

بر آورد مؤلفه‌های میانگین توان دوم خطا در گرداوری آمیخته‌مد داده‌ها

سمانه بهشتی‌زاده^۱، حمیدرضا نواب‌پور^۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۱

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱

چکیده:

مدیریت شواهد مبنا و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای متکی به آمارهای رسمی هستند. بعضی موانع وجود دارند که باعث می‌شوند نتوان آمارگیری تک‌مدی را انجام داد. این موانع عبارت‌اند از چارچوب نمونه‌گیری، زمان، بودجه و دقت اندازه‌گیری در هر مد. این عامل‌ها باعث می‌شوند که همیشه نتوان از آمارگیری تک‌مدی استفاده کرد. بنابراین نیاز است که از روش دیگری برای گرداوری داده‌ها که بر این موانع فائق بیاید، استفاده کرد. این روش را روش آمارگیری آمیخته‌مد که ترکیبی از چند مد است می‌نامند. ما در این مقاله نشان می‌دهیم که آمارگیری‌های آمیخته‌مد می‌توانند دقت بیشتری در تولید آمارهای رسمی نسبت به آمارگیری‌های تک‌مدی داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: خطای کل آمارگیری، خطای بی‌پاسخی، خطای اندازه‌گیری، خطای پوشانشی، واریانس نمونه‌گیری.

۱ مقدمه

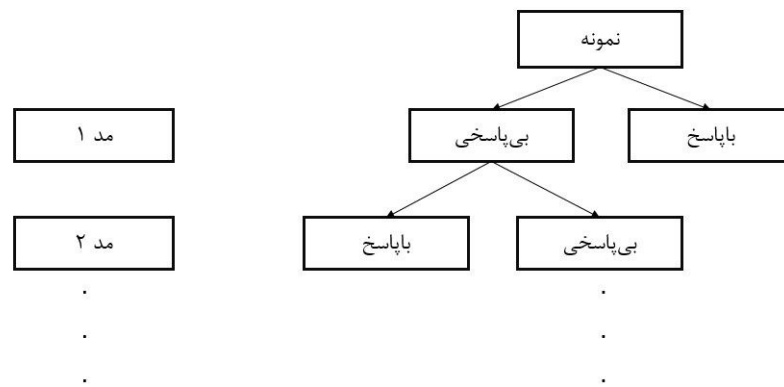
از طرفی چون آمارگیری‌ها نیاز به یک چارچوب روزآمد دارند که غالباً وجود ندارند، آمارشناسان سعی می‌کنند روش‌هایی بیابند که موجب کاهش هزینه‌ها شده و کیفیت داده‌های آمارگیری را بالا ببرند. یکی از این روش‌ها، آمارگیری آمیخته‌مد است که ترکیبی از روش‌های مختلف گرداوری داده‌هاست. روش‌های گرداوری داده‌های آمارگیری به‌صورت حضوری، تلفنی، پستی و وبی انجام می‌شوند. آمارگیری به‌صورت حضوری (رودررو) هزینه و زمان زیادی را به دنبال دارد. آمارگیری‌های پستی، تلفنی و وبی هزینه کمتری را دارند اما این روش‌ها نرخ پاسخ کمتری نسبت به آمارگیری پرسش‌گر اجرا دارند. به این آمارگیری‌ها که تنها از یک روش برای گرداوری داده‌ها استفاده می‌شود، آمارگیری تک‌مدی گفته می‌شود. به آمارگیری‌هایی که به‌طور هم‌زمان و یا دنباله‌ای از دو یا چند مد برای گرداوری داده‌ها استفاده می‌شود، آمارگیری آمیخته‌مد گفته می‌شود. یکی از مهم‌ترین چالش‌های بررسی پژوهش‌گران، تعیین این است که کدام روش گرداوری داده‌ها یا ترکیبی از آن‌ها در شرایط حاکم بر جامعه مطلوب است. هاکستیم و اتاناپولوس [۶] زمانی که دیدند میزان بی‌پاسخی در آمارگیری‌ها رو به افزایش است، روش‌هایی را برای کاهش میزان بی‌پاسخی معرفی کردند. یکی از این روش‌ها، استفاده از مدهای متفاوت برای گرداوری داده‌هاست. تورانزو و همکاران [۱۲] بیان کردند که پاسخ‌گویان در یک آمارگیری مصاحبه‌ای، ممکن است یک پرسش را در یک آمارگیری برخط، متفاوت پاسخ دهند که

هر جامعه‌ای برای پیشرفت و توسعه، برنامه‌ریزی و هدف‌گذاری‌های خود نیاز به اطلاعات آماری دارد. از این جهت در اختیار داشتن اطلاعات جامع و دقیق برای مدیران، برنامه‌ریزان و پژوهش‌گران ضروری است. روش‌هایی برای گرداوری این اطلاعات آماری وجود دارد که عبارت‌اند از سرشماری، آمارگیری نمونه‌ای و ثبتی مبنا.

