

مقایسه تاثیر عملکرد دیوار ترومب ساده و دیوار ترومب زیگزاگی و تاثیر آن‌ها بر بارهای گرمایش، سرمایش و روشنایی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۸

کد مقاله: ۸۱۹۴۱

فاطمه فرشباتف گوگانی*^۱، نوریه یاری موصولو^۲، فرهاد
احمدنژاد^۳، مریم یکتا حشکویبی^۴

چکیده

با توجه به نقش سامانه‌های غیرفعال در کاهش مصرف انرژی و همچنین وجود برخی معایب که سبب کاهش اقبال در استفاده از این سیستم‌ها می‌شود، ارائه راهکار برای بهبود این سیستم‌ها می‌تواند طراحان را به استفاده از آن‌ها ترغیب کند. لذا در این مقاله با توجه به محدودیت موجود در دید و منظر و عدم وجود نور طبیعی دیوار ترومب مرجع، به بررسی عملکرد حرارتی و روشنایی سیستم دیوار ترومب و مقایسه آن با طرح پیشنهادی پرداخته‌ایم. برای رسیدن به نتایج دلخواه مدل‌سازی یک اتاق دارای سیستم دیوار ترومب در نرم افزار Openstudio صورت گرفت و شبیه سازی انرژی با استفاده از انرژی پلاس محاسبه شد. شبیه سازی‌ها طبق معیارهای هواشناسی اقلیم سرد و خشک شهر تبریز انجام گرفت. از بین حالت‌های مقایسه شده، افزایش سطح دیوار ترومب با حفظ یکنواختی نور، عملکرد حرارتی دیوار ترومب ساده و بار روشنایی در دیوار ترومب زیگزاگ بهتر از حالت‌های دیگر بود.

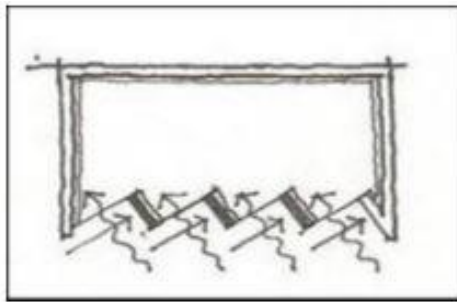
واژگان کلیدی: دیوار ترومب، دیوار ترومب زیگزاگ، اقلیم سرد و خشک، صرفه جویی انرژی در ساختمان، انرژی پلاس

- ۱- دانشجوی ارشد رشته معماری و انرژی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
- ۲- دانشجوی ارشد رشته معماری و انرژی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
- ۳- استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
- ۴- دانشجوی دکتری رشته معماری اسلامی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۱- مقدمه

میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها به یکی از بخش‌های مهم در مصرف انرژی جهان تبدیل شده است. حدود ۴۰ درصد از انرژی صرف سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی و برق در بخش ساختمان می‌شود، آشکار است که خانه‌ها نقش بسزایی در مصرف منابع و انرژی دارند. استفاده از سامانه‌های غیرفعال در طراحی ساختمان‌ها نیاز به فعالیت تجهیزات گرمایشی و سرمایشی را به حداقل ممکن می‌رساند. دیوار ترومب، یک تکنولوژی گرمایش غیرفعال خورشیدی است که به صورت جذب غیر مستقیم کار کرده و انرژی تجدیدپذیر خورشید را جایگزین سوخت فسیلی می‌کند. دیوار ترومب از یک دیوار ذخیره‌ساز حرارتی، سطح شیشه‌خور و فاصله هوایی تشکیل شده‌است و از طریق جابجایی، تشعشع و هدایت، حرارت را به درون ساختمان منتقل می‌کند (ابوالحسنی، ثقفی، ۱۳۹۳). افزایش سطح دیوار ترومب با حفظ یکنواختی نور می‌تواند نقش مهمی در بهبود کارایی این سامانه داشته باشد.

