------------------



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.55 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

نکته مهم – مقایسه دو حالت سقف (بدون اصلاح پل حرارتی و با اصلاح پل حرارتی)

حالت ۱ — دیوار $R=0.9$ + سقف با ۷ سانتی‌متر عایق بدون پوشش پل حرارتی:

$$R_{total} \approx 1.43$$

(افزایش بسیار کم نسبت به ۱.۴۲)

حالت ۲ — دیوار $R=0.9$ + سقف با ۷ سانتی‌متر عایق + پوشش پل حرارتی:

$$R_{total} \approx 1.55$$

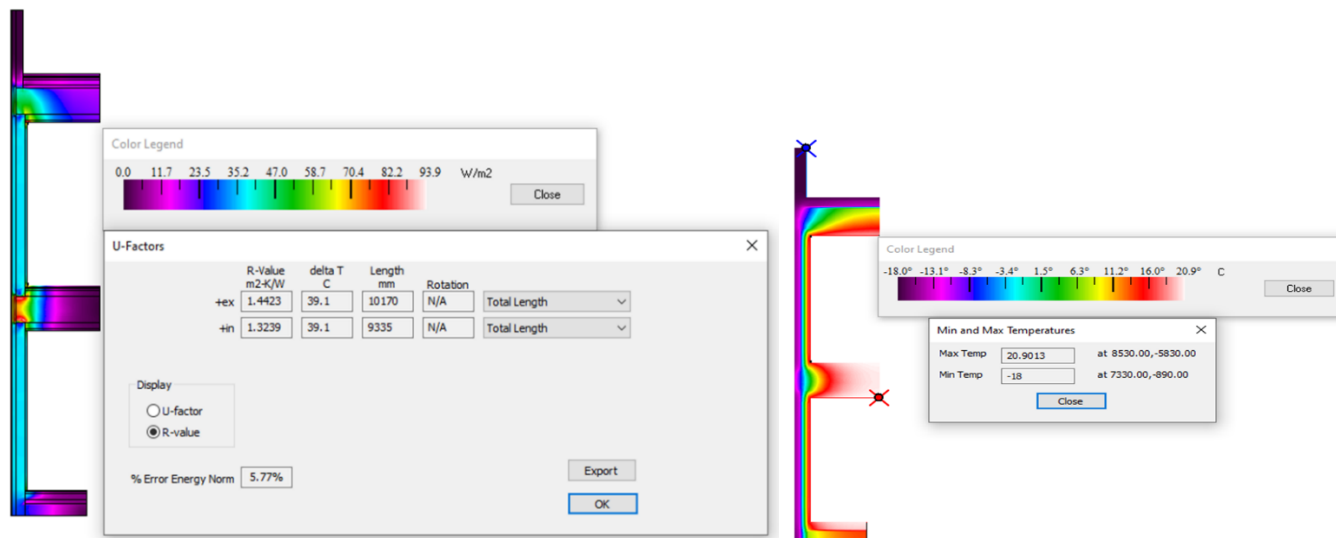
(افزایش بسیار کم نسبت به ۱.۵۳)

این نشان می‌دهد که افزایش عایق حرارتی در سقف → کمترین اثر را روی بهبود دیوار دارد و بیشترین تاثیر را پل های حرارتی بر دیوار دارند.

۵-۲- سناریو پنجم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ (بدون اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو، از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 0.8 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ بدون اعمال تمهیدات پوشش پل حرارتی در محل اتصالات استفاده شده است.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹
--------------------------	-----	--------------------------------------	-----



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.32 \text{ (m}^2\text{K/W)} \text{ می‌باشد.}$$

۶-۲- سناریو ششم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ (با اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 0.8 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است، با این تفاوت که در محل اتصال دیوار به سقف و کف، پل حرارتی با استفاده از لایه عایق حرارتی اصلاح گردیده است.

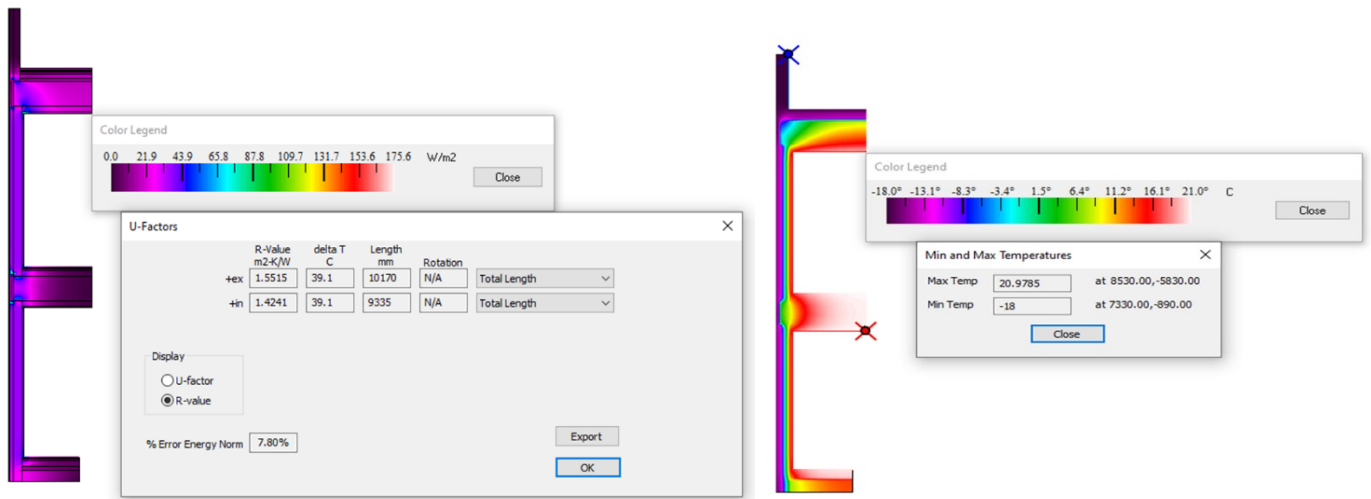
مشخصات عایق اصلاح پل حرارتی:

- ضخامت عایق: ۳ سانتی‌متر
- ضریب هدایت حرارتی 0.047 W/mK (λ):

مقاومت حرارتی لایه عایق مورد استفاده:

$$R_{\text{insulation}} = \frac{0.03}{0.047} \approx 0.63 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹
--------------------------	-----	--------------------------------------	-----



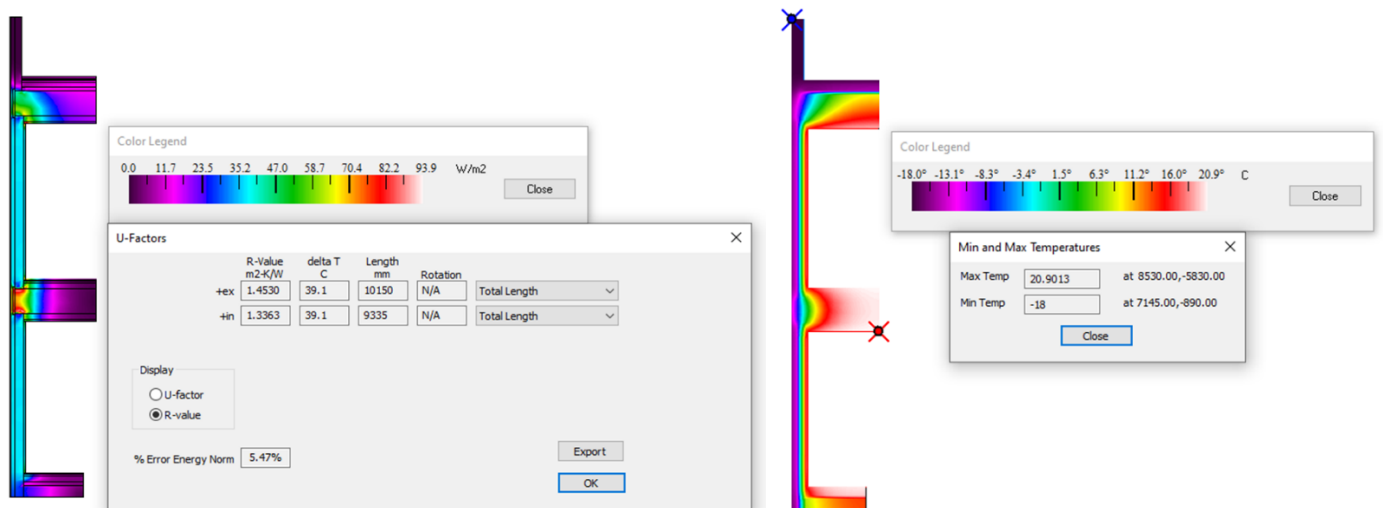
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.42 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

نکته:

۱- دیوار با مقاومت ۰.۸ به ضخامت ۱۵ سانتی متر با ۷ سانتی متر عایق حرارتی سقف بدون پوشاندن پل حرارتی

