

تخمین طول عمر و بررسی خواص مکانیکی نمونه های GRP پیر شده در محیط 33% HCl

سالار باقرپور¹، روح اله باقری²، احمد ساعتچی³

چکیده: بدست آوردن خواص مکانیکی نمونه های ساخته شده از پلی استر تقویت شده با الیاف شیشه (GRP) و تخمین طول عمر آنها پس از 15 سال نگهداری در انبار جهت تعیین دوام آنها برای استفاده در محیط اسیدی از اهداف این تحقیق می باشد. باقرار دادن نمونه ها در دماهای 35، 50 و 75°C به مدت زمانهای یک، دو و سه هفته و با توجه به خاصیت ویسکوالاستیک در پلیمرها و اعمال روش برهمنش منهنی های زمان - دما عمر باقیمانده نمونه ها 4/5 سال تعیین گردیده. پس از انجام آزمایشهای لازم ثابت شد که کاهش خواص مکانیکی در اثر نفوذ اسید به داخل نمونه ها به دلیل از هم گسیختگی فصل مشترک الیاف و زمینه می باشد.

واژه های کلیدی: پلی استر، الیاف شیشه، بر هم نهش دما- زمان، پیر شدن.

1. مقدمه

کامپوزیتهای پلیمری به دلیل هزینه های پایین تولید و خواص مکانیکی مطلوب، به طور گسترده ای در صنعت استفاده می شوند. از جمله کامپوزیتهای پلیمری می توان به پلیمر های تقویت شده با الیاف های شیشه، کربن و آرامید اشاره کرد. بسته به نوع آماده سازی کامپوزیتهای پلیمری می توان آنها را در محیطهای مرطوب، اسیدی، قلیایی و دماهای بالا به کاربرد [1]. قطعات پلیمری تقویت شده با الیاف شیشه (GRP) به دلیل نسبت استحکام به وزن بالا، و خواص مکانیکی مطلوبی که دارند در صنایع خودرو سازی، هوا فضا و ساختمان سازی جای فلزاتی نظیر فولاد و آلومینیوم را گرفته اند [2]. اگرچه عموماً این قطعات از کیفیت و خواص مکانیکی بالایی برخوردارند اما یکی از نگرانیهای تولید کنندگان، طول عمر آنها در حین کار است. تعیین طول عمر کامپوزیتهای پلیمری در کاربرد های

1- کارشناس ارشد، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

Salar_live@yahoo.com

2- استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

bagheri@cc.iut.ac.ir

3- استاد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

asaatchi@cc.iut.ac.ir

مختلف از مسایل مهم در صنعت به شمار می رود، زیرا مواد پلیمری هنگام فرایند های تبدیل به محصول و در حال استفاده به علت انجام واکنشهای شیمیایی تخریب می شوند و خواص مکانیکی آنها به صورت برگشت ناپذیر تغییر پیدا می کند که به این حالت پیر شدن گفته می شود. پیر شدن یک پدیده غیر قابل جلوگیری است [3]. البته با کنترل شرایط محیطی نظیر کاهش رطوبت و جلوگیری از رسیدن نور خورشید به محصولات می توان شدت پیر شدن را کاهش داد. علت اصلی پیر شدن در کامپوزیتهای پلیمری تشکیل رادیکالهای آزاد و قیچی شدن زنجیره های پلیمری است که با گذشت زمان افزایش می یابد [4]. از طرفی محیطهایی که قطعات و محصولات کامپوزیتی در معرض آنها قرار می گیرند تاثیر به سزایی در طول عمر این قطعات دارند. همچنین محیطهای اسیدی، قلیایی و مرطوب می توانند به عنوان پارامترهای کاهش دهنده طول عمر این محصولات محسوب شوند. یکی از متداول ترین روشها برای تعیین طول عمر قطعات کامپوزیتی با زمینه پلیمری، روش بر هم نهش منحنی های زمان - دما است. توسط این روش می توان پیر شدن کامپوزیتهای پلیمری را در اثر شرایط محیطی نظیر رطوبت، اسید و مواد قلیایی پیش بینی کرد [5]. در این تحقیق عمر باقیمانده و قابلیت استفاده نمونه های GRP پیر شده از طریق اندازه گیری خواص مکانیکی و به کار گیری روش بر همنهش زمان- دما انجام شده است.

