



ISAV2022

دوازدهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات

تهران - ایران ۲۳ و ۲۴ آذر ماه ۱۴۰۱



تأثیر لاستیک معیوب کوپلینگ انعطاف پذیر تجهیزات دوار بر افزایش مقادیر ارتعاش

حسام آل یاسین

ایران، بجنورد، کارخانه پتروشیمی خراسان، کارشناس واحد CM

h.aleyasin.2011@gmail.com

چکیده

امروزه استفاده از تکنیک های CM^۱ به خصوص آنالیز ارتعاشات، جهت بررسی عیوب و رفع اشکال از تجهیزات دوار به عنوان یک اصل پذیرفته شده است. کوپلینگ ها به عنوان یکی از اجزای مهم تجهیزات دوار وظیفه انتقال قدرت از محور ماشین محرک به متحرک را دارند. عیوب کوپلینگ ها ناشی از ناهم راستایی بین محورهای ماشین محرک و متحرک و خرابی یکی از قطعات کوپلینگ، موجب افزایش اتلاف انرژی، افزایش ارتعاشات، داغ کردن یاتاقان ها و وقوع بسیاری از خرابی های پیش بینی نشده می شود. در این تحقیق عیب یابی دستگاه اسکرابر واحد بارگیری کارخانه پتروشیمی خراسان مورد مطالعه قرار می گیرد که به کمک صداسنجی و آنالیز ارتعاشات به ارزیابی وضعیت ماشین، شناسایی عیب و قطعات آسیب دیده و نقش CM در پیشگویی مدت زمان کاری باقیمانده دستگاه پرداخته شده است. در نهایت عیب موجود در دستگاه، خرابی لاستیک کوپلینگ انعطاف پذیر بین هیدروکوپلینگ و جعبه دنده تشخیص داده شد و نسبت به تعمیر دستگاه و تعویض به موقع قطعه مذکور اقدام گردید.

کلمات کلیدی: آنالیز ارتعاشات؛ اسکرابر؛ لاستیک کوپلینگ

۱- مقدمه

نگهداری و تعمیرات پیشبینانه مبتنی بر پایش وضعیت به منظور کاهش هزینه ها و روشهای نگهداری و تعمیرات، به طور گسترده توسط صاحبان صنایع مورد استقبال قرار گرفته است. در این روش نحوه کارکرد ماشین، مشخص کننده زمان مناسب برای تعمیر یا تعویض اجزای آن است و یک قطعه از ماشین تا زمانی که کارکرد مناسبی داشته باشد، مورد استفاده قرار میگیرد. آنالیز

^۱ Condition Monitoring

ارتعاشات، آنالیز صدای دستگاه، آنالیز روغن و ترموگرافی یا تصویربرداری حرارتی به عنوان روش های متداول پایش وضعیت در عیب یابی تجهیزات دوار شناخته شده اند. بدون شک آنالیز ارتعاشات از مهمترین روش های پایش وضعیت در شناسایی عیوب تجهیزات دوار می باشد که از توقف های ناخواسته در سیستم جلوگیری می نماید.

تاکنون گزارش های زیادی در رابطه با تکنیک آنالیز ارتعاشات در پایش وضعیت تجهیزات دوار گزارش شده است. بهزاد و همکاران با استفاده از روش آنالیز ارتعاشات، پمپ های انتقال گل در صنعت حفاری را مورد پایش قرار دادند [۱]. فیروزآبادی و همکاران با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات، جعبه دنده آسیای هوایی مجتمع گل گهر سیرجان را مورد مطالعه قرار دادند و توانستند عیب دستگاه مورد نظر را تشخیص دهند [۲]. وزیر سرشک از آنالیز ارتعاشات جهت اصلاح طراحی پره های فن استفاده نمود [۳]. جعفری و الهی فر با کمک آنالیز ارتعاشات به بررسی عیب پمپ گریز از مرکز مجتمع جهان فولاد سیرجان پرداختند [۴]. آل یاسین با انجام آنالیز ارتعاشات، خرابی یاتاقان کف گرد پمپ نمک مذاب واحد ملامین پتروشیمی خراسان را تشخیص داده و عمر یاتاقان مورد نظر را محاسبه نمود [۵].

