بهینه سازی ساختارهای ساندویچی بکار رفته در صنعت هوافضا

میراسد میرزاپور[1]، محمدحسین بهشتی[1]

۱. پژوهشکده فرایند، تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران

صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

a.mirzapour@ippi.ac.ir

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

چکیده

ساختارهای ساندویچی از دو پوستهٔ نازک، سفت با استحکام و چگالی بالا و یک هستهٔ سبک و معمولاً ضخیم تشکیل شده‌اند. از ویژگیهای برجسته آنها، نسبت بسیار بالای استحکام و سفتی به وزن و خواص عایق حرارتی و صوتی عالی می‌باشد. که این امر موجب کاربرد گسترده آنها در صنایع مختلف نظیر صنایع ساختمان، هوا فضا و غیره شده است.در این مقاله نوع اسفنج پلی یورتان مناسب و چگالی بهینه آن، شرایط فرایندی بهینه از نظر دما و زمان ژل شدن رزین اپوکسی، میزان چسبندگی پوسته به هسته و خواص خمشی ساختارهای ساندویچی ساخته شده با هسته اسفنج پلی یورتان سخت و پوسته‌های کامپوزیتی الیاف شیشه-اپوکسی که در صنعت هوا فضا کاربرد دارد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که افزایش دما باعث افزایش چسبندگی پوسته به هسته می‌شود، افزایش چگالی به همراه افزایش دما باعث افزایش خواص خمشی سازه‌های ساندویچی می‌شود.

کلمات کلیدی: ساختار ساندویچی، کامپوزیت، رزین اپوکسی، الیاف شیشه، خواص خمشی، هوافضا

مقدمه

یک ساختار ساندویچی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است: دو پوسته نازک، سخت و با استحکام و چگالی بالا، یک هسته[1] سبک و معمولاً ضخیم که میان دو پوسته قرار می‌گیرد و لایه چسب که هسته را به پوسته می‌چسباند[۱]. مهمترین ویژگی این ساختار نسبت بالای استحکام و سفتی خمشی[2] به وزن، خواص عایق حرارتی و صوتی عالی[۲] و استعداد قابل توجه در کاهش وزن و سبک کردن سازه‌ها می‌باشد [۳]. اجزای این ساختار به تنهایی اجزایی نسبتاً ضعیف و منعطف هستند اما هنگامیکه در این ساختار قرار می‌گیرند؛ محصولی محکم، سفت، سخت و سبک بدست می‌آید[۴]. هدف اصلی چنین آرایشی افزایش استحکام و سختی یک صفحهٔ نازک با کمترین افزایش در وزن است[۵]. از این ساختارها بیشتر در مواردی استفاده می‌شود که نیروی اصلی وارد شونده به سازه نیروی خمشی باشد[۶].

هسته را می‌توان به اشکال مختلف مثل اسفنج[3]، لانه زنبوری و غیره ساخت[۷].اسفنج‌های با پایه پلی استایرن، پلی یورتان، پلی وینیل کلراید، پلی اتر ایماید، پلی متیل اکریل آمید (آکریلیک) با چگالی متفاوت کمتر از ۳۰ تا بیش از ۳۰۰ Kg/m^3 [۸]، فنولی اصلاح شده[۹] و اسفنج‌های پلی یورتانی، از هسته‌های رایج مورد استفاده هستند. لانه زنبوری‌های فلزی از آلومینیم تا تیتانیم و غیره فلزی مثل نامکس[4]، کاغذ مقوا و مواد ترموپلاستیکی، هسته‌های چوبی مثل بالزا[۱۰] و مواد جدید مانند اسفنج‌های هسته سلولی[5] که در کاربردهای با کارایی بالا استفاده می‌شوند؛ از انواع متداول هسته می‌باشند. برای انتخاب نوع هسته معیارهای متفاوتی مثل شناخت کامل طراحی مانند وزن مطلوب سازه، مشخصات فرایند تولید و جنبه‌های اقتصادی وجود دارد[۱۱]. پوستهٔ یک ساختار ساندویچی را می‌توان از هر ماده‌ای که بطور قابل توجهی سفت، محکم و نازک باشد، از تیتانیوم تا چوب ساخت اما متداولترین آنها کامپوزیت‌های پلیمری(پلیمرهای تقویت شده با الیاف) می‌باشند که از جمله آنها می‌توان به پلی استرها، اپوکسی‌ها و فنولی‌های تقویت شده با الیاف شیشه اشاره کرد. لایه چسب که وظیفهٔ آن محکم نگه داشتن و تثبیت پوسته‌ها بر روی هسته است؛ در انواع مختلفی مثل چسبهای فنولی، اپوکسی، یورتانی، پلی ایماید و غیره وجود دارند اما گاهی از لایه‌های چسب استفاده نشده و عمل اتصال توسط مواد در مرحلهٔ پخت صورت می‌گیرد.