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹
--------------------------	-----	--------------------------------------	-----

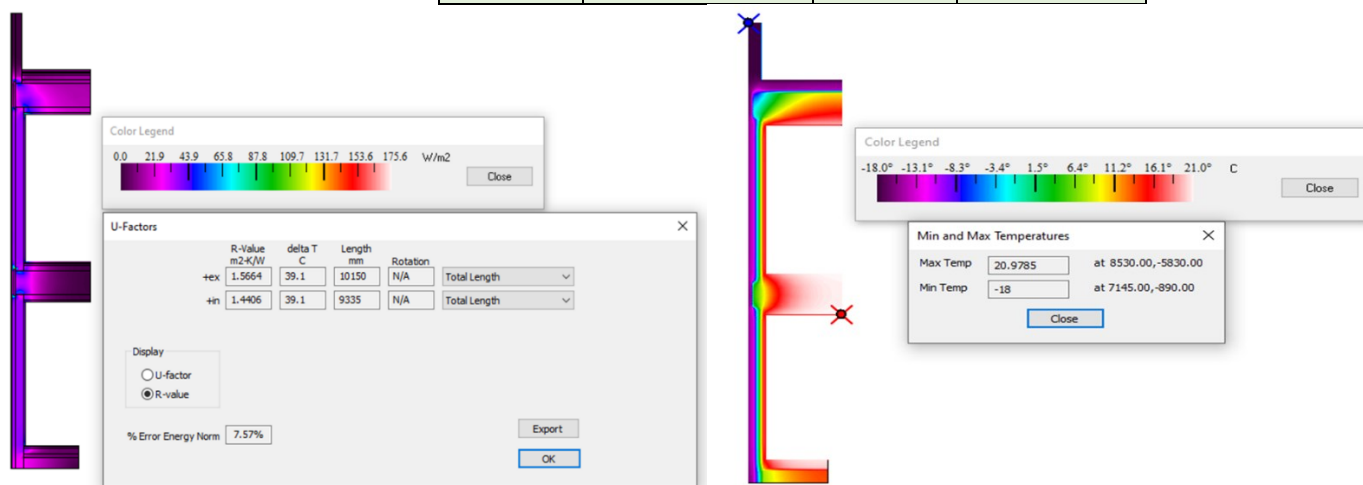


با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.34 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۲- دیوار با مقاومت ۰.۸ به ضخامت ۱۵ سانتی متر با ۷ سانتی متر عایق حرارتی سقف با پوشاندن پل حرارتی

مقاومت بلوک بدون اندود=	۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی=	۰.۹
----------------------------	-----	--	-----



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.44 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

جمع‌بندی سناریوی $R = 0.8$

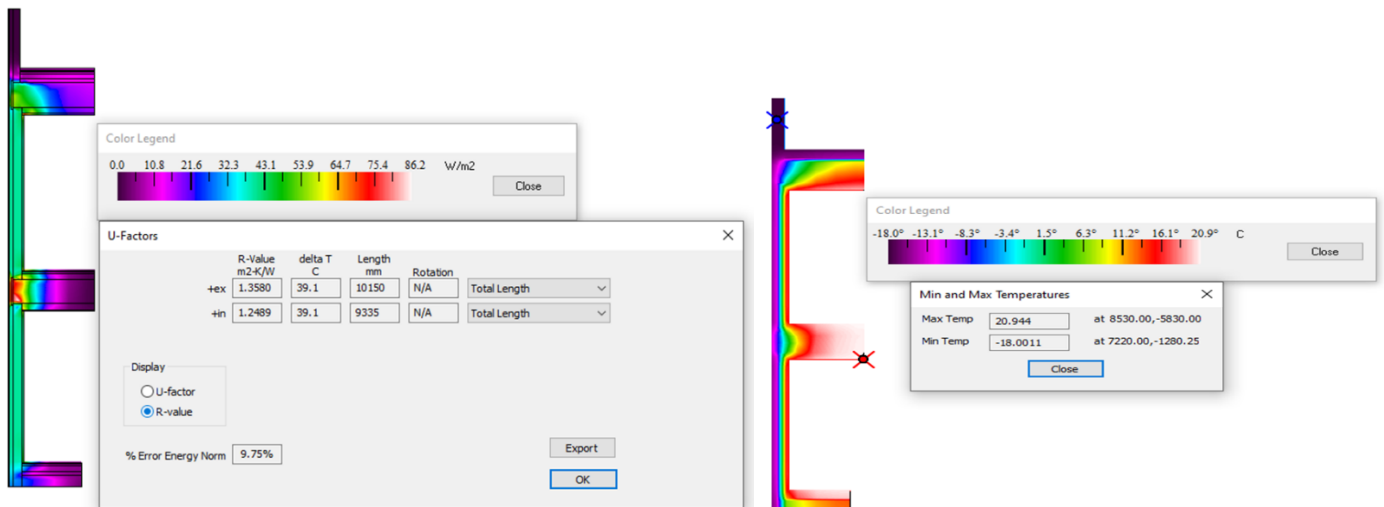
- مقدار پایه دیوار (بدون افزایش عایق سقف)
- بدون اصلاح پل حرارتی: ۱.۳۲
- با اصلاح پل حرارتی: ۱.۴۲
- افزایش عایق سقف از ۷ → ۵ سانتی‌متر
- تأثیر بسیار کم بر بهبود R_{total} دیوار دارد.
- اما اصلاح پل حرارتی (حتی با همان عایق ۳ سانتی‌متری)
- باعث افزایش حدود ۰.۱ $\text{m}^2\text{K/W}$ در مقاومت حرارتی مؤثر دیوار می‌شود؛
- که به مراتب بیشتر از افزایش ضخامت عایق سقف است.

۷-۲- سناریو هفتم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ (بدون اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با:

$R = 0.7 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است. به منظور جبران کاهش مقاومت حرارتی بلوک، ضخامت عایق حرارتی سقف برابر با ۷ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. در این حالت، در محل اتصال دیوار به سقف و کف هیچ‌گونه اصلاحی برای پل حرارتی انجام نشده است.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۷	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۸
--------------------------	-----	--------------------------------------	-----



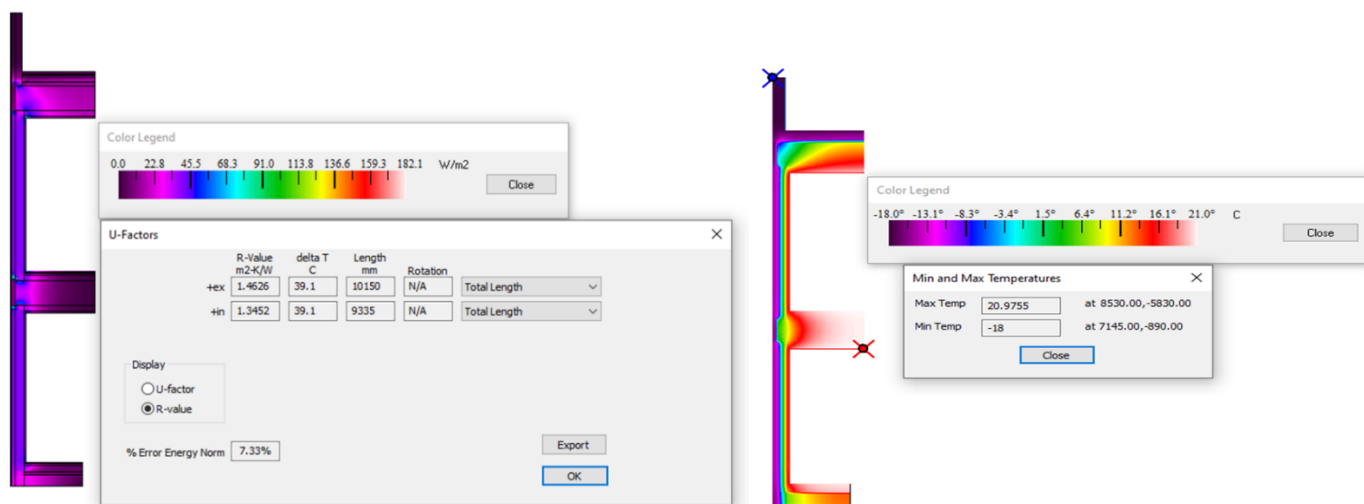
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.25 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

می‌باشد.

۸-۲- سناریو هشتم: بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ (با اصلاح پل حرارتی)

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۷	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۸
--------------------------	-----	--------------------------------------	-----



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.34 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

می‌باشد.