به طور کلی ارتعاش در تجهیزات دوار ناشی از دو پارامتر نیروهای ارتعاش زا و مقاومت مکانیکی ماشین می باشد و همیشه تا حدی ارتعاش در ماشین آلات دوار وجود دارد که مجاز شمرده می شود، اما عیوب ایجاد شده در تجهیزات دوار منجر به افزایش ارتعاشات می گردد که با شناسایی این عیوب، از بروز آسیب های ناشی از این خرابی ها جلوگیری می گردد. برخی از عوامل ایجاد نیروهای ارتعاش زا در ماشین آلات دوار عبارتند از: نامیزانی جرمی، ناهمراستایی کوپلینگ، خارج از مرکزی، محور خمیده، اشکالات الکتریکی، اشکالات آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی، تماس قطعات متحرک و ثابت، خوردگی اجزا و قطعات و... می باشد. مقاومت مکانیکی یا امپدانس در برابر حرکت، از خصوصیات هر سیستم مکانیکی است که شامل سه مؤلفه جرم، سفتی و میرایی می باشد. مهمترین عواملی که از طریق تأثیر بر امپدانس منجر به ایجاد ارتعاش میشوند، عبارتند از: لقی مکانیکی، تحریک فرکانس های طبیعی اجزای ماشین (تشدید)، ضعف در فونداسیون تجهیزات، ضعف بودن سازه و ...

واحد CM پتروشیمی خراسان با ایجاد بانک اطلاعاتی جامع و کاربردی مانند گزارشات مستمر گروه CM، نظر کارشناسان و آنالیز اطلاعات پایش وضعیت، کمک بسیار شایانی در نگهداری تجهیزات و کاهش هزینه ها برعهده دارد.

۲- عیب یابی کوپلینگ ماشین های دوار

کوپلینگ ها یکی از سیستم های انتقال قدرت مکانیکی می باشد که گشتاور را از محور ماشین محرک به متحرک منتقل می کنند. از ماشین آلات دوار محرک میتوان به الکتروموتور، توربین گاز، توربین بخار، موتورهای احتراق داخلی و متحرک به پمپ، کمپرسور، دمنده، هواکش و همزن اشاره نمود. به طور کلی کوپلینگ ها بر اساس ساختمان و اجزایشان به دو دسته صلب و انعطاف پذیر تقسیم بندی میشوند.

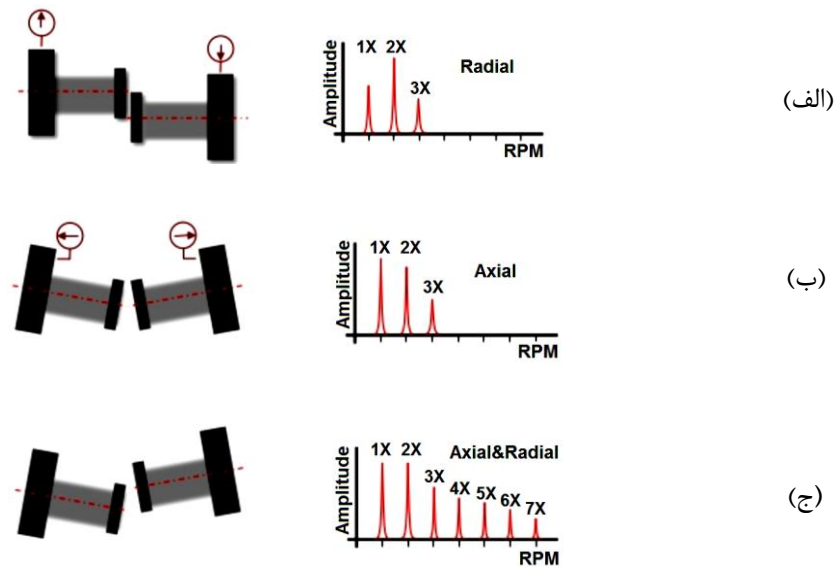
عیوب ناشی از کوپلینگ ها از دو عامل زیر ناشی میشود:

۱- ناهمراستایی بین محورهای ماشین محرک و متحرک

۲- خرابی یکی از قطعات کوپلینگ

سه نوع وضعیت ناهمراستایی وجود دارد: ناهمراستایی موازی، ناهمراستایی زاویه ای و ناهمراستایی مختلط که در واقع ترکیبی از دو ناهمراستایی موازی و زاویه ای می باشد.