دیوار ترومب کلاسیک چندین کاستی دارد. بنابراین با بهبود نیازهای تغییرات ساختاری، انتخاب مواد، بهینه‌سازی طراحی و تمرین مهندسی، سیستم دیوار ترومب کلاسیک با یک عملکرد واحد نتوانسته است نیازهای عملکردی ساختمان‌ها را برآورده کند و به همین علت انواع مختلفی از سیستم‌های دیوار ترومب پیشنهاد شده‌اند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). به منظور کاهش تابش نور بیش از حد در روزهای آفتابی، پیشینه‌سازی استفاده از تابش خورشید و تأمین نور مورد نیاز اتاق، دیوار ترومب کلاسیک به اشکال مختلفی تغییر یافته است، بنابراین نوع دیگری از دیوارهای ترومب به وجود آمده است که به نام دیوار ترومب زیگزاگ شناخته می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به محدودیت دیوار ترومب در عدم وجود نور و دید و منظر، تلاش در جهت رفع محدودیت آن می‌تواند نقش موثری در افزایش بکارگیری این سامانه داشته باشد. ترکیب دیوار ترومب و جذب مستقیم به عنوان یک راهکار ایده‌آل به منظور تأمین نور، دید و منظر مورد نیاز از طریق پنجره‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (زینب مشهور، ۱۳۹۹).



سیستم جذب مستقیم

شکل ۱- تلفیق دیوار ترومب و

مأخذ: خلیل زاده اقدمی و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۳

در این مقاله با توجه به مطالعات صورت گرفته از طریق مدلسازی در نرم‌افزار Openstudio و شبیه‌سازی انرژی با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس به مقایسه عملکرد مصرف بار گرمایشی، سرمایشی و روشنایی دو نوع از دیوار ترومب کلاسیک و زیگزاگ و همچنین مقایسه آن با اتاق بدون سیستم دیوار ترومب در اقلیم سرد و خشک شهر تبریز پرداخته‌ایم. در واقع ما در این مقاله با ترکیب دیوار ترومب کلاسیک و دیوار ترومب زیگزاگ درصدد بهبود عملکرد و رفع مشکل تأمین نور طبیعی در این سیستم هستیم و می‌خواهیم بدانیم دیوار ترومب پیشنهادی چه تاثیری بر روی روشنایی داخل دارد و همچنین عملکرد حرارتی آن را بسنجیم و با دیوار ترومب کلاسیک و اتاق بدون دیوار ترومب مقایسه کنیم.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به مطالعات پیشین؛ دیوار ترومب یکی از تکنیک‌های غیرفعال خورشیدی برای افزایش کارایی حرارتی ساختمان‌ها است. این تکنیک در دهه ۱۹۶۰ توسط فلیکس ترومب معرفی شد و از آن زمان تاکنون توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. دیوار ترومب به عنوان یک سیستم حرارتی خورشیدی غیرفعال عمل می‌کند که به افزایش دمای داخلی ساختمان‌ها در فصول سرد کمک می‌کند. در این میان، دیوار ترومب زیگزاگی و ترکیب آن با دیوار ترومب کلاسیک به عنوان یک نوآوری در این زمینه مطرح شده است. مطالعات زیادی در مورد بهبود دیوار ترومب سنتی انجام شده‌است، اما تعداد کمی از آن‌ها به تاثیر شکل آن بر عملکرد انرژی پرداخته‌اند (Chen و همکاران، 2022). ضخامت دیوار ترومب یک عامل حیاتی است که بر اثر بخشی سیستم تاثیر می‌گذارد، بر اساس نتایج این مقاله بهترین مصالحی که می‌تواند به کاهش ۵۰ درصدی بارهای گرمایشی یک اتاق کمک کنند سنگ و بتن هستند (عباسی و همکاران، ۲۰۲۲) که بر اساس نتایج تحلیل انرژی و دوره بازگشت سرمایه ما در این مقاله از بتن