تجربی

- مواد

در این پروژه از اسفنج پلی یورتان سخت نوع w ۶۱۰ که استحکام و چگالی خوبی داشت در هسته ساختار ساندویچی استفاده شد. پوسته‌های کامپوزیتی از الیاف شیشه نوع FRP با وزن واحد سطح ۱۰۰g/m^2 LY5052 و سخت کننده HY5052 استفاده شد. در این پروژه بدلیل چسبندگی اسفنج پلی یورتان به پوسته نیازی به استفاده از چسب نیست.

1- core
2- flexural stiffness
3-foam
4-nomax
5-cell core

- روش‌ها و دستگاه‌ها

برای تهیه پوسته‌های کامپوزیتی دو لایه الیاف شیشه بوسیله رزین اپوکسی لایه گذاری شد که ضخامت یک پوسته تقریباً ۰/۳ بود. اسفنج پلی یورتان که از اختلاط ایزوسیانات و پلی ال بصورت درجا تهیه می‌شد در حال پف کردن به داخل قالب ریخته می‌شد. روش قالبگیری، قالبگیری تماسی بود. بعد از گذاشتن کفه نرینه روی مادگی مجموع قالب زیر پرس ۲۵ تن با حداکثر دمای ۳۰۰ °C قرار داده می‌شد. ضخامت ساختار ساندویچی ۱ cm بود. در این پروژه ۵ حالت فرایندی در نظر گرفته شد که به تفضیل در بخش نتایج و بحث خواهد آمد. کلیه آزمونهای فیزیکی و مکانیکی مطابق استاندارد ASTM انجام شد.از دستگاه Instron مدل ۶۰۲۵ با حداکثر توان ۱۰۰KN جهت تعیین خواص خمشی استفاده شد.

نتایج وبحث

- انتخاب نوع اسفنج هسته ساندویچی

در این مقاله دو نوع اسفنج پلی یورتان سخت با نام تجارتی 420W, 610W خریداری شده از شرکت یورتان سیستم مورد بررسی قرار گرفت. برای بدست آوردن زمان کرمی شدن[۲] و زمان بالا آمدن[۳]، نمونه‌هایی به وزن نهایی ۴ گرم از پلی ال و ایزوسیانات 420W, 610W تهیه شد و هر کدام در یک مدت زمان معین و ثابت مخلوط شد و اجازه داده شد اسفنج به حالت آزاد بالا بیاید[۴] که در این ضمن زمان کرمی شد (مدت زمان بین شروع هم زدن دو جزء پلی ال و ایزوسیانات تا ایجاد اولین حبابهای گازی) و زمان بالا آمدن (مدت زمان بین شروع حباب تا زمان پایان یافتن بالا آمدن اسفنج) نمونه‌ها اندازه گرفته شد که نتایج آن در جداول (۱) و (۲) به ترتیب برای 420W, 610W آمده است. چگالی اسفنجهای تهیه شده نیز طبق استاندارد[۱۲] ASTM C271-94 اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جداول (۳) و (۲) آمده است.

لازم به ذکر است که دمای محیط در زمان آزمایش°C ۱۹ بود.