2. روش تحقیق

1-2. تهیه نمونه ها

جدول 1، روش تهیه و تعداد نمونه ها، محیط، مدت زمان و دمای قرار گیری آنها را در اسید نشان می دهد. 30 عدد نمونه کامپوزیتی دمبلی شکل طبق استاندارد ISO 527-4 از قطعات نگهداری شده در انبار به مدت 15 سال، توسط برش با اره و شکل دهی با دستگاه فرز (Hekert 600) Universal تهیه شده است. این قطعات به روش پیچش فیلامنتی توسط کمپانی ایتالیایی N SGASSERO ساخته شده اند و در انباری مسقف دور از تابش مستقیم نور خورشید بین دمای 3- تا 45°C در فصول مختلف نگهداری شده است. در ساخت این قطعات از رزین پلی استر بیس فنل A (کد 53-G7D11) تقویت شده با الیاف شیشه نوع E استفاده شده و توسط یک لایه اپکسی سطوح آنها پوشش داده شده است. مدول الاستیسیته و استحکام نهایی یک نمونه استاندارد پلی استر تقویت شده با الیاف شیشه نوع E که از مراجع معتبر اخذ شده است با نتایج حاصل از این کار مقایسه شده است [6].

جدول 1. نحوه تهیه سازی نمونه های کامپوزیتی و زمان بندی قرار گیری آنها در اسید			
تعداد نمونه (عدد)	مدت زمان قرار گیری (هفته)	محیط قرار گیری	
3			نمونه مرجع
3	1	اسید کلریدریک 33٪	نمونه در دمای 35 °C
3	2		
3	3		
3	1	اسید کلریدریک 33٪	نمونه در دمای 50 °C
3	2		
3	3		
3	1	اسید کلریدریک 33٪	نمونه در دمای 75 °C
3	2		
3	3		

2-2. آزمایشها

نمونه های تهیه شده در سه دسته نه تایی در سه دمای مختلف طی یک، دو و سه هفته طبق جدول 1 در داخل اسید HCl 33٪ قرار داده شده اند. سپس این نمونه ها توسط دستگاه کشش سنج، Instron 4486 30 تنی یونیورسال طبق استاندارد ISO 527-4 مورد آزمون قرار گرفته و مدول الاستیسیته یانگ و استحکام نهایی آنها محاسبه شده است. تست خمش طبق استاندارد ASTM 790 انجام شده است. سه عدد از نمونه ها به عنوان نمونه مرجع بدون قرار گیری در اسید تحت آزمون کشش قرار گرفته اند. نتایج حاصل هر کدام اعلام میانگین اندازه گیری سه نمونه کامپوزیتی است. برای مشاهده تاثیر اسید بر فصل مشترک الیاف / زمینه عکس های SEM از سطح مقطع شکست نمونه ای که در اسید قرار نگرفته و نمونه ای که به مدت سه هفته در دمای 35 °C در اسید قرار داشته توسط دستگاه SEM، Philips XL 30 هلند، گرفته شده است.

2-3. روش پیش بینی طول عمر قطعات

از نتایج اندازه گیری مدول الاستیسیته یانگ (E) منحنی های زمان - دما بر حسب مدول الاستیسیته برای سه دمای 35، 50 و 75 °C رسم شده اند. برای تعیین طول عمر روش کار به این صورت است که منحنی دمای 35 °C به عنوان منحنی مرجع انتخاب می شود و دو منحنی دیگر به اندازه ای به سمت راست منتقل می شوند که بر روی منحنی مرجع بر هم منهدم شوند. برای برقراری ارتباط بین مقدار مدول الاستیسیته نمونه ها در دمای محیط و دمای بالا فاکتور انتقال (a_T) تعریف می شود. این فاکتور بیان کننده مقدار فاصله ای است که منحنی بر هم منهدم شده باید به سمت راست حرکت کند تا زمان کاهش مدول الاستیسیته در دمای بالا به زمان نزول آن در دمای محیط تبدیل شود. منحنی فاکتور

انتقال بر حسب دما، توسط مقدار فاصله های انتقالی منحنی های 50 و 75°C رسم می شود. با بدست آوردن معادله منحنی a_T و قرار دادن دمای محیط (300K) در این معادله، مقدار فاصله ای که منحنی بر هم نهش شده باید به سمت راست حرکت کند به دست می آید. با انتقال منحنی بر هم نهش شده با توجه به مقدار a (300) منحنی مادر بدست می آید. حداکثر زمان بدست آمده از منحنی مادر به عنوان زمان طولانی مدت محسوب می شود و با تقسیم این زمان به زمان تسریع شده (سه هفته) فاکتور تسریع (k) بدست می آید. با محاسبه این فاکتور و داشتن مدول الاستیسیته اولیه (E_0)، مدول الاستیسیته در زمانهای طولانی محاسبه می شود.