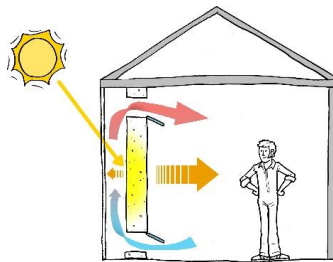
با ضخامت ۳۲ سانتی متر استفاده کرده‌ایم. در این مقاله به دلیل اینکه هدف ما صرفاً مقایسه بار مصرفی اتاق بدون دیوار ترومب و عملکرد دیوار ترومب کلاسیک و زیگزاگ بود مصالح در نظر گرفته شده برای جداره‌های اتاق به صورت پیش فرض از متریکال‌های استاندارد اشری ۵۵ استفاده شده است. در نتیجه با توجه به مطالعات انجام شده هدف ما در این تحقیق بررسی همزمان رفتار حرارتی بهینه و نور طبیعی است.

۳- ادبیات موضوع

بحران انرژی در ساختمان‌ها یکی از چالش‌های مهم و حساس در دنیای امروز است. با افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی، مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافته است. این موضوع نه تنها باعث افزایش هزینه‌های انرژی می‌شود، بلکه تأثیرات منفی زیادی بر محیط زیست دارد، از جمله افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تشدید تغییرات آب و هوایی. در این راستا، استفاده از سیستم‌های غیرفعال (Passive Systems) به عنوان یک راهکار موثر برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها مطرح می‌شود. دیوارهای ترومب که به نام دیوارهای ذخیره‌ای یا دیوارهای گرمایش خورشیدی هم شناخته می‌شوند، به دلیل آسانی نصب، کارایی بالا و هزینه‌های کم عملکرد، انتخاب محبوبی در میان این دستگاه‌ها هستند (هو و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر اینکه از نظر اکولوژیکی بی‌ضرر هستند، قرار دادن یک دیوار ترومب در یک ساختمان می‌تواند منجر به صرفه‌جویی تا ۳۰٪ در مصرف کل انرژی شود (کایگوسوز و همکاران، ۲۰۱۹).

۳-۱- دیوار ترومب کلاسیک

ایده اصلی این دیوار، بهره‌گیری از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا می‌باشد و شامل دیوار ذخیره‌ساز، شیشه و یک فاصله هوایی بین دیوار ذخیره‌ساز شیشه است. مصالح مورد استفاده برای دیوار ذخیره‌ساز شامل آجر، بتن، سنگ و خشت است. معمولاً سطح خارجی آن، برای افزایش جذب حرارتی به رنگ سیاه رنگ آمیزی می‌شود (ابوالحسنی، ثقفی، ۱۳۹۳).



شکل ۲- دیاگرام دیوار ترومب (مأخذ: sustainabilityworkshop.venturewell.org)

۳-۲- دیوار ترومب زیگزاگ

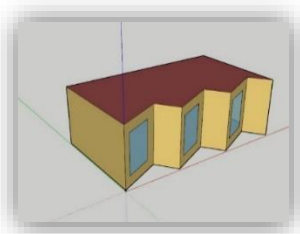
به منظور کاهش جذب بیش از حد گرما به حداکثر رساندن استفاده از تابش خورشید و فراهم کردن نور مورد نیاز برای اتاق، دیوار ترومب کلاسیک به اشکال مختلفی تغییر یافته و این منجر به ایجاد نوع دیگری از دیوار ترومب، یعنی دیوار ترومب زیگزاگ شده است. بازشدگی پنجره‌های دیوار ترومب زیگزاگ همگی به سمت جنوب شرق جهت‌گیری دارند و دیوار حرارتی به سمت جنوب غرب، هر دو به داخل کج شده‌اند تا یک دیوار به شکل ۷ شکل بگیرد (وانگ و همکاران، ۲۰۲).