عدم هم محوری ماشین های محرک و متحرک بعد از نامیزانی جرمی شایع ترین عیب در ماشین آلات دوار می باشد که باعث افزایش مصرف انرژی از ماشین محرک میشود، با این حال ناهمراستایی زیاد در کوپلینگ موجب افزایش بارهای یاتاقان و کاهش عمر آن شده و حتی باعث آسیب به ماشین های محرک و متحرک میشود. عدم هم محوری کوپلینگ باعث افزایش ارتعاش تجهیز دوار می شود که در آنالیز ارتعاشات به بررسی و تشخیص این عیب مهم پرداخته شده است. با بررسی طیف های فرکانسی سرعت، دامنه های ارتعاشی بر روی یک برابر دور (1X) در عیب ناهمراستایی زاویه ای و دو برابر دور (2X) در عیب ناهمراستایی محوری، غالب می باشند. در شکل ۱ انواع ناهمراستایی همراه با طیف های ارتعاشی مربوط به آنها نمایش داده شده است.



شکل ۱. انواع ناهمراستایی همراه با طیف های ارتعاشی مربوط به آن ها (الف): ناهمراستایی موازی، (ب): ناهمراستایی زاویه ای، (ج): ناهمراستایی ترکیبی

۳- معرفی تجهیز مورد مطالعه

کارخانه پتروشیمی خراسان از واحدهای مختلفی تشکیل شده است که در هر یک از آنها، بخشی از مراحل تولید محصول کود اوره انجام می شود. در واحد بارگیری پتروشیمی خراسان، کود اوره به عنوان محصول نهایی بسته بندی شده و از این واحد برای مصرف کننده ارسال می گردد. اسکرابر واحد بارگیری پتروشیمی خراسان یکی از دستگاه های مهم این واحد می باشد که وظیفه برداشت محصول از انبار و انتقال آن بر روی نوار نقاله را انجام می دهد، به طوری که توقف این دستگاه به علت خرابی، توقف بارگیری را به دنبال خواهد داشت که در واقع به منزله کاهش حجم بارگیری و تحمیل خسارت های مالی است. در تجهیز مورد بررسی، انتقال قدرت از الکتروموتور، به ترتیب توسط هیدروکوپلینگ، کوپلینگ انعطاف پذیر و جعبه دنده به پاروهای که با زنجیر به هم متصل هستند منتقل می شود. در جدول ۱ مشخصات فنی اسکرابر آورده شده است.

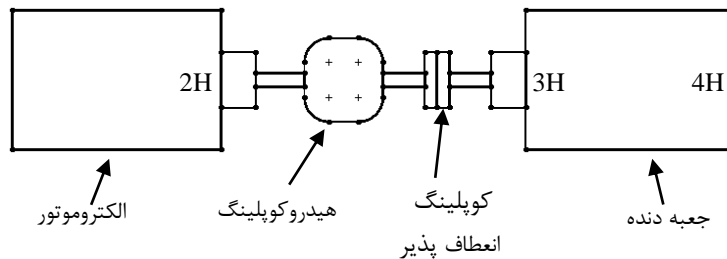
جدول ۱. مشخصات اسکرابر

توان نامی الکتروموتور	55 Kw
سرعت دورانی الکتروموتور	1500 rpm
مشخصات کوپلینگ ها	هیدروکوپلینگ
	کوپلینگ انعطاف پذیر با لاستیک
دور ورودی جعبه دنده	1500 rpm
دور خروجی جعبه دنده	14 rpm
توان جعبه دنده	28.8 Kw

۴- شرح عیب بر اساس تحلیل ارتعاشات

آنالیز ارتعاشات و صداسنجی تجهیزات دوار واحد بارگیری کارخانه پتروشیمی خراسان از برنامه های مهم پایش وضعیت در این کارخانه بشمار می رود. افزایش غیرعادی ارتعاشات تجهیزات دوار به معنی اهمیت موضوع بشمار می آید بنابراین بررسی عوامل ایجاد کننده ارتعاش بالا و ارائه راهکارها در جهت رفع عیب، در برنامه واحد CM پتروشیمی خراسان قرار دارد.