نکته:

۱- بررسی اثر افزایش تعداد طبقات (سه طبقه → دو طبقه)

برای ارزیابی اثر تعداد طبقات بر عملکرد حرارتی دیوار خارجی، شرایط بلوک با مقاومت حرارتی $R = 0.7$ در دو حالت بررسی شده است:

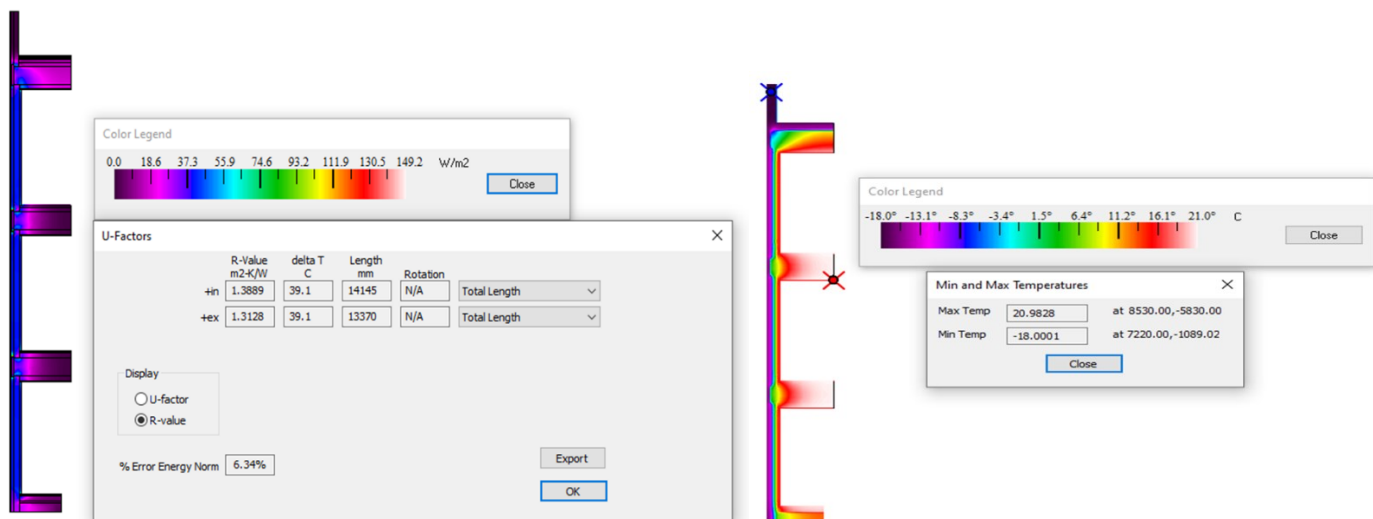
- ساختمان دو طبقه روی زمین (سناریوهای قبلی)
- ساختمان سه طبقه با همان نوع بلوک، با اصلاح پل حرارتی و عایق سقف ۷ سانتی‌متری

در حالت سه طبقه، مقاومت حرارتی مؤثر دیوار خارجی برابر به دست آمده است با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.31 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

این مقدار اندکی کمتر از حالت مشابه در ساختمان دو طبقه است که تقریباً $1.34 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ محاسبه شده بود.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۷	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۸
-----------------------------	-----	---	-----



علت این اختلاف جزئی

این اختلاف کوچک ناشی از موارد زیر است:

- در ساختمان سه طبقه، یک اتصال سقف اضافی بین طبقه دوم و سوم وجود دارد.
- این اتصال اضافی باعث ایجاد یک پل حرارتی بیشتر می شود.
- در تحلیل دوبعدی THERM، اثر این پل حرارتی اضافی به صورت کاهش بسیار جزئی در مقاومت حرارتی مؤثر دیوار ظاهر می شود.

نتیجه گیری این بخش

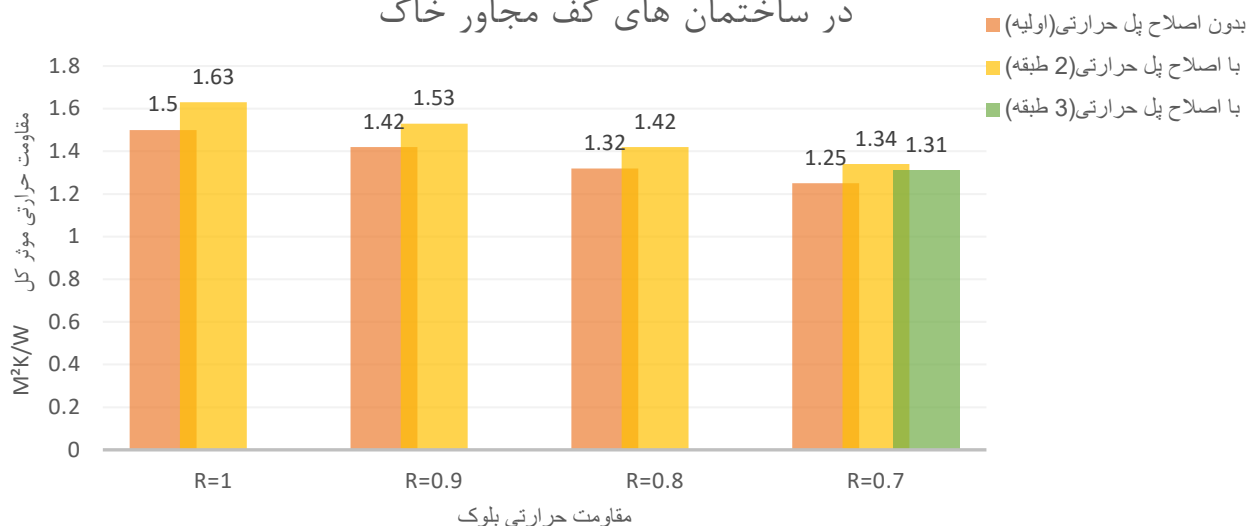
افزایش تعداد طبقات از دو به سه:

- تأثیر بسیار کمی بر مقاومت حرارتی مؤثر دیوار خارجی دارد.
- کاهش مقدار R_{total} حدود $0.03 \text{ m}^2\text{K/W}$ است.
- بنابراین اثر تعداد طبقات بسیار کمتر از اثر نوع بلوک و اصلاح پل های حرارتی است.

۹-۲- نتیجه گیری:

- برای همه مقادیر مقاومت بلوک، افزودن عایق ۳ سانتی روی پل حرارتی حدود 0.009 تا 0.013 واحد R_{total} را افزایش می دهد .
- افزایش ضخامت عایق سقف از ۵ به ۷ سانت در همین سناریوها، اثر بسیار محدود (تقریباً کمتر از 0.002 — 0.003 واحد) دارد؛ بنابراین در شرایطی که بودجه محدود است، اصلاح پل حرارتی اولویت بالاتری نسبت به ضخیم تر کردن عایق سقف دارد.

اثر اصلاح پل حرارتی در مقابل مقاومت حرارتی بلوک در ساختمان های کف مجاور خاک

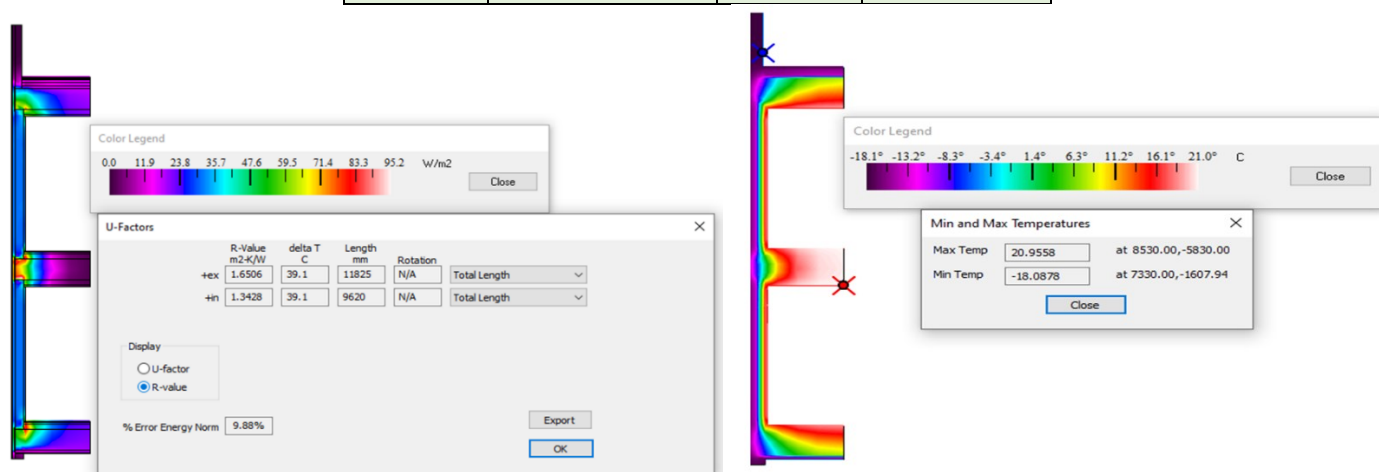


۳- جزئیات کف مجاور هوا

۳-۱- سناریو اول: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (بدون اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوک ساختمانی با مقاومت حرارتی اسمی $R = 1 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است. در محل اتصال دیوار به سقف و کف هیچ گونه تمهیدات کنترل پل حرارتی در نظر گرفته نشده است. همچنین کف مجاور هوا دارای لایه عایق حرارتی به ضخامت ۵ سانتی متر است.