جدول۱- خواص اسفنج 420W

آزمایش	Cream time	Rise time (S)
۱	۲۰	۱۳۵
۲	۲۵	۱۵۰
۳	۲۷	۱۴۰
میانگین	۲۴	۱۴۲

1-cream time
2-rise time
3-free rise time

جدول۲- خواص اسفنج 610W

آزمایش	Cream time	Rise time (S)
۱	۴۰	۲۴۰
۲	۳۵	۲۴۵
۳	۳۵	۲۴۰
میانگین	۳۴	۲۴۲

جدول ۳- چگالی نمونه‌های اسفنج 420W تهیه شده در حالت بالا آمدن آزاد

آزمایش	حجم (m^3)	جرم (Kg)	چگالی Kg/m^3
۱	$۴/۱۸\times۱۰^{-۶}$	$۰/۱۹۳۳\times۱۰^{-۳}$	۴۶/۲
۲	$۶/۵۲\times۱۰^{-۶}$	$۰/۲۹۲\times۱۰^{-۳}$	۴۴/۸
۳	$۳/۸۱\times۱۰^{-۶}$	$۰/۱۶۹۲\times۱۰^{-۳}$	۴۴/۳
۴	$۳/۸۵\times۱۰^{-۶}$	$۰/۱۷۶\times۱۰^{-۳}$	۴۵/۸
۵	$۲/۳۷\times۱۰^{-۶}$	$۰/۱۰۲\times۱۰^{-۳}$	۴۳
۶	۲/۶۶	$۰/۱۱۹۴\times۱۰^{-۳}$	۴۵
چگالی میانگین	$۴۵Kg/m^3$		

جدول ۴- چگالی نمونه‌های اسفنج 610W تهیه شده در حالت بالا آمدن آزاد

آزمایش	حجم (m^3)	جرم (Kg)	چگالی Kg/m^3
۱	$۴/۹\times۱۰^{-۶}$	$۰/۲۸۸\times۱۰^{-۳}$	۵۹
۲	$۴/۹۶\times۱۰^{-۶}$	$۰/۲۸۸\times۱۰^{-۳}$	۵۸
۳	$۴/۱۷\times۱۰^{-۶}$	$۰/۲۴۶۳\times۱۰^{-۳}$	۵۹
۴	$۳/۴۸\times۱۰^{-۶}$	$۰/۲۰۹۱\times۱۰^{-۳}$	۶۰
۵	$۵/۴۲\times۱۰^{-۶}$	$۰/۳۳۶۲\times۱۰^{-۳}$	۶۲
۶	۳/۵۲	$۰/۲\times۱۰^{-۳}$	۶۳
چگالی میانگین	$۶۰Kg/m^3$		

با توجه به مشاهدات و نتایج بدست آمده به ۳ دلیل اسفنج 610W برای ادامه کار پروژه انتخاب شد:

۱ـ چسبندگی بالا

۲ـ زمان بالا آمدن طولانی‌تر که زمان مناسبتری برای ریختن اسفنج و بستن قالب را ارائه می‌کرد.

۳ـ چگالی بیشتر

- بررسی متغیرهای مؤثر در فرایند ساخت سازه ساندویچی

برای بررسی متغیرهای مؤثر فرایندی مثل دما و زمان ژل شدن رزین اپوکسی بکار رفته در تهیه پوسته‌های تقویت شده با الیاف شیشه ۵ حالت با شرایط فرایندی متفاوت درنظر گرفته شد و نمونه‌ای برای هر کدام تهیه شد که به تفضیل در ادامه خواهد آمد. این نمونه‌ها در یک قالب فلزی که به صورت نری و مادگی ساخته شده بود تهیه شدند. با استفاده از این قالب، قطعاتی به صورت یک صفحه صاف به ابعاد ۱cm×۳۰×۲۰ تهیه شدند.

از هر کدام از نمونه‌های ساخته شده، طبق استاندارد[۱۳] ASTM C 393-94 نمونه‌های آزمون خمش سه نقطه‌ای ۱۰×۸۰ mm تهیه و مورد آزمون قرار گرفت. درضمن چسبندگی پوسته‌ها با هسته نیز به صورت کیفی (چشمی) مورد بررسی قرار گرفت.

قطعه I

ـ شرایط فرایند

شرایط فرایند برای نمونه چنین بود که ابتدا دو پوسته در داخل قالبهای نر و ماده در دمای محیط لایه‌گذاری شد و بلافاصله بعد از اتمام لایه گذاری (لایه‌ها کاملاً خیس و مرطوب بود) اسفنج آماده شده به داخل کفه ماده قالب (در دمای ۲۵°C) ریخته شد و بعد از قراردادن کفه نر، مجموع قالب زیر پرس تحت فشار ۱۰ bar قرار داده شد.