به منظور ارتعاش سنجی از دستگاه ارتعاش سنج Vibro V2 با سنسور ارتعاش سنج و برای تحلیل نتایج از نرم افزار MRS3000 استفاده می شود. اجزای تشکیل دهنده این تجهیز شامل الکتروموتور، هیدروکوپلینگ، کوپلینگ انعطاف پذیر و جعبه دنده، هر کدام منشأ سیگنال های ارتعاشی خاص خود هستند. ارتعاش سنجی از اسکرابر در ۳ نقطه و در جهت افقی مطابق با نامگذاری شکل ۲ انجام می شود.



شکل ۲. نقاط ارتعاش سنجی از اسکرابر

در تاریخ ۱۳۹۸/۰۳/۱۸ گزارشی از واحد بارگیری کارخانه پتروشیمی خراسان مبنی بر صدا و لرزش غیرعادی اسکرابر به واحد CM ارسال شد. در بازرسی که از ماشین صورت گرفت، وجود ارتعاش بالا و صدای غیرعادی بر روی موتور و جعبه دنده تجهیز مشهود بود. در مراحل ابتدایی آنالیز، مقادیر کلی ارتعاشات در دو نقطه ۲ و ۳ مطابق با شکل ۲ به صورت ناگهانی افزایش یافته است. مقادیر کلی ارتعاشات در نقاط ۲ و ۳، قبل و بعد از خرابی دستگاه در جدول ۲ آورده شده است. لازم به ذکر است مقادیر کلی ارتعاش در این مطالعه بر حسب \sqrt{RMS} می باشد.

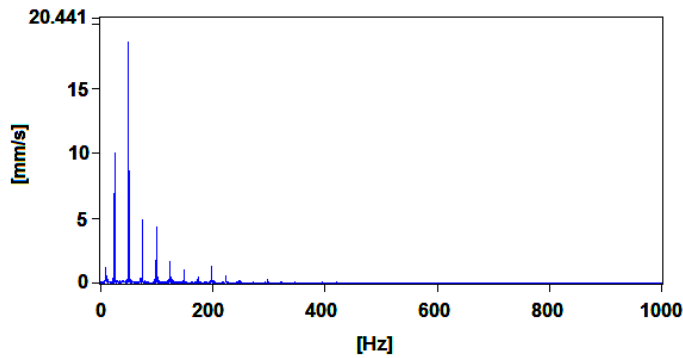
جدول ۲. مقایسه ارتعاشات در قبل و بعد از خرابی دستگاه

نقطه اندازه گیری	جهت اندازه گیری	ارتعاش تجهیز در حالت عادی mm/s	ارتعاش تجهیز با ارتعاش بالا mm/s
یاتاقان ابتدای الکتروموتور (2H)	افقی	۲	۱۷
یاتاقان ابتدای جعبه دنده (3H)	افقی	۲	۹/۶

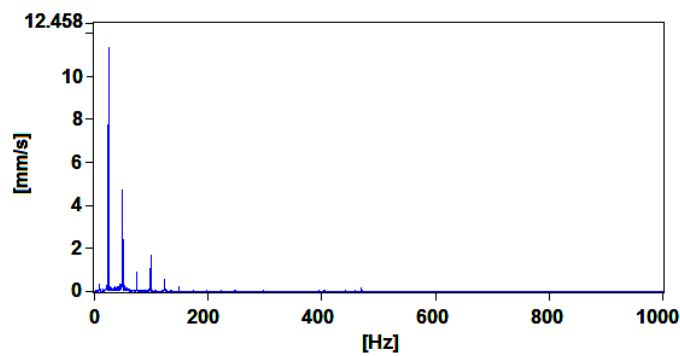
در شکل های ۳ و ۴ نمودارهای طیف های فرکانسی $^3 FFT$ سرعت در نقاط انتخاب شده از الکتروموتور و جعبه دنده در جهت افقی نشان داده شده است. همان گونه که از نمودارهای طیف های فرکانسی مشاهده می شود، مقادیر دامنه ارتعاشات غالب بر روی فرکانس دور چرخشی الکتروموتور (۱۵۰۰ rpm) و هارمونیک های آن می باشد. با انجام آنالیز ارتعاشات و بررسی عوامل بروز ارتعاش، می توان خرابی هایی از جمله نامیزانی جرمی، ناهمراستایی در کوپلینگ، خمیدگی در شافت، لقی های مکانیکی و عیوب فنداسیون را به عنوان عیوب محتمل برای تجهیز مورد مطالعه در نظر گرفت.