۱.۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	--------------------------------------	---	--------------------------



با اضافه شدن لایه های ثابت جدار خارجی شامل: آجرنما، ملات ماسه سیمان، و لایه گچ و خاک، مقاومت حرارتی کل دیوار در این سناریو برابر می شود با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.34 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

این مقدار نشان دهنده عملکرد پایه دیوار در حالتی است که اصلاح پل حرارتی انجام نشده و تنها ضخامت عایق کف لحاظ شده است.

۲-۳- سناریو دوم: بلوک با مقاومت حرارتی ۱ (با اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوکی با مقاومت حرارتی اسمی برابر با $R = 1 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است، با این تفاوت که در محل اتصال دیوار به سقف و کف، پل حرارتی با استفاده از لایه عایق حرارتی اصلاح گردیده است.

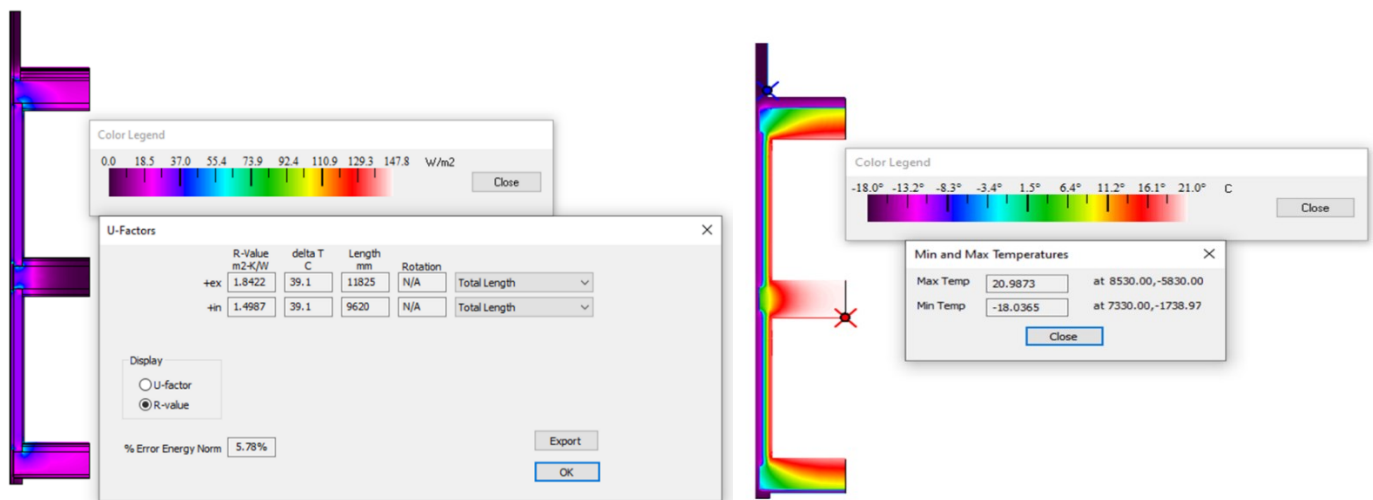
مشخصات عایق اصلاح پل حرارتی:

- ضخامت عایق: ۳ سانتی‌متر
- ضریب هدایت حرارتی 0.047 W/mK (λ):

مقاومت حرارتی لایه عایق مورد استفاده:

$$R_{\text{insulation}} = \frac{0.03}{0.047} \approx 0.63 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

مقاومت بلوک بدون اندود =	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱.۱
--------------------------	---	--------------------------------------	-----



با اضافه شدن لایه‌های ثابت جدار خارجی شامل: آجرنما، ملات ماسه سیمان، و لایه گچ و خاک، مقاومت حرارتی کل دیوار در این سناریو برابر می‌شود با:

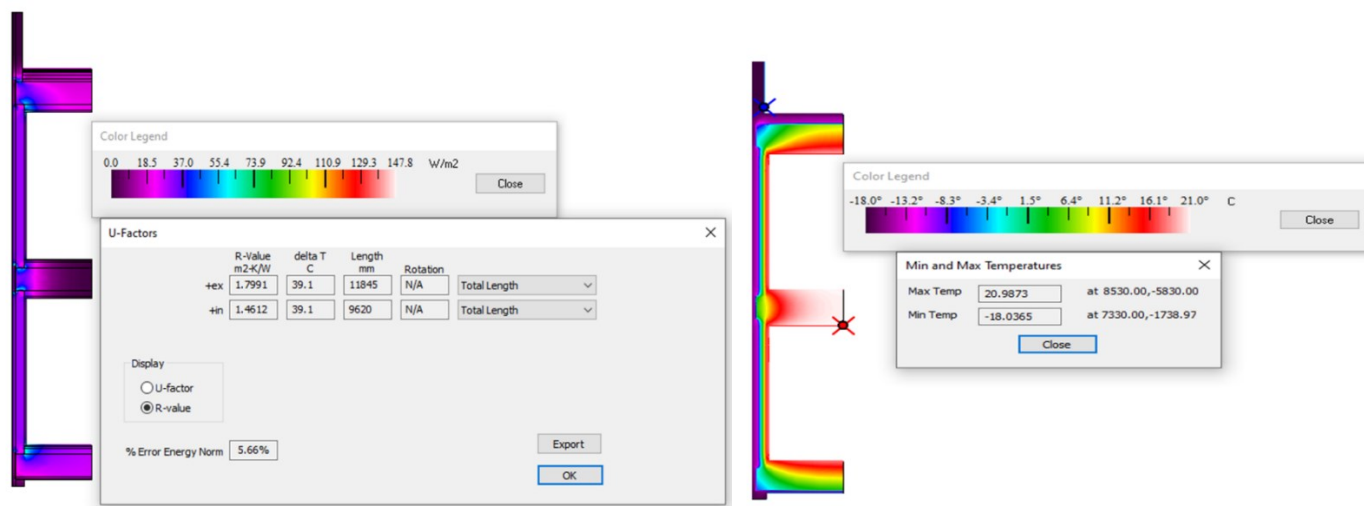
$$R_{\text{total}} \approx 1.5 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

نکته:

۱- این مدل شامل بلوک با $R = 1$ ، عایق کف ۳ سانتی‌متری، و اصلاح پل حرارتی در محل اتصال‌ها است.

بنابراین انتظار می‌رود که عملکرد حرارتی نسبت به سناریوی اول به طور محسوسی بهبود یابد.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱.۱
--------------------------	---	--------------------------------------	-----



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.46 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

نتیجه شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تنها با افزودن یک لایه عایق نازک در محل اتصال‌ها، مقاومت حرارتی کل دیوار از ۱.۳۴ به ۱.۵ ($\text{m}^2\text{K/W}$) افزایش یافته است.

این افزایش قابل توجه نشان می‌دهد که:

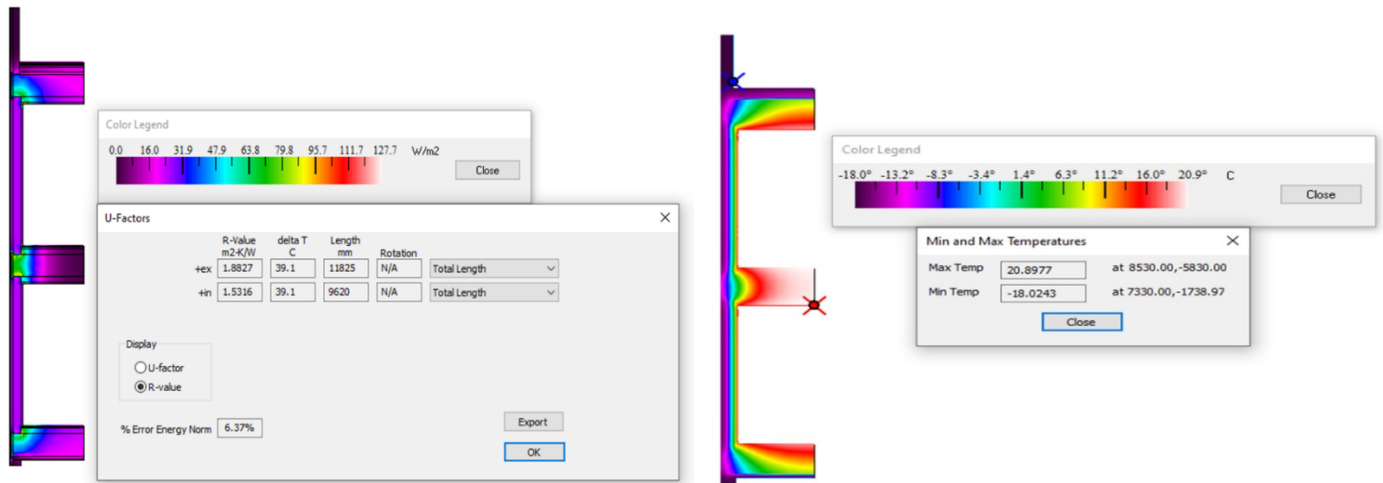
اصلاح پل حرارتی تأثیر بیشتری از افزایش ضخامت عایق کف بر عملکرد حرارتی واقعی دیوار دارد.