4. یافته ها

جدول 2 استحکام کششی نهایی (UTS)، استحکام خمشی و مدول الاستیسیته یانگ (E) نمونه استاندارد کامپوزیت پلیمری را در مقایسه با نمونه های پیر شده نشان می دهد. نمونه استاندارد از پلی استر تقویت شده با الیاف شیشه ساخته شده است.

جدول 2. استحکام کششی نهایی و مدول الاستیسیته یانگ نمونه استاندارد کامپوزیت پلیمری را در مقایسه با نمونه

های پیر شده

استحکام کششی نهایی (MPa)	مدول الاستیسیته یانگ (GPa)	استحکام خمشی (MPa)	
138	12/8	215	نمونه استاندارد
75	8/13	184	نمونه پیر شده پس از 15 سال

مشاهده می شود که استحکام کششی نهایی و مدول الاستیسیته نمونه های استاندارد به ترتیب 138 MPa و 12/8 GPa [6] می باشد. در صورتی که این مقدار برای نمونه های پیر شده 75 MPa و 8/13 GPa است. استحکام خمشی نیز از پس از 15 سال از 215 به 184 MPa کاهش یافته است. از دلایل کاهش خواص مکانیکی در نمونه های پیر شده می توان به تاثیر احتمالی اشعه UV بر روی زمینه پلیمری اشاره کرد. اگر چه قطعات دور از نور خورشید نگهداری می شدند اما اشعه UV همواره در محیط وجود داشته و بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی قطعه تاثیر گذار بوده است. با تابش اشعه UV به قطعات کامپوزیت پلیمری، در زمینه پلیمری رادیکالهای آزاد بوجود می آیند و از واکنش این رادیکالها با اکسیژن، هیدرو پراکسید تشکیل می شود. حاصل واکنشهای اکسیداسیون ترکیبات اکسیژن دار (مانند آلدیدها و کتونها) هستند. کاهش خواص مکانیکی به علت قیچی شدن زنجیره های بلند ملکولی و تشکیل چنین ترکیباتی می باشد. با تخریب زمینه پلیمری اتصال بین الیاف و زمینه کاهش می یابد و هنگام اعمال بار به قطعه، بار وارده به خوبی از زمینه به الیاف منتقل نمی شود و

استحکام و مدول الاستیسیته افت پیدا می کند [4،7]. با توجه به مدت زمان نگهداری قطعات در انبار و رطوبت موجود در هوا در فصول مختلف، نفوذ رطوبت نیز از عوامل تخریب کننده به حساب می آید. رطوبت هم می تواند با هیدرولیز عوامل استری زمینه پلیمری و کاهش اتصال فصل مشترک الیاف و زمینه موجب کاهش خواص مکانیکی کامپوزیت شود [7،8]. افزایش درجه حرارت نیز از عوامل تسریع کننده تخریب قطعات کامپوزیتی است. با افزایش دما میل ترکیبی رادیکالهای آزاد با اکسیژن افزایش می یابد و اکسیداسیون حرارتی تسریع شده و در نتیجه خواص مکانیکی زمینه پلیمری بیشتر کاهش می یابد. از طرف دیگر به دلیل متفاوت بودن ضریب انبساط حرارتی الیاف و زمینه، انبساط و انقباض های بوجود آمده در کامپوزیت باعث جدایش الیاف از زمینه شده و کاهش خواص مکانیکی این دوفاز را موجب می شود [4،7،9].

جدول 3 و 4 به ترتیب استحکام کششی نهایی (UST) و مدول الاستیسیته یانگ (E) نمونه های قرارداده شده در 33% HCl در دماها و زمانهای مختلف غوطه وری را نشان می دهد.