² Root Means Square

³ Fast Fourier Transfer



شکل ۳. طیف فرکانسی FFT سرعت نقطه ۲ در جهت محوری



شکل ۴. طیف فرکانسی FFT سرعت نقطه ۳ در جهت محوری

با توجه به وجود ارتعاش بالا بر روی فرکانس دور چرخشی الکتروموتور، مقرر گردید تست ارتعاشی در حالت بدون کوپل بر روی موتور انجام گیرد. با جدا کردن مجموعه الکتروموتور و هیدروکوپلینگ از جعبه دنده مشاهده می شود که لاستیک کوپلینگ انعطاف پذیر به شدت آسیب دیده به طوریکه لاستیک سالم به قطعات خرد تبدیل شده بود. شکل ۵ لاستیک کوپلینگ انعطاف پذیر اسکرابر را قبل و بعد از خرابی نشان می دهد.



(الف). لاستیک سالم



(ب). لاستیک معیوب

شکل ۵. لاستیک کوپلینگ انعطاف پذیر اسکرابر، (الف): لاستیک سالم، (ب): لاستیک معیوب

همان طور که در جدول ۲ نمایش داده شده است میزان ارتعاش در نقطه ۲ از $2 \frac{mm}{s}$ به $17 \frac{mm}{s}$ و در نقطه ۳ از $2 \frac{mm}{s}$ به $9/6 \frac{mm}{s}$ افزایش یافته است که این بدان معناست منشأ لرزش و صدای بالا باید از الکتروموتور باشد. با بررسی طیف فرکانسی در شکل ۳ عیوبی همچون لقی های مکانیکی و ضعف فنداسیون را برای این آنالیز در الکتروموتور می توان در نظر گرفت در حالیکه پس از جدا نمودن مجموعه الکتروموتور و هیدروکوپلینگ از جعبه دنده، آسیب جدی در لاستیک کوپلینگ مشاهده شد. با توجه به اینکه کوپلینگ انعطاف پذیر در سمت جعبه دنده قرار دارد و نوع خرابی مربوط به کوپلینگ می باشد، قاعدتاً مقدار ارتعاش نقطه ۳ باید بالاتر یا برابر با نقطه ۲ باشد در حالیکه با توجه به داده های اندازه گیری شده، مقدار ارتعاش الکتروموتور حدوداً دو برابر جعبه دنده رشد داشته است.

همان طور که در مقدمه اشاره شد به طور کلی ارتعاش در تجهیزات دوار ناشی از دو پارامتر نیروهای ارتعاش زا و مقاومت مکانیکی (امپدانس مکانیکی) ماشین می باشد که رابطه ۱، ارتباط بین ارتعاش، نیروی ارتعاش زا و مقاومت مکانیکی تجهیز را نشان می دهد.

$$X = \frac{F}{\sqrt{(K - M\omega^2)^2 + (C\omega)^2}} \quad (1)$$

صورت رابطه ۱، نیروی ارتعاش زا و مخرج رابطه بیان کننده امپدانس مکانیکی سیستم می باشد.

X : دامنه ارتعاش	F : نیروی ارتعاش زا	C : میرایی سیستم
M : جرم سیستم	K : سفتی سیستم	ω : سرعت دورانی ماشین

با توجه به رابطه ۱ می توان نتیجه گرفت عامل پایین بودن ارتعاش نقطه ۳ ($9/6 \frac{mm}{s}$) نسبت به ارتعاش نقطه ۲ ($17 \frac{mm}{s}$)، مقاومت مکانیکی سیستم می باشد، به دلیل اینکه با نیروی ارتعاشی یکسان، به هر مقدار مخرج رابطه ۱ بزرگتر باشد میزان ارتعاش یا همان X کمتر می باشد.