۳-۳- سناریو سوم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو از بلوک ساختمانی با مقاومت حرارتی اسمی $R = 0.9 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده است. در سطح داخلی دیوار، ۳ سانتی‌متر ملات عایق پاششی اجرا شده و در محل اتصال دیوار به سقف و کف اصلاح پل حرارتی انجام نشده است.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۹	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱
--------------------------	-----	--------------------------------------	---



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

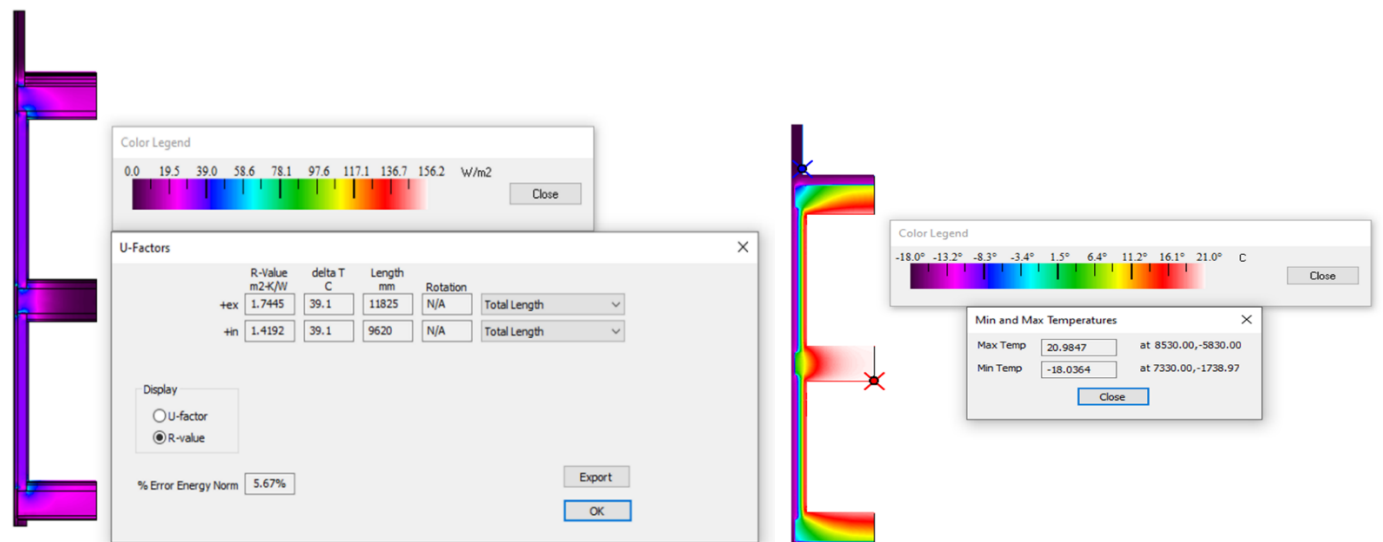
$$R_{total} \approx 1.53 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۳-۴- سناریو چهارم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ بدون ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)

در این حالت از بلوک با مقاومت حرارتی اسمی $R = 0.9 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ استفاده شده و در محل اتصال دیوار به سقف و کف اصلاح پل حرارتی انجام شده است، اما ملات عایق پاششی در سطح داخلی دیوار اجرا نشده است.

۱	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹	مقاومت بلوک بدون اندود =
---	---	-----	-----------------------------



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

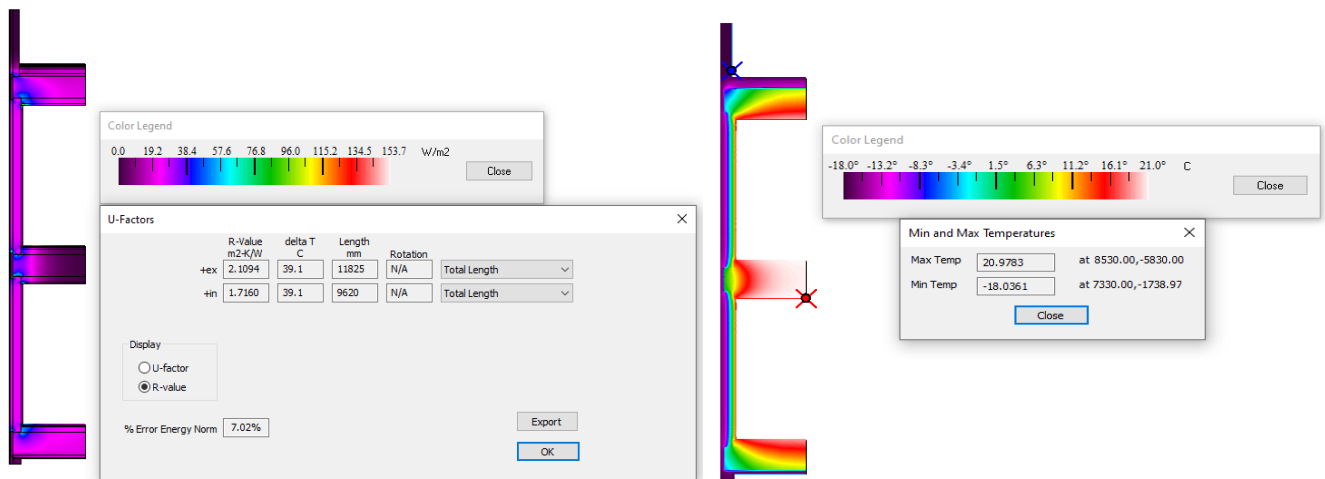
$$R_{total} \approx 1.42 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۵-۳- سناریو پنجم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۹ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)

در این سناریو هم ملات عایق پاششی ۳ سانتی متری در سطح داخلی دیوار اجرا شده و هم پل حرارتی در محل اتصال‌ها اصلاح گردیده است.

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۹	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۱
-----------------------------	-----	---	---

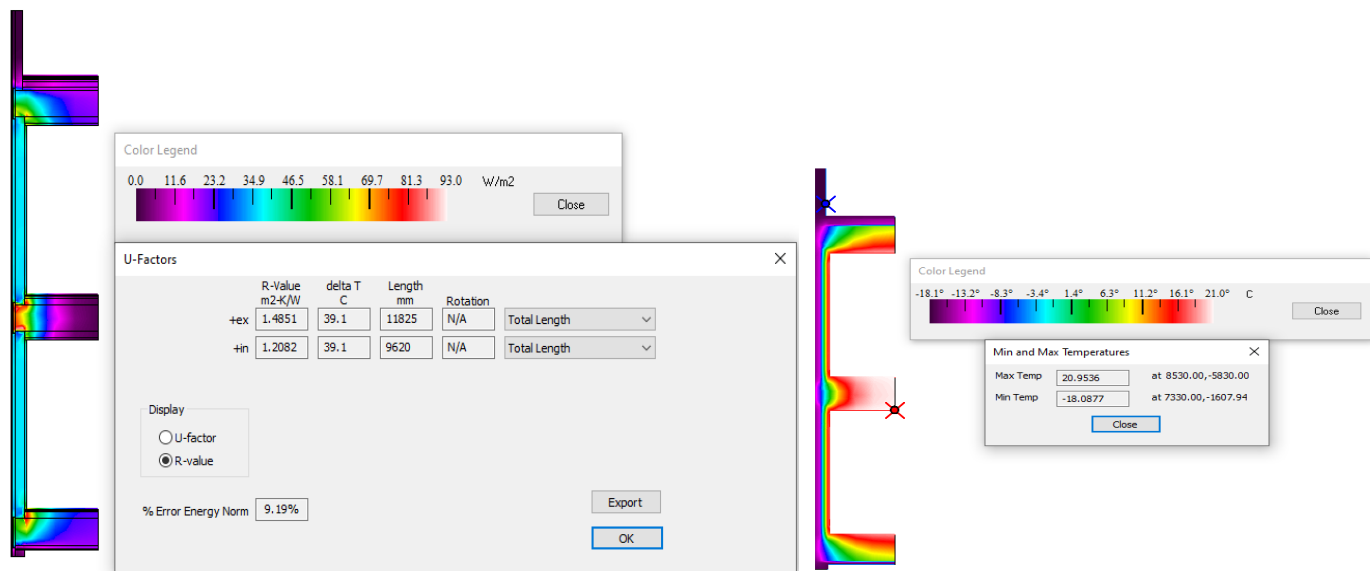


با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با $R_{total} \approx 1.72 \text{ (m}^2\text{K/W)}$ می‌باشد.