سرشماری یک نوع آمارگیری است که در آن داده‌های موردنیاز از تمام اعضای جامعه‌ی هدف گرداوری می‌شود. در اکثر مطالعه‌ها، از روش سرشماری برای گرداوری داده‌ها به علت هزینه‌بر و زمان‌بر بودن و گستردگی خطاهای غیرنمونه‌گیری آن استفاده نمی‌شود. در آمارگیری‌های نمونه‌ای، داده‌های موردنیاز از نمونه‌ای نمایانگر جامعه‌ی هدف گرداوری می‌شوند. به این ترتیب سعی می‌شود پارامترهای جامعه‌ی هدف برآورد شوند. یک نمونه‌ی خوب باید نماینده اعضای جامعه‌ی هدف باشد، بنابراین، مهم است که برای تولید داده‌ها روش نمونه‌گیری مناسبی را انتخاب کرده باشیم. هر روش تولید داده‌ها دارای مزیت‌ها و عیب‌های مخصوص به خود است. آمارگیری نمونه‌ای دارای مزیت‌هایی در مقایسه با سرشماری برای گرداوری داده‌هاست. اگر در روش نمونه‌گیری، طرح نمونه‌گیری مناسب باشد آماره‌های آمارگیری می‌توانند دقیق‌تر از آماره‌هایی باشند که از طریق سرشماری به

دست می‌آیند.

^۱ کارشناس ارشد آمار، دانشگاه علامه طباطبائی، ایران. samaneh.beheshtizadeh@gmail.com
^۲ دانشیار گروه آمار، دانشگاه علامه طباطبائی، ایران.



شکل ۱: شیوه‌ی اجرای آمارگیری آمیخته‌مد دنباله‌ای

پاسخ و پوشش جامعه است. درحالی‌که این روش طرح را در یک سطح مقرون‌به‌صرفه نگه می‌دارد. در اصل، طرح آمیخته‌مد ممکن است از مدهای مختلف برای دست‌یابی به پاسخ‌گو و یادآوری برای همکاری به پاسخ‌گو استفاده کند. به‌عنوان مثال، نامه‌ای حاوی یک پرسش‌نامه کاغذی به همراه یک پاکت نامه برای عودت پرسش‌نامه تکمیل‌شده به واحدهای نمونه‌ای ارسال می‌شود و سپس به واحدهای نمونه‌ای بی‌پاسخ برای یادآوری تکمیل پرسش‌نامه و عودت دادن آن تماس تلفنی گرفته می‌شود. طرح‌های آمیخته‌مد برای اجرای پرسش‌نامه روش‌های متعددی را به کار می‌برند که در نحوه‌ی اجرای مدها متفاوت هستند. طرح‌های آمیخته‌مد را در کل به دو طریق می‌توان اجرا کرد: آمیخته‌مد دنباله‌ای و آمیخته‌مد هم‌زمان.

در طرح آمیخته‌مد دنباله‌ای ابتدا آمارگیری از یک مد بهره می‌برد و سپس برای بی‌پاسخ‌ها مد دیگری در مرحله‌ی بعد به کار گرفته می‌شود. این روند تا زمانی که بی‌پاسخی وجود داشته باشد ادامه می‌یابد [۱۱] (شکل ۱).

به‌طور معمول، جایگزینی یک مد در مدهای اجرایی میزان پاسخ را افزایش می‌دهد. این روش همچنین می‌تواند پوشش جمعیت را افزایش دهد. به‌عنوان مثال، در یک روش آمارگیری که برای گردآوری داده‌ها از اینترنت و یا تلفن بهره می‌برد، می‌توان برای واحدهای نمونه‌ای که به اینترنت یا تلفن دسترسی ندارند از روش رودرو و یا پستی استفاده کرد. زمانی که گردآوری داده‌ها با مدهای ارزان‌تر (مانند وب) انجام می‌شود از مدهای گران‌تر (مانند رودرو) تنها برای بی‌پاسخ‌ها استفاده می‌شود. این طرح گردآوری داده‌ها هزینه‌ی مؤثری نسبت به برخی از طرح‌های تک‌مدی مانند رودرو دارد. در کنار هزینه‌ی کمتر، نرخ پاسخ بالاتری نیز به‌اندازه و یا بیش