ـ خواص مکانیکی

بعد از ۱۲ ساعت نمونه از قالب جدا شد و بعد از یک هفته نمونه‌های آزمون خمش تهیه شد. در قطعه تولیدی چسبندگی پوسته‌ها به هسته ضعیف بود، طوری که در ضمن برش قطعه، برای تهیه نمونه‌های آزمون خمش پوسته‌ها به راحتی از هسته جدا می‌شد. نتایج و خواص این قعطه در جدول ۵ آمده است.

جدول۵- خواص قطعه I

شماره نمونه	استحکام خمش (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	میزان خمش (٪)	چگالی اسفنج Kg/m^3
۱	۷/۲۰	۳۶۵/۵	۳/۰۳	
۲	۵/۶۶	۵۰۲/۶	۱/۹۱	
۳	۲/۲۹	۲۵۶/۳	۱/۳۴	
میانگین	۵/۰۵	۳۰۷/۹	۲/۰۹	۱۸۰
انحراف معیار	۲/۵۱	۵۵	۰/۸۶	

قطعه II

ـ شرایط فرایندی

شرایط فرایندی برای این قطعه تولیدی اینگونه بود که پوسته‌های بعد از لایه‌گذاری اجازه داده شد تا دردمای ۲۵°C کاملاً پخت شده و سطح آنها خشک شود، سپس در داخل کفه‌های قالب قرار گرفتند و در حالی که دمای قالب ۲۵°C بود اسفنج آماده شده که در حال بالا آمدن بود به داخل قالب ریخته شد و مجموع قالب زیر پرس تحت فشار ۱۰ bar قرار گرفت.

ـ خواص مکانیکی

این قعطه نیز بعد از ۱۲ ساعت از قالب جدا شد و بعد از یک هفته نمونه‌های آزمون خمش تهیه شد. در قطعه تولیدی چسبندگی پوسته‌ها به هسته ضعیف بود ولی نسبت به قعطه I چسبندگی بهتری داشت، طوری که به هنگام تهیه نمونه برای آزمون خمش نمونه‌ها دچار لب پریدگی شدید می‌شد اما به راحتی قطعه I پوسته‌هایش کنده نمی‌شد. با این وجود قطعه I استحکام خمشی بیشتری نسبت به قطعه II نشان داد. خواص این نمونه در جدول۶ نشان داده شده است.

جدول ۶- خواص خمشی قطعه II

شماره نمونه	استحکام خمش (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	میزان خمش (٪)	چگالی اسفنج Kg/m^3
۱	۵/۸۸	۴۱۲/۷	۲/۸۱	
۲	۴/۴۷	۲۷۸/۵	۲/۷۵	
۳	۳/۹۷	۲۴۸/۷	۳/۹۷	
۴	۳/۶۴	۳۱۳/۹۰	۳/۶۴	
۵	۲/۲۶	۱۵۶/۹	۲/۲۶	
۶	۲/۷۷	۲۸۸/۹	۲/۷۷	
میانگین	۳/۸۳	۲۸۳/۳	۳/۸۳	۱۷۲
انحراف معیار	۱/۲۸	۸۳/۵	۱/۲۸	

نتیجه‌گیری بین قطعه I و II: از آنجائیکه تنها تفاوت شرایط فرایندی این دو این است که پوسته‌ها در I مرطوب و در II کاملاًخشک بود، با این وجود نتایج آزمون خمش I بهتر از II می‌باشد. پس خیس بودن پوسته بهتر از خشک بودن آن است.

قطعه III

ـ شرایط فرایندی

شرایط فرایندی این قطعه چنین بود که لایه گذاری پوسته و پخت آنها در داخل کفه‌های قالب در دمای محیط انجام شد، اما موقع اسفنج‌ریزی دمای قالب به°C ۷۰ رسید.