۶-۳- سناریو ششم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ بدون ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹
-----------------------------	-----	---	-----



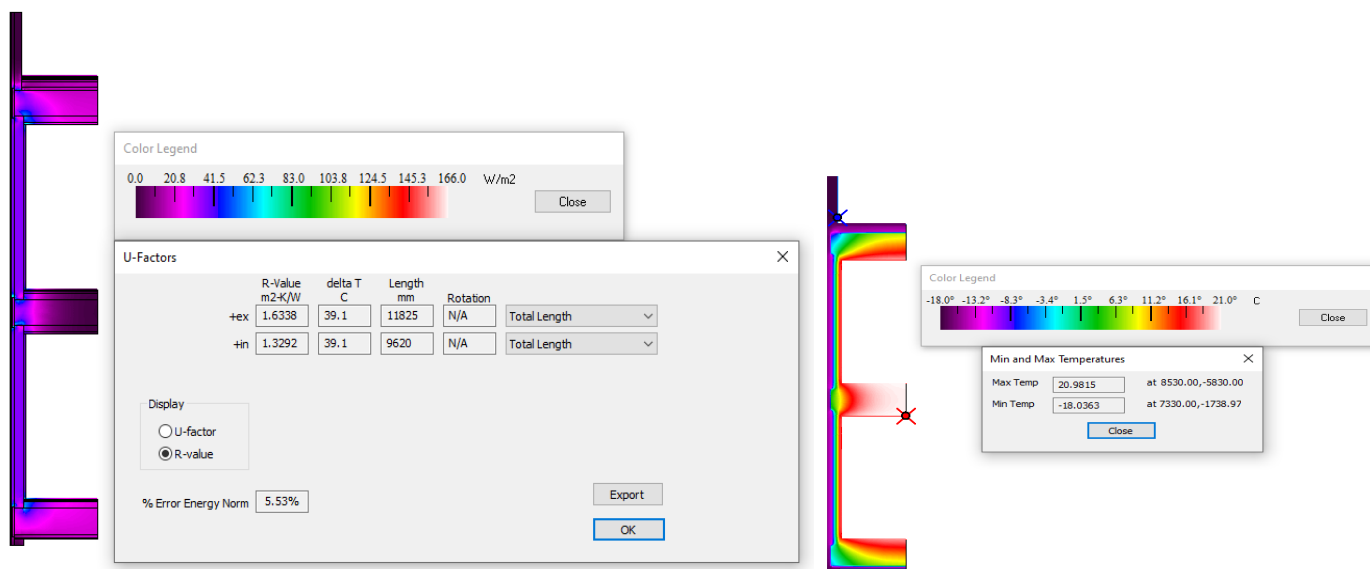
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.21 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۷-۳- سناریو هفتم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ بدون ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۹
-----------------------------	-----	---	-----



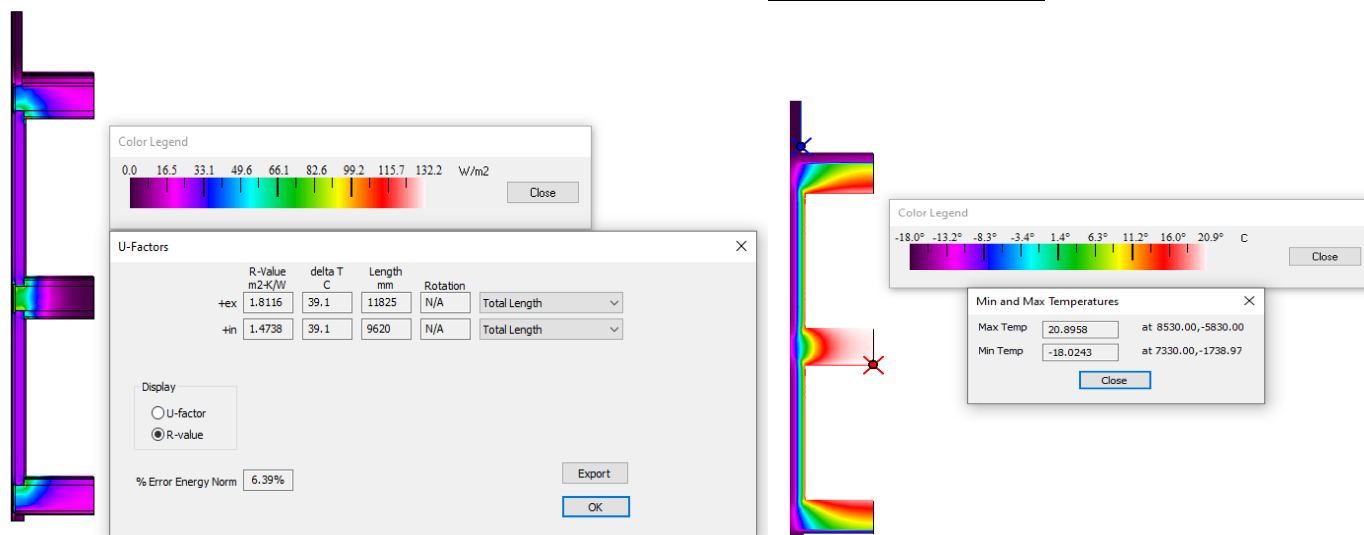
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.33 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۸-۳- سناریو هشتم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۸ با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)

۰.۹	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۸	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	---	-----	-----------------------------



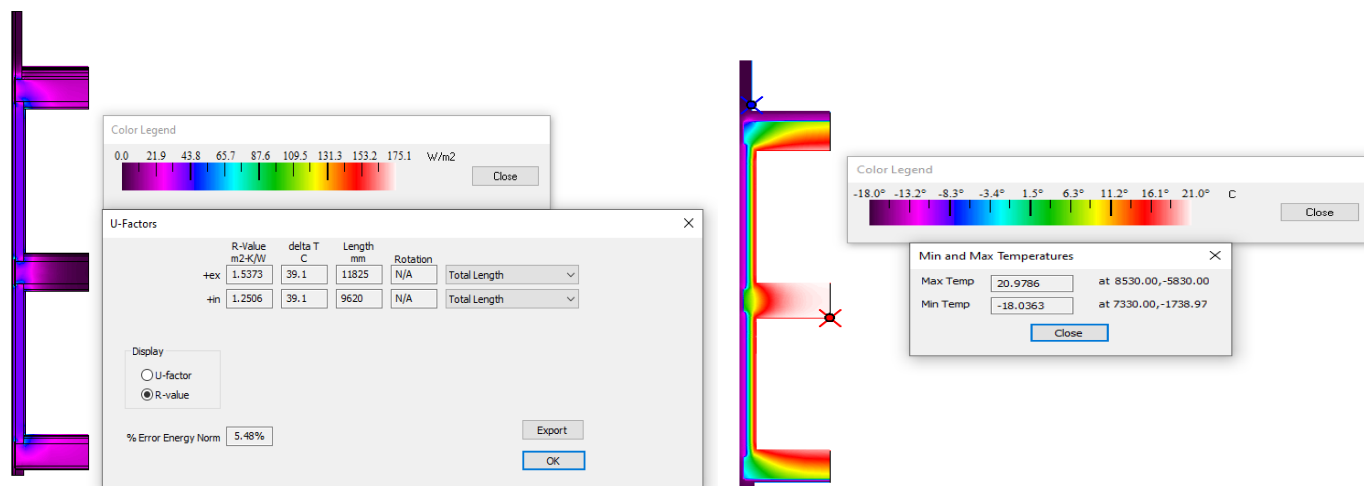
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.47 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۹-۳- سناریو نهم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ بدون ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)

۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۷	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	---	-----	-----------------------------