جدول 3. استحکام کششی نهایی پس از غوطه وری در 33% HCl در دماها و زمانهای مشخص (MPa)

نمونه مرجع	دما			زمان
	75 °C	50 °C	35 °C	
_____	33	34	48	هفته اول
_____	27	31	42	هفته دوم
_____	24	29/5	36	هفته سوم
75	_____	_____	_____	بدون قرار گیری در اسید

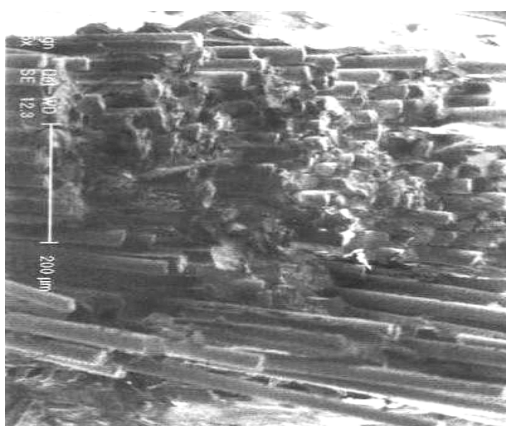
جدول 4. مدول الاستیسیته یانگ پس از غوطه وری در 33% HCl در دماها و زمانهای مشخص (GPa)

نمونه مرجع	دما			زمان
	75 °C	50 °C	35 °C	
_____	3/1	3/4	3/5	هفته اول
_____	2/6	2/8	3/2	هفته دوم
_____	2/4	2/6	3/1	هفته سوم
8/13	_____	_____	_____	بدون قرار گیری در اسید

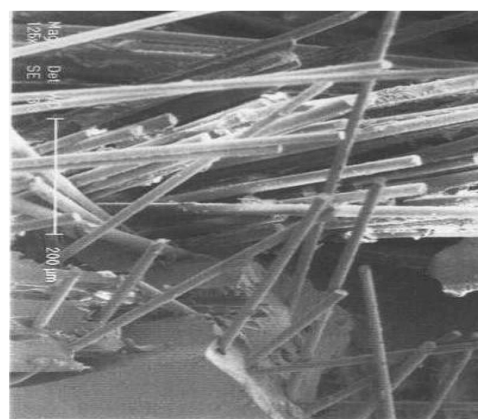
مشخص است که در اثر قرار دادن نمونه ها در داخل اسید، استحکام کششی و مدول الاستیسیته آنها به شدت افت پیدا می کند. افت خواص مکانیکی با افزایش دما و گذشت زمان قرارگیری نمونه ها در اسید، رابطه مستقیم دارد. هرچه دما و زمان نگهداری نمونه ها در اسید بیشتر شود، افت استحکام و

مدول الاستیسیته نیز بیشتر خواهد شد. مشاهده می شود که در هفته های اول، دوم و سوم با افزایش دما استحکام کششی و مدول الاستیسیته کاهش پیدا می کند، همچنین اختلاف افت استحکام نیز کمتر می شود. کاهش تدریجی استحکام با اثر گذشت زمان و افزایش دما، در نمونه های کامپوزیتی که در محیط های اسیدی به سر می برند قابل توجیه است.

علاوه بر عوامل مخرب ذکر شده که در هنگام نگهداری در انبار باعث نزول خواص مکانیکی می شوند، حضور اسید نیز بر شدت تخریب می افزاید. نفوذ اسید در پلیمرها، مخصوصا آنهایی که در زنجیره اصلی خود حاوی عوامل استری هستند باعث هیدرولیز شدن و قیچی شدن زنجیره های پلیمری می شود. در نتیجه، کاهش وزن ملکولی ناشی از قیچی شدن زنجیره ها منجر به کاهش استحکام و مدول الاستیسیته خواهد شد [10]. همچنین نفوذ اسید به درون نمونه های کامپوزیتی ممکن است باعث حل شدن مواد اتصال دهنده¹ در سطح الیاف شده و اتصال الیاف و زمینه را ضعیف نماید که این باعث کاهش استحکام فصل مشترک بین زمینه و الیاف شیشه می شود. با رسیدن اسید به الیاف شیشه، یک تبادل بین کاتیونهای فلزی (مانند Na^+ , Ca^+ , Mg^+) در سطح الیاف و پرتونها در محلول اسید رخ می دهد که باعث می شود عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم و آلومینیوم از سطح الیاف بر داشته شوند. همچنین با آزاد شدن یون Cl^- از اسید و نفوذ آن در زمینه پلیمری، اتصال بین نجره ها سست می شود و در نتیجه چنین تغییراتی خواص مکانیکی کاهش می یابد [10 و 11]. (شکل 1، الف و ب) تصاویر SEM سطح مقطع شکست دو نمونه پیر شده GRP قبل از قرار گیری در اسید و بعد از