ـ خواص مکانیکی

بعد از یک هفته نمونه‌های آزمون خمش تهیه شد. این نمونه‌ها چسبندگی پوسته به هسته نسبتاً خوبی داشتند. طوری که موقع برش نمونه‌ها لب پریدگی جزئی بوجود می‌آمد و جداشدگی پوسته از هسته وجود نداشت. خواص این نمونه در جدول ۷ آمده است.

جدول۷- خواص قطعه III

شماره نمونه	استحکام خمش (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	میزان خمش (٪)	چگالی اسفنج Kg/m^3
۱	۱۰/۲۶	۳۲۵/۹	۴/۲۰	
۲	۸/۳۱	۳۰۲/۵	۴/۸۰	
۳	-	۳۴۱/۹	-	
۴	-	۲۵۳/۱	-	
۵	-	۲۹۶/۱	-	
۶	-	۳۳۸/۱	-	
میانگین	۹/۲۸	۳۰۹/۶	۴/۵	۱۴۲
انحراف معیار	۱/۳۹	۳۳/۳	۰/۴۲	

قطعه IV

ـ شرایط فرایندی

شرایط فرایند این قطعه همان شرایط قطعه III بود، ولی با این تفاوت که قبل از اسفنج ریزی به سطوح پوسته‌های کاملاً خشک بود یک لایه رزین نازک اعمال شد.

ـ خواص مکانیکی

از این قطعه نیز بعد از یک هفته نمونه‌های آزمون خمش تهیه شد. این نمونه‌ها چسبندگی خوبی داشتند و موقع برش لب پریدگی جزئی حتی کمتر از قطعه III داشتند، یعنی قطعه IV چسبندگی بهتری نسبت به III داشت. با اینکه چگالی نمونه‌های یک قطعه III و IV تقریباً یکسان بود، ولی نتایج استحکام خمشی قطعه IV بهتر از III می‌باشد. خواص این قطعه در جدول۸ آمده است.

جدول۸- خواص خمشی قطعه IV

شماره نمونه	استحکام خمش (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	میزان خمش (٪)	چگالی اسفنج Kg/m^3
۱	۹/۲۸	۲۴۲/۱	۵/۴۶	
۲	۱۳/۵۴	۴۶۲/۱	۴/۴۶	
۳	۱۲/۵۰	۴۲۶/۱	۵/۰۹	
۴	۸/۷۱	۴۱۶/۵	۴/۱۶	
میانگین	۱۱/۰۱	۳۸۶/۹	۴/۷۹	۱۴۲
انحراف معیار	۱/۳۷	۹۷/۱	۰/۵۹	

تفاوت آشکار بین قطعه‌های III و IV این است که IV موقع اسفنج ریزی پوسته‌هایش توسط یک لایه رزین آغشته شد و دمای قالب باز در همان ۷۰°C ثابت نگه داشته شد. نمونه IV نتایج بهتری نسبت به III نشان می‌دهد. در ضمن قطعه IV نسبت به نمونه I نیز که پوسته‌هایش خیس و در دمای ۲۵°C تهیه شد نتایج بهتری را نشان می‌دهد. این مسأله وقتی قابل توجه‌تر است که چگالی اسفنج قطعه I(۱۸۷ Kg/m^3) و قطعه IV (۱۴۲ Kg/m^3) نیز مد نظر قرار گیرد.

قطعه V

ـ شرایط فرایندی

شرایط فرایند این قطعه همان شرایط III می‌باشد با این تفاوت که موقع اسفنج‌ریزی دمای قالب ۱۵۰°C بود. از آنجائیکه دما خیلی بالا بود موقع اسفنج ریز و قبل از بستن قالب مقدار زیادی از اسفنج بیرون ریخته شد. به همین دلیل چگالی اسفنج نسبت به نمونه‌های قبل خیلی پایین‌تر بود. ضمن اینکه اسفنج خشک، ترد و پفکی شده بود و حفره‌های بزرگی در نمونه وجود داشت و اسفنج سلولهای بسته بزرگتر و غیر یکنواخت‌تری نسبت به بقیه نمونه‌ها داشت. البته چسبندگی پوسته‌ها به هسته خیلی بهتر از نمونه‌های قبلی بود طوری که موقع برش قطعه جهت تهیه نمونه‌های آزمون خمش لب پریدگی جزئی نیز وجود نداشت.