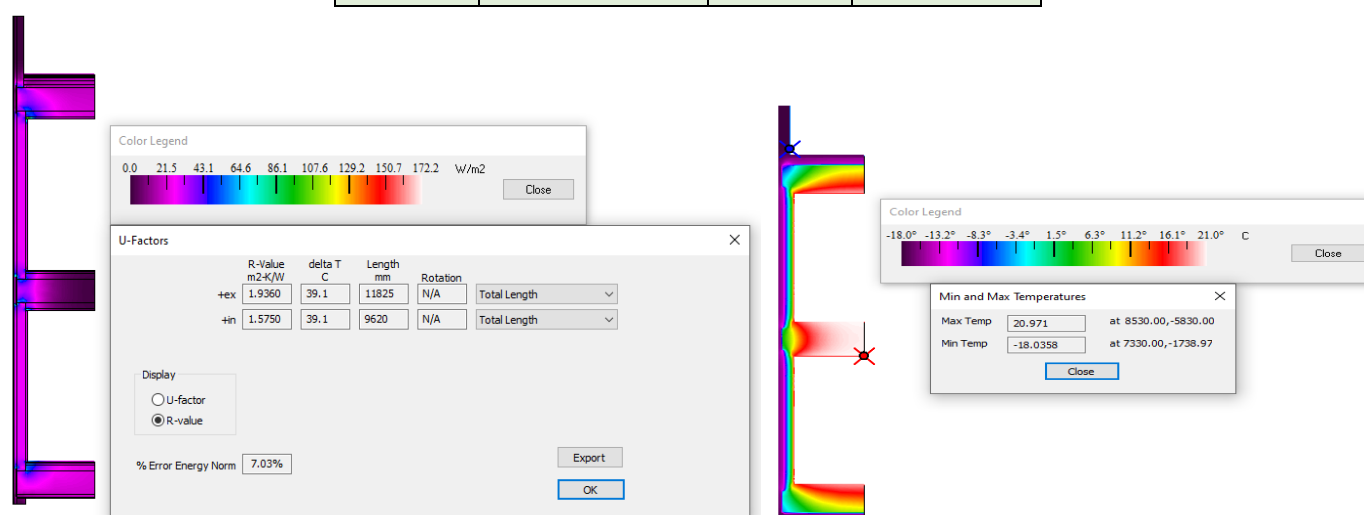
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.25 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۱۰-۳- سناریو دهم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (با اصلاح پل حرارتی)

۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۷	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	--------------------------------------	-----	--------------------------



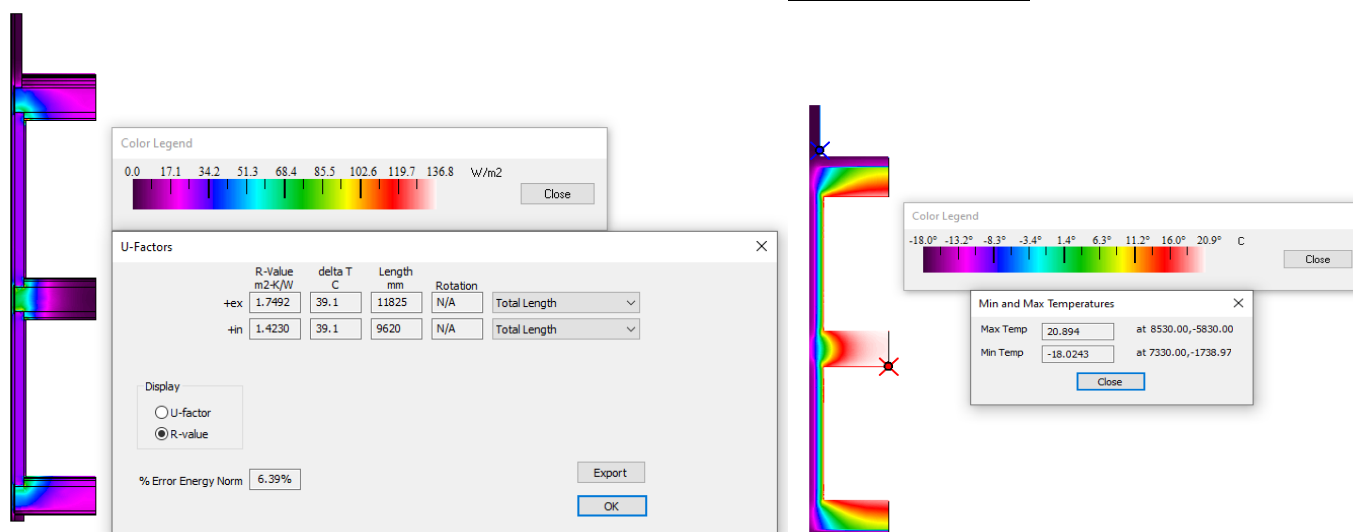
با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1.57 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۱۱-۳- سناریو یازدهم:

بلوک با مقاومت حرارتی ۰.۷ همراه با ۳ سانتی متر ملات عایق پاششی از داخل (بدون اصلاح پل حرارتی)

۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۷	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	---	-----	-----------------------------



با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.42 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۱۲-۳- جمع‌بندی عملکرد حرارتی دیوار در حالت کف مجاور هوا

بر اساس محاسبات انجام‌شده با استفاده از مدل‌سازی دوبعدی انتقال حرارت (THERM)، نتایج نشان می‌دهد که در دیوارهای بلوکی با مقاومت حرارتی ۰.۷، ۰.۸ و ۰.۹، دو اقدام عمده شامل اصلاح جزئیات پل حرارتی و اجرای ۳ سانتی‌متر ملات عایق پاششی از سمت داخل منجر به بهبود محسوس عملکرد حرارتی جداره خارجی می‌گردد. با این حال، میزان اثربخشی این دو اقدام یکسان نبوده و مقایسه سناریوها نشان می‌دهد:

۱. ملات عایق پاششی از داخل بیشترین سهم را در افزایش مقاومت حرارتی واقعی R_{total} دارد.

افزایش حاصل از این لایه بین ۰.۲۶ تا ۰.۳۲ $\text{m}^2\text{K/W}$ بوده است که بیشترین سهم را در کاهش اتلاف حرارت از جداره خارجی ایجاد می‌کند.

۲. اصلاح پل حرارتی در محل اتصال دیوار به سقف و کف نیز مؤثر است، اما میزان اثر آن کمتر از ملات پاششی است.

افزایش مقاومت حرارتی ناشی از این اصلاحات در بازه ۰.۱۲ تا ۰.۱۹ m^2K/W قرار دارد.

۳. ترکیب دو راهکار (پاشش + اصلاح پل حرارتی) بهینه‌ترین حالت از نظر عملکرد حرارتی بوده و در تمامی سناریوها بیشترین مقدار R_{total} را به همراه داشته است.

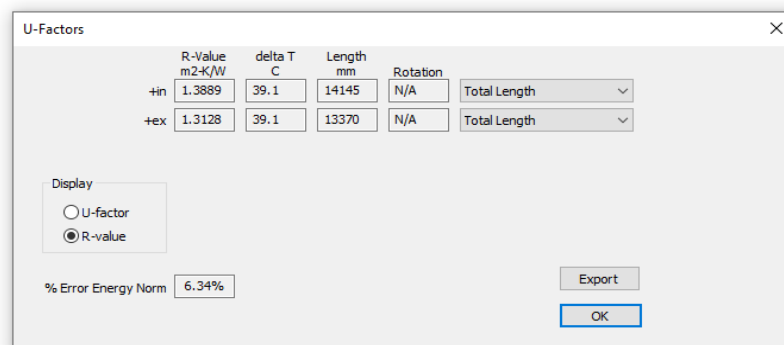
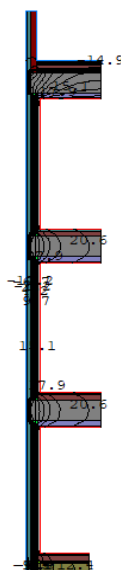
در نتیجه:

در شرایط اجرای واقعی پروژه‌ها، چنانچه هدف ارتقای قابل توجه مقاومت حرارتی دیوار باشد، **اولویت نخست اجرای ملات عایق پاششی و در اولویت دوم اصلاح جزئیات پل حرارتی** قرار می‌گیرد. اعمال هم‌زمان این دو روش توصیه می‌شود تا بیشترین سطح صرفه‌جویی انرژی و کاهش بار حرارتی ساختمان حاصل گردد.

نکته:

۱- بلوک + $R=0.7$ عایق سقف ۷ سانت + پوشش ۳ سانت پل حرارتی

مقاومت بلوک بدون اندود =	۰.۷	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۸
--------------------------	-----	--------------------------------------	-----

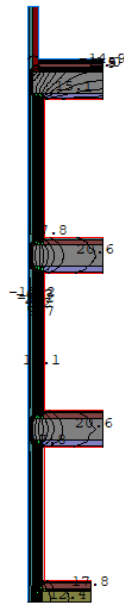


با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$R_{total} \approx 1.31 (m^2K/W)$ می‌باشد.