شکل 1 (الف). سطح مقطع شکست نمونه پیر شده GRP قبل از قرار گیری در اسید در محیط



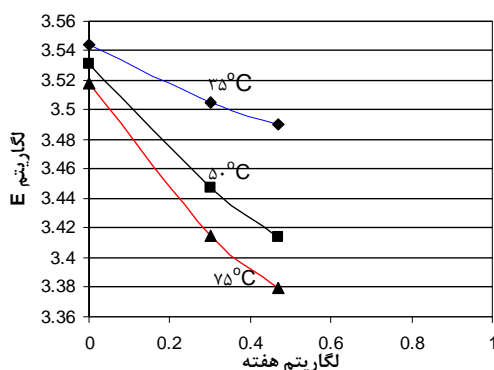
شکل 1 (ب). سطح مقطع شکست نمونه پیر شده GRP بعد از قرار گیری به مدت سه هفته در اسید در دمای $35^{\circ}C$

¹ Coupling agent

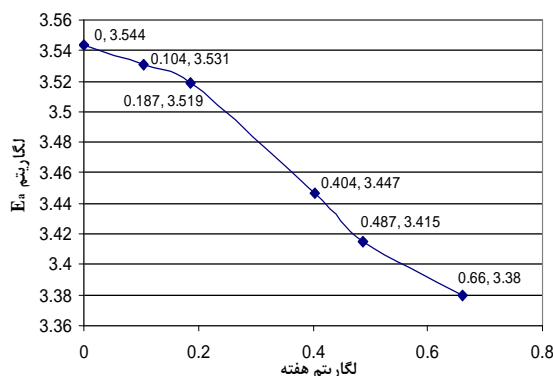
قرارگیری در اسید را نشان می‌دهد. در شکل (1، الف) که مربوط به نمونه قبل از قرار گیری در اسید است الیاف ها کاملا منظم و منسجم مشاهده می‌شوند. البته تعدادی از الیاف ها از زمینه بیرون کشیده شده‌اند که دلیل آن پیر شدن قطعه در مدت 15 سال نگهداری در انبار است. شکل (1، ب)، میکرو گراف نمونه‌ای که به مدت سه هفته در اسید قرار گرفته است، بیرون کشیده شدن الیاف از زمینه و بهم ریختگی آنها را در اثر نیروی کشش به خوبی نشان می‌دهد. این میکرو گراف نفوذ اسید به داخل قطعه و کاهش استحکام فصل مشترک را در اثر نفوذ اسید تصدیق می‌کند.

5. بحث

برای بدست آوردن عمر باقیمانده نمونه‌ها از روش بر همنهش نمودار های زمان - دما استفاده شد. مدول الاستیسیته بدست آمده از نمونه‌ها در جدول 4 نشان داده شده است و منحنی های مدول الاستیسیته بر حسب زمانها و دماهای مختلف غوطه وری در شکل (2) نمایان می‌باشد. در شکل (3) مشاهده می‌شود که سه منحنی شکل (2) پس از بر همنهش و قبل از منظور نمودن مقدار انتقال تبدیل به یک منحنی موسوم به منحنی مادر شده‌اند.



شکل 2. منحنی های تغییرات مدول الاستیسیته بر حسب زمانها و دماهای مختلف غوطه وری



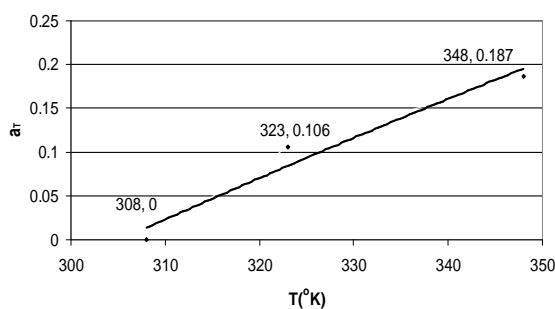
شکل 3. منحنی مادر ناشی از بر همنهش منحنی های شکل 2 قبل از اعمال مقدار انتقال

فاصله جابجا شده منحنی های شکل 2 (مقدار فاکتور انتقال (a_T)) برای بر همنهش، در جدول 5 آورده شده است.