۴- روش تحقیق

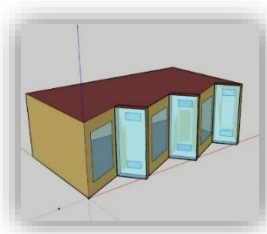
چون هدف ما در این مقاله صرفاً مقایسه کلی عملکرد دیوار ترومب و ترکیب آن‌ها باهم بود، مصالح استفاده شده در جداره‌ها را با توجه به استانداردهای اشری در نرم‌افزار انرژی‌پلاس در نظر گرفتیم و آیتم‌هایی که در شبیه‌سازی نرم‌افزار لحاظ کردیم جریان Airflownetwork و برنامه زمان‌بندی برای باز و بسته شدن دریچه‌ها بود که با توجه به فصول گرم و سرد سال به خصوص به لحاظ جلوگیری از ایجاد پدیده گلخانه در فصول گرم سال انجام گرفت. شبیه‌سازی‌ها طبق معیارهای هواشناسی اقلیم سرد و خشک شهر تبریز انجام گرفت. در وهله‌ی اول برای مقایسه حالت‌های پیشنهادی باید یک نمونه شاخصی داشته باشیم که همان دیوار ترومب مرجع یا کلاسیک می‌باشد. دومین شاخص در نظر گرفته شده برای مقایسه میزان مصرف برق (بار روشنایی) است چون هرچه قدر این کم‌تر شود روشنایی طبیعی هم بهتر خواهد شد.

در این مقاله مسئله مطالعه شامل بررسی و مقایسه عملکرد بار سرمایش، گرمایش و روشنایی دیوار ترومب و تأثیری که ترکیب دیوار ترومب با زیگزاگ بر عملکرد انرژی از جمله میزان جذب حرارت و تغییرات دما و کارایی انرژی و همچنین تامین نور طبیعی در اتاق می‌گذارد است. روشی که ما در مطالعه این تحقیق استفاده کرده‌ایم به صورت تجربی و با استفاده از شبیه‌سازی انرژی در نرم‌افزار انرژی‌پلاس صورت گرفته است. در ابتدا یک اتاق به ابعاد ۸*۵ متر و ارتفاع ۳ متر مجهز به سیستم دیوار ترومب کلاسیک (شکل ۳) با ۶ دریچه تهویه در بالا و پایین دیوار و استفاده از بتن به عنوان جرم حرارتی به ضخامت ۳۲ سانتی‌متر و فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین دیوار ترومب (جرم حرارتی) و پنجره رو به جنوب در نرم‌افزار رابط openstudio مدلسازی کرده و با استفاده از نرم‌افزار انرژی‌پلاس میزان بار مصرفی محاسبه شده است. در حالت دیگر طبق مشخصات گفته شده از ترکیب دیوار ترومب با سیستم جذب مستقیم استفاده کرده و به صورت زیگزاگ اتاق را مدلسازی کرده‌ایم، دیوار به شکل ۷ با زاویه تقاطع ۱۰۰ درجه که بازشدگی پنجره‌های جنوبی همگی به سمت جنوب شرقی و دیوار حرارتی به سمت جنوب غربی جهت‌گیری دارند (شکل ۴) و درصد نسبت بازشوها به دیوار جنوبی حدود ۵۰ درصد و به صورت ثابت در مقایسه با حالت اتاق بدون دیوار ترومب در نظر گرفته شده است (شکل ۵).

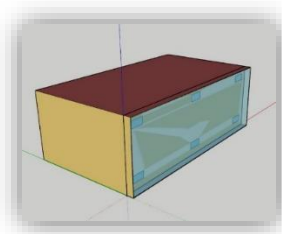
برای محاسبه میزان مصرف برق در نرم‌افزار مدلسازی با استفاده از آیتم کنترل روشنایی (daylighting control) و همچنین (illuminance map) و به کمک نرم‌افزار انرژی‌پلاس توانستیم میزان مصرف برق روشنایی را در هر دو حالت دیوار ترومب ساده و دیوار ترومب زیگزاگ خروجی بگیریم.