عواملی که باعث می شود مقاومت مکانیکی جعبه دنده از الکتروموتور بالاتر باشد، جنس بدنه و چرخ دنده های فولادی جعبه دنده با سفتی بالا نسبت به الکتروموتور و همچنین روغن داخل جعبه دنده که خود باعث افزایش میرایی در جعبه دنده میشود. با وجود اینکه عامل ارتعاش بالا، خرابی لاستیک کوپلینگ در سمت جعبه دنده مشخص گردید ولی همان طور که توضیح داده شد به علت مقاومت مکانیکی بالای جعبه دنده نسبت به الکتروموتور، ارتعاش نقطه ۳ نصف مقدار ارتعاش نقطه ۲ می باشد.

همان گونه که در اشکال ۳ و ۴ مشاهده می شود در طیف های فرکانسی سرعت، دامنه های دور کاری الکتروموتور و هارمونیک های آن رشد داشته اند که از دلایل وجود لقی به علت خرابی لاستیک کوپلینگ می باشد. با توجه به شکل ۱ وجود یکی از ناهمراستایی ها نیز می تواند، طیف های فرکانسی در شکل های ۳ و ۴ را ایجاد نماید درحالیکه خرابی لاستیک کوپلینگ، باعث عدم هم محوری بین دو محور ماشین های محرک و متحرک نمی شود. در نهایت با تعویض لاستیک کوپلینگ، ارتعاشات در دو سمت الکتروموتور و جعبه دنده به میزان قابل ملاحظه ای کاهش یافت.

۵- نتیجه گیری

آنالیز ارتعاشات به عنوان یکی از مهمترین و کاربردی ترین ابزارهای پایش وضعیت تجهیزات دوار، می تواند عیوب ایجاد شده در دستگاه را به موقع تشخیص دهد. کوپلینگ ها به عنوان یکی از سیستم های انتقال قدرت مکانیکی، دو محور ماشین محرک و متحرک را متصل می نمایند. با ارتعاش سنجی از نقاط تعیین شده اسکرابر واحد بارگیری پتروشیمی خراسان، ارتعاشات بالا در تجهیز مشخص گردید و در طیف های فرکانسی سرعت، رشد دامنه هارمونیک های دور کاری الکتروموتور مشاهده شد که این طیف بیان کننده وجود لقی در اجزای ماشین می باشد. افزایش تقریباً دو برابری مقدار ارتعاش الکتروموتور نسبت به جعبه دنده نشان از منشأ لرزش در الکتروموتور می باشد که با انجام تست ارتعاشی در حالت بدون کوپل، خرابی شدید در لاستیک کوپلینگ در سمت جعبه دنده مشاهده گردید. پارامتر مقاومت مکانیکی جعبه دنده شامل میرایی روغن درون جعبه دنده و جنس فولادی چرخ دنده ها و بدنه جعبه دنده با سفتی بالا، میتواند از عوامل پایین بودن مقدار ارتعاش جعبه دنده نسبت به الکتروموتور باشد.

مراجع

۱. م. بهزاد، س. م. دربندی، س. خوبانی، س. ر. م. ح. جزایری، م. احمدی، ع. ویسی آرا، "بررسی همبستگی میان عیوب پمپ های گل و قطعات پرمصرف آنها در دکل حفاری"، پنجمین کنفرانس تخصصی و پایش وضعیت و عیب یابی، ۱۳۸۹.
۲. م. فیروزآبادی، س. م. مداحی، م. ج. رضازاده، "مطالعه موردی عیب یابی جعبه دنده آسیای هوایی با استفاده از تکنیک آنالیز ارتعاشات"، نهمین کنفرانس تخصصی و پایش وضعیت ۱۳۹۳.
۳. م. ر. وزیری سرشک، "اصلاح طراحی پره های فن بویلر نیروگاه به کمک آنالیز ارتعاشی" دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز ۱۳۹۱.
۴. ا. جعفری، م. ت. الهی فر، "کاربرد آنالیز ارتعاشات در عیب یابی پمپ گریز از مرکز مجتمع جهان فولاد سیرجان"، دهمین کنفرانس تخصصی و پایش وضعیت و عیب یابی، ۱۳۹۴.
۵. ح. آل یاسین، "تشخیص خرابی یاتاقان کف گرد پمپ نمک مذاب واحد ملامین پتروشیمی خراسان به کمک صداسنجی و آنالیز ارتعاشات و همچنین تعیین عمر یاتاقان مذکور"، نهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات، ۱۳۹۸.