ـ خواص مکانیکی

نتایج تست مربوطه در زیر آمده است ولی به دلیل چگالی پایین اسفنج که ۹۵ Kg/m^3 بود قابل مقایسه با بقیه قطعه‌ها نیست.

جدول ۴ـ۱۶ خواص قطعه V

شماره نمونه	استحکام خمش (Mpa)	مدول خمشی (Mpa)	میزان خمش (٪)	چگالی اسفنج Kg/m^3
۱	۳/۵۵۲	۱۲۷/۱۵۰	۶/۶۷۲	
۲	۲/۶۵۰	۱۲۷/۷۸۲	۸/۱۰۳	
۳	۱/۸۸۲	۷۷/۳۳۳	۳/۶۹۳	
۴	۱/۸۲۱	۹۲/۵۷۶	۳/۷۱۵	
۵	۲/۴۰۲	۱۶۶/۷۷۳	۱/۹۶۳	
۶	۲/۴۷۱	۱۴۷/۰۳	۴/۳۷۹	
میانگین	۲/۴۶۳	۱۲۳/۱۰۸	۴/۷۷۱	۹۵
انحراف معیار	۰/۶۲۸	۳۳/۳	۲/۲۲۸	

نتیجه گیری

با افزایش دما میزان چسبندگی هسته به پوسته بالا می‌رود ولی افزایش دما تا حدود ۷۰-۸۰°C مناسب است. و وقتی بیشتر از این محدوده باشد باعث ترد و شکننده شدن اسفنج و کاهش خواص مکانیکی می‌شود که نامناسب است.ضمن اینکه افزایش دما تا حدود ۷۰-۸۰°C باعث افزایش خواص مکانیکی بویژه استحکام خمشی و مدول خمشی نیز می‌شود. برای چسبندگی بهتر و بیشتر هسته به پوسته علاوه بر افزایش دما بهتر است فوم ریزی داخل قالب دارای پوسته‌های لایه‌گذاری شده زمانی انجام شود که رزین اپوکسی بطور کامل خشک نشده است تا امکان برهم کنش بین گروه‌های عاملی آن با اسفنج پلی یورتان وجود داشته باشد. با کاهش چگالی خواص خمشی ساختارهای ساندویچی بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

منابع و مراجع

1. Marshal, A.C., Core composite and Sandwich Structure" in International Encyclopedia of composite, Vol.6, Ed.LEE, S.M., VCH publishers, Inc., 1990, pp.445-465.
2. Marshal, A.C., " Sandwich Construction" in Handbook of Composites, Ed. Lubin, G., Van Nostrand Reinhold Book, 1982, pp. 557-601.
3. Johnson, A.F. and Sims, G.D., "Mechanical Properties and Design of Sandwich Materials", Composites, Vol. 17, No.4, 1986, pp. 321-328.
4. Corden, J., "Honeycome Structure" in Engineered Materials Handbook, Vol.1 (Composite), ASM International, Metals Park. OH, 1987, PP.721-728.
5. Gibbs and Cox,"Marine Design for Fiberglass Reinforced Plastic",1960,pp.180-185.
6. Rosato. D.V., "Designing with Reinforced Composite: Technology, Performance, Economics", Hanser, 1997, pp.240-245
7. Richardson, T., "Composite, a Design Guide", Industrial Press Inc., 1987, pp.123.
8. SP System "composite Material Handbook", SP System,1999.
9. Marshal, A.C., Core composite and Sandwich Structure" in International Encyclopedia of composite, Vol.1, Ed.LEE, S.M.,VCH publishers, Inc., 1990,pp. 488-506.
10. .Benning, C.J., "Plastic Foams", Vol.2, John-Wiley,1969, pp. 81-207.
11. Dohn, G., R., "How to Selec a Core Material", Reinforced Plasstics, Vol.43, No.5, May 1999, pp 22-27.
12. ASTM C271-94 " Test Method for Density of Core Materials for Structural Sandwich Constructions" , Annual Book of ASTM Standards, Vol.15, No. 3, pp. 1-4.
13. ASTM C 393-94 "Test Method for Flexural Properties of Flat Sandwich Constructions", Annual Book of ASTM Standards, Vol.15, No. 3, pp. 21-24.