شکل ۵- اتاق بدون دیوار ترومب



شکل ۴- دیوار ترومب زیگزاگ

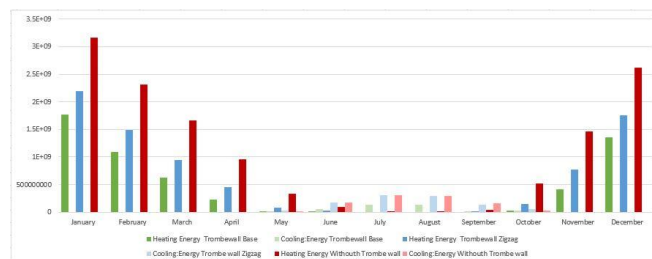


شکل ۳- دیوار ترومب ساده

۴- بحث و یافته‌ها

۴-۱- بار گرمایش و سرمایش

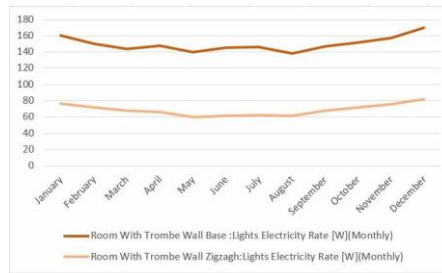
نتایج بدست‌آمده از میزان مصرفی بار گرمایش و سرمایش در سه حالت؛ ۱- اتاق مجهز به دیوار ترومب کلاسیک ۲- اتاق مجهز به ترکیب دیوار ترومب و جذب مستقیم (دیوار ترومب زیگزاگ) ۳- اتاق بدون دیوار ترومب، نشان می‌دهد که به ترتیب دیوار ترومب کلاسیک عملکرد انرژی بهتری نسبت به دیوار ترومب زیگزاگ و اتاق بدون دیوار ترومب دارد (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار مقایسه نتایج میزان مصرفی بار گرمایش و سرمایش در طول یک سال

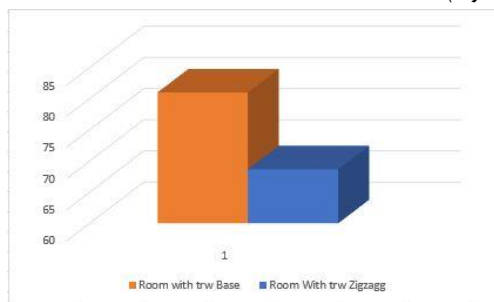
۴-۳- میزان مصرف برق (بار روشنایی)

همان‌طور که گفته شد یک از معایب دیوار ترومب کلاسیک جلوگیری از ورود نور طبیعی به اتاق است، هرچند با توجه به نتایج بدست‌آمده نشان داده می‌شود که عملکرد حرارتی و برودتی بهتری نسبت به دیوار ترومب زیگزاگ دارد اما از طرفی شاهد بالا رفتن مصرف انرژی الکتریکی به منظور تامین روشنایی در روز هستیم. با توجه به نتایج بدست‌آمده میزان مصرف برق برای روشنایی در روز در دیوار ترومب کلاسیک در مقایسه با دیوار ترومب زیگزاگ بیشتر است.

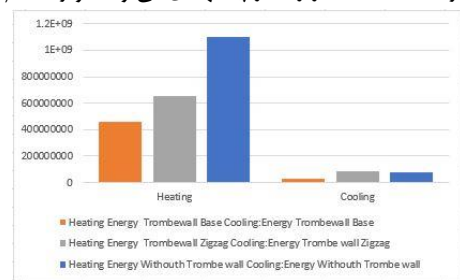


شکل ۷- نمودار مقایسه نتایج میزان مصرف برق (بار روشنایی) در طول یک سال

هرچند در دیوار ترومب کلاسیک عملکرد حرارتی و بروندی بهتری دارد ولی با افزایش مصرف برق به منظور تامین روشنایی در روز در واقع در صورت کلی نمی‌تواند در کاهش مصرف انرژی آن‌طور که باید موثر باشد. ما در این تحقیق می‌خواستیم بدانیم که میزان تاثیر ترکیب دیوار ترومب با سیستم جذب مستقیم بر مصرف بار گرمایش و سرمایش و روشنایی اتاق چقدر می‌تواند باشد و نتیجه بگیریم که به صورت کلی می‌تواند تاثیرگذار باشد یا نه، که با توجه به نتایج نمودارهای میانگین بدست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از راهکار پیشنهادی می‌تواند موثر باشد (شکل ۸ و ۹).