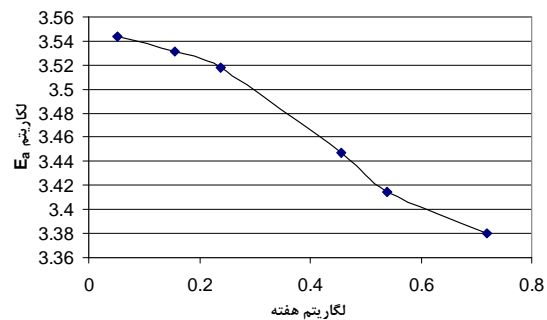
جدول 5. مقدار فاکتور انتقال

دما ($^{\circ}\text{K}$)	308	323	348	300
a_T	0	0/104	0/187	0/051

منحنی a_T بر حسب دما حاصل از مقادیر جدول 5 در شکل 4 نشان داده شده است. معادله آن با معیار لگاریتمی به صورت معادله (1) می باشد. با استفاده از معادله (1) مقدار $a(300)$ محاسبه شده و منحنی شکل (3) به ازای $a(300)$ به سمت راست حرکت کرده و منحنی مادر طبق شکل (5) حاصل شده است.



شکل 4. تغییرات a_T فاکتور انتقال بر حسب دما



شکل 5. منحنی مادر حاصل از شکل 3 پس از اعمال مقدار انتقال

$$a_T = 1.4921 \ln(T) - 8.536 \quad (1)$$

مقدار مدول الاستیسیته (E_a) از معادله (2) که با استفاده از منحنی مادر که پس از مقدار انتقال بدست آمده، محاسبه می شود.

$$E_a = 3617 - 768 \ln t \quad (2)$$

جدول 6 نحوه بدست آوردن فاکتور تسریع را نشان می دهد.

جدول 6. نحوه بدست آوردن فاکتور تسریع

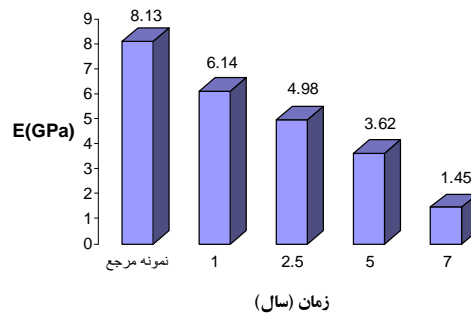
هفته	لگاریتم هفته	
3	0/44	زمان قرار گیری نمونه در اسید در دمای بالا
5/25	0/72	زمان قرار گیری نمونه در اسید در دمای محیط
$5/25 \div 3 = 1/73$		فاکتور تسریع (k)

با توجه به مفهوم این فاکتور، $k = 1/73$ به این معنا است که تاثیر هر هفته قرار گیری نمونه در شرایط تسریع شده برابر با $1/73$ هفته قرار گیری آن در شرایط معمولی می باشد.

با داشتن E_a ، k و مدول الاستیسیته اولیه (E_0)، توسط معادله (3) [4] مدول الاستیسیته در زمانهای طولانی (E_l) محاسبه می شود

$$E_l = E_0 + \frac{1}{k} \int_0^t E'_a dt \quad (3)$$

شکل (6) نتایج محاسبه مقدار مدول الاستیسیته بدست آمده در زمانهای طولانی از معادله (3) را نشان می دهد.



شکل 6. مدول الاستیسیته بدست آمده در زمانهای طولانی از رابطه (3)

از شکل فوق مشاهده می شود که مقدار مدول الاستیسیته از سال پنجم به بعد افت بیشتری نسبت به سال های قبلی پیدا کرده است و استفاده از این قطعات از سال پنجم به بعد نباید انجام شود.