۲- بلوک $R=0.7$ با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر + پوشش ۳ سانت پل حرارتی

۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۷	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	---	-----	-----------------------------



	R-Value m ² ·K/W	delta T C	Length mm	Rotation	
+in	1.6190	39.1	13860	N/A	Total Length
+ex	1.5618	39.1	13370	N/A	Total Length

Display
☐ U-factor
☒ R-value

% Error Energy Norm 5.78%

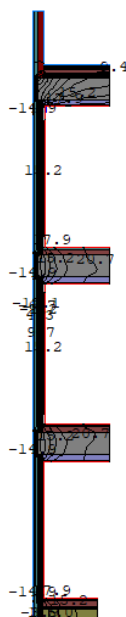
Export
OK

با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{total} \approx 1.56 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

۳- بلوک R=0.7 با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر + پوشش ۳ سانت پل حرارتی

۰.۸	مقاومت بلوک با اندود داخلی و خارجی =	۰.۷	مقاومت بلوک بدون اندود =
-----	---	-----	-----------------------------



	R-Value m ² ·K/W	delta T C	Length mm	Rotation	
+in	1.0926	39.1	14465	N/A	Total Length
+ex	1.0098	39.1	13370	N/A	Total Length

Display
☐ U-factor
☒ R-value

% Error Energy Norm 7.77%

Export
OK

با در نظر گرفتن سایر لایه‌های ثابت جدار خارجی (آجرنما، ملات ماسه سیمان، گچ و خاک)، مقاومت حرارتی کل دیوار خارجی در این حالت برابر با:

$$R_{\text{total}} \approx 1 \text{ (m}^2\text{K/W) می‌باشد.}$$

- تغییر ضخامت بلوک از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر، بیشترین اثر را در افزایش R_{total} دارد

(افزایش حدود ۰.۵۶ واحد نسبت به بلوک ۱۰ سانت).

- سناریوی دارای عایق سقف ۷ سانت، عملکرد حرارتی خوبی دارد اما همچنان نسبت به بلوک ۲۰ سانت ضعیف‌تر است.

- پوشاندن ۳ سانتی‌متر پل حرارتی در هر سه حالت مفید است، اما اثر آن وابسته به ضخامت بلوک و شرایط مرزی است.

- سناریوی بهینه حرارتی:

دیوار بلوکی ۲۰ سانت با اندود دوطرفه + پوشش ۳ سانت پل حرارتی

→ بهترین عملکرد با $R_{\text{total}} \approx 1.56$

۴- تحلیل نهایی و جمع‌بندی بر اساس همه سناریوها

نوع عایق کف ساختمان	ضخامت دیوار	مقاومت حرارتی دیوار	ضخامت عایق سقف	ضخامت عایق کف مجاور خاک	ضخامت عایق کف مجاور هوای آزاد	ضخامت عایق پوشاننده پل حرارتی	ضخامت عایق داخلی در صورت نیاز	مقاومت نهایی جدار بیرونی
کف مجاور خاک	۱۵	۱	۵	۵	-	-	-	۱.۵
	۱۵	۱	۵	۵	-	۳	-	۱.۶۳
	۱۵	۱	۵	۷	-	-	-	۱.۵
	۱۵	۱	۵	۷	-	۳	-	۱.۶۳

۱.۵۱	-	-	-	۵	۷	۱	۱۵
۱.۶۳	-	۳	-	۳	۵	۱	۱۵
۱.۴۲	-	-	-	۵	۵	۰.۹	۱۵
۱.۵۳	-	۳	-	۵	۵	۰.۹	۱۵
۱.۴۳	-	-	-	۵	۷	۰.۹	۱۵
۱.۵۵	-	۳	-	۵	۷	۰.۹	۱۵
۱.۳۲	-	-	-	۵	۵	۰.۸	۱۵
۱.۴۲	-	۳	-	۵	۵	۰.۸	۱۵
۱.۳۴	-	-	-	۵	۷	۰.۸	۱۵
۱.۴۴	-	۳	-	۵	۷	۰.۸	۱۵
۱.۲۵	-	-	-	۵	۷	۰.۷	۱۵
۱.۳۴	-	۳	-	۵	۷	۰.۷	۱۵
۱.۳۴	-	-	۵	-	۵	۱	۱۵
۱.۵	-	۳	۵	-	۵	۱	۱۵
۱.۴۶	-	۳	۳	-	۵	۱	۱۵
۱.۵۳	۳	-	۵	-	۵	۰.۹	۱۵
۱.۴۲	-	۳	۵	-	۵	۰.۹	۱۵
۱.۷۲	۳	۳	۵	-	۵	۰.۹	۱۵
۱.۲۱	-	-	۵	-	۵	۰.۸	۱۵
۱.۳۳	-	۳	۵	-	۵	۰.۸	۱۵
۱.۴۷	۳	-	۵	-	۵	۰.۸	۱۵
۱.۲۵	-	۳	۵	-	۵	۰.۷	۱۵
۱.۵۷	۳	۳	۵	-	۵	۰.۷	۱۵
۱.۴۲	۳	-	۵	-	۵	۰.۷	۱۵
۱.۳۱	-	۳	۵	-	۷	۰.۷	۱۵
۱.۵۶	-	۳	۵	-	۵	۰.۷	۲۰
۱	-	۳	۵	-	۵	۰.۷	۱۰

کف مجاور هوا

با تجميع نتايج شبیه‌سازی‌های دوبعدی برای حالت‌های «کف مجاور خاک» و «کف مجاور هوای آزاد»، روندهای زیر به‌صورت قطعی قابل استخراج است:

۱. نقش مقاومت بلوک: کاهش مقاومت اسمی بلوک از $R=1.0$ به $R=0.7$ ، به‌طور میانگین حدود $0.25/$ واحد از مقاومت حرارتی نهایی جدار (R_{total}) می‌کاهد. این اثر در هر دو حالت کف مجاور خاک و کف مجاور هوا به‌صورت منسجم مشاهده شد.

۲. اهمیت اصلاح پل‌های حرارتی: افزودن تنها ۳ سانتی‌متر عایق در محل پل حرارتی (لبه‌ها و اتصالات) در سناریوهای مختلف کف مجاور خاک، به‌طور تیپیک بین ۰/۰۹ تا ۰/۱۳ واحد به R_{total} اضافه کرده است. در کف مجاور هوای آزاد نیز اثر مشابهی (در حدود ۰/۱ تا ۰/۱۵ واحد) مشاهده شد. بنابراین، اصلاح پل‌های حرارتی یک اقدام کم‌حجم اما بسیار مؤثر است.

۳. برتری ملات عایق داخلی (پاششی) در کف مجاور هوا: در اکثر سناریوهای «کف مجاور هوا»، اجرای ملات عایق داخلی ۳ سانتی‌متری، افزایش R_{total} در بازه ۰/۱۱ تا ۰/۱۷ واحد را رقم زده و در تمام مقایسه‌ها اثر آن از افزایش صرف ضخامت عایق کف بیشتر بوده است.

۴. بهینه‌سازی ترکیبی: ترکیب ملات عایق داخلی + اصلاح پل حرارتی در دیوارهای خارجی، بیشترین بهبود عملکرد را ایجاد کرده است. برای نمونه، در دیوار بلوکی $R=0.9$ با کف مجاور هوا، R_{total} از حدود ۱/۴۲ (بدون اصلاحات) به حدود ۱/۷۲ با اجرای هم‌زمان ملات داخلی و عایق پل حرارتی رسیده است.

۵. اثر محدود افزایش ضخامت عایق سقف/کف: تغییر ضخامت عایق سقف از ۵ به ۷ سانتی‌متر، در سناریوهای کف مجاور خاک، به‌طور معمول کمتر از ۰/۰۲-۰/۰۳ واحد تغییر در R_{total} ایجاد کرده است. همچنین، تغییر جزئی ضخامت عایق کف (مثلاً از ۵ به ۳ سانت) در حضور اصلاح پل حرارتی، اثر نسبتاً کوچکی دارد. در نتیجه، کنترل پل‌های حرارتی و اجرای ملات عایق، نسبت به صرفاً ضخیم‌تر کردن عایق افقی ارجحیت مهندسی دارند.

۶. اثر ضخامت فیزیکی دیوار: افزایش ضخامت دیوار بلوکی $R=0.7$ از ۱۰ به ۲۰ سانتی‌متر (در حالت کف مجاور هوا و با عایق کف ۵ سانت و پل حرارتی ۳ سانت) موجب جهش R_{total} از حدود ۱/۰۰ به حدود ۱/۵۶ شده است؛ یعنی بیش از ۰/۵ واحد افزایش مقاومت حرارتی. این نتیجه تأیید می‌کند که انتخاب ضخامت مناسب دیوار، در کنار اصلاحات موضعی، نقشی کلیدی در عملکرد نهایی دارد.

برای دستیابی به حداکثر کارایی حرارتی پوسته خارجی، اولویت نخست باید بر اصلاح پل‌های حرارتی در محل اتصالات و اجرای ملات عایق داخلی (یا معادل آن) متمرکز باشد. در مرحله بعد، انتخاب بلوک با مقاومت و ضخامت مناسب توصیه می‌شود. افزایش ضخامت عایق در سقف یا کف اگرچه مفید است، اما در مقایسه با دو عامل یادشده، اثر ثانویه داشته و باید با نگاه اقتصادی و بهینه‌سازی کلی ساختمان ارزیابی شود.