شکل ۹- نمودار مقایسه نتایج میانگین میزان مصرف برق (بار روشنایی)



شکل ۸- نمودار مقایسه نتایج میانگین میزان مصرف بار گرمایش و سرمایش

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌ها و شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این مقاله، نتایج نشان می‌دهد که دیوار ترومب کلاسیک عملکرد انرژی بهتری نسبت به دیوار ترومب زیگزاگ و اتاق بدون دیوار ترومب دارد. این نتیجه نشان‌دهنده قابلیت بالای دیوار ترومب کلاسیک در کاهش بار گرمایشی و سرمایشی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی است. یکی از معایب دیوار ترومب کلاسیک، جلوگیری از ورود نور طبیعی به اتاق است که منجر به افزایش مصرف انرژی الکتریکی برای تأمین روشنایی در روز می‌شود. به عبارت دیگر، افزایش سطح دیوار ترومب با حفظ یکنواختی نور می‌تواند بهبود عملکرد انرژی دیوار ترومب کلاسیک را تقویت کند. در مقایسه با دیوار ترومب زیگزاگ، مصرف برق روشنایی در دیوار ترومب کلاسیک بیشتر است. دیوار ترومب زیگزاگ، با فراهم کردن نور طبیعی بیشتر، باعث کاهش مصرف انرژی الکتریکی برای روشنایی در طول روز می‌شود. به طور کلی، استفاده از دیوار ترومب کلاسیک برای کاهش بار گرمایشی و سرمایشی مناسب است، اما مشکل افزایش مصرف برق برای روشنایی روز را به همراه دارد. ترکیب دیوار ترومب کلاسیک با دیوار ترومب زیگزاگ می‌تواند راهکاری موثر برای بهبود عملکرد کلی انرژی و کاهش مصرف برق روشنایی در طول روز باشد. نتایج نشان می‌دهد که این ترکیب می‌تواند به بهبود کارایی انرژی و تأمین نور طبیعی در اتاق کمک کند. این ترکیب می‌تواند به عنوان یک راهکار پایدار در طراحی ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت زندگی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. ابوالحسنی نوشین، ثقفی محمدجواد، (۱۳۹۳)، «دیوار ترومب»، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری
۲. خلیل زاده اقدمی رومینا، مفیدی شمیرانی سید مجید (۱۳۹۳)، «تحلیل و بررسی شیوه‌های اجرای معماری پایدار در
۳. طراحی فضاهای آموزشی»، چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران
۴. مشهور زینب، (۱۳۹۹)، «بررسی راهکارهای بهینه‌سازی سامانه‌های گرمایشی ایستا در رسیدن به معماری پایدار»، نشریه علمی تخصصی شباک، سال ششم، شماره ۴ (پیاپی: ۵۵)
5. Abbassi Fakhreddine, Naili Nabiha, Dehmani Leila. (2022). Optimum Trombe wall thickness in the Mediterranean Tunisian context: An energetic and economic study, Energy Science & Engineering
6. Chen Hongkuan, Liu Shuli, Eftekhari Mahroo, Li Yongcai, Ji Wenjie.(2022). Experimental Studies on the Energy Performance of a Novel Wavy-shape Trombe Wall, Loughborough University
7. Wang Xin, Xi Qiao, Qingsong. (2021). A review of current work in research of Trombe walls, 3rd International Conference on Civil Architecture and Energy Science (CAES 2021)
8. <https://sustainabilityworkshop.venturewell.org/buildings/trombe-wall-and-attached-sunspace.html>
9. Hu, Z.; He, W.; Ji, J.; Zhang, S. A review on the application of Trombe wall system in buildings. Renew. Sustain. Energy Rev. 2017, 70, 976–987
10. Zhang, H.; Tao, Y.; Shi, L. Solar Chimney Applications in Buildings. Encyclopedia 2021, 1, 409–422