6. نتیجه گیری

قطعات کامپوزیت پلیمری با زمینه پلی استر و الیاف شیشه نوع E که به مدت 15 سال در انبار نگهداری شده اند، در اثر گذشت زمان پیر شده و خواص مکانیکی آنها کاهش یافته است. استحکام نهایی و مدول الاستیسیته نمونه پیر شده به دلیل تغییراتی که در طی سالهای نگهداری در انبار بر روی آنها اعمال شده، نسبت به نمونه استاندارد به ترتیب 63MPa و 4/67GPa نزول پیدا کرده است و استحکام خمشی از 215 به 184 MPa کاهش یافته است. با غوطه ور ساختن نمونه های کامپوزیتی در اسید 33% HCl در زمانها و دماهای مختلف، در اثر نفوذ اسید به داخل زمینه و از بین رفتن فصل مشترک بین الیاف و زمینه، استحکام کششی و مدول الاستیسیته یانگ کاهش پیدا می کند. با افزایش زمان و دمای غوطه وری، افت استحکام و مدول الاستیسیته افزایش می یابد. طول عمر قطعات کامپوزیت پلیمری مورد مطالعه برای استفاده در محیط 33% HCl با استفاده از روش بر همنهش زمان - دما 4/5 سال تعیین شده است.

مراجع

- [1] H.Gu, S.Hongxia, "Effect of Water Absorption on the Mechanical Properties of Glass/Polyester Composites", Materials and Design, March 2006.
- [2] D.Roylance, "Introduction to Composite Materials", Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology, March 24, 2000.
- [3] C.Baley. P.Davies and Y.Grohens, "Application of Interlaminar Tests to Marine Composites". A Literature Review, Applied Composite Materials, Volume 11, Number 2 , March 2004, pp. 99-126.
- [4] A S Maxwell, WR Broughton, G Dean, "Review of accelerated aging methods and lifetime prediction techniques for polymeric materials", National physical laboratory, 2005, pp.12-24.
- [5] A.Caceres, R.Jamond, T.A. Hoffard and L.J. Malvar, "Accelerated Testing of Fiber Reinforced Polymer Matrix Composites", Naval Facilities Engineering Service Center California, August 2000.
- [6] C.A.Harper, Handbook of Plastic, Elastomers & Composites, Mc Graw-Hill Handbooks, Fourth Edition, 2002.
- [7] سالار باقرپور، « بررسی کیفیت و عمر باقیمانده کامپوزیتهای فایبر گلاس» پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.
- [8] Y. Xi, S. Chang and A. Asiz "long-Term durability Of Fiber-Reinforced polymers and In-Situ Monitoring Of FRP Bridge Decka at Oflon Park Bridge", Report No. CDOT-DTD-R-2004-03, pp.8-44.
- [9] Surendra Kumar M, Neeti Sharma and B. C. Ra "Acidic Degradation of FRP Composites", National Conference on Developments In Composites (NCDC-2007).
- [10] S. Kajorncheappungam, Rakesh R. Gupta, Hota V.S. GangaRao "The Effect of Aging Environment on the Degradation of Glass Reinforced Epoxy", West Virginia Department of Transportation Division of Highway , March 2003.
- [11] Joshua L. Mounts, M.S thesis, West Virginia University, 2007.

Life time Prediction and Mechanical Properties Measuring of Aged GRP Specimens in 33% HCl Environment

S.Bagherpour¹, Salar_live@yahoo.com
R.Bagheri², bagheri@cc.iut.ac.ir
A.Saatchi³, asaatchi@cc.iut.ac.ir

Keywords: Polyester, Glass fiber, Time-temperature super position principle, Aging.

Abstract: In this study 15 years aged glass fiber reinforced polymer specimens contained E-glass as reinforcement (GRP) were used. Effect of acid immersion on tensile and flexural strength in various times and different temperatures was investigated. After immersion in acid at 35, 50 and 75°C it was revealed that, the samples showed a significant reduction in tensile and flexural strength. SEM photos show failure mode of samples and proved that one of the reason of strength reduction is degradation of fiber/ matrix interfacial bond. By using the time-temperature super position principle regarding the viscoelastic property of polymers, after employing the shift factors the master curve was obtained from the modulus-time curves at various temperature. And by using the data from this curve and doing necessary calculations remaining life time of the samples was 4.5 year.

¹ - Islamic Azad University Najafabad Branch

² - Isfahan University of Technology

³ - Isfahan University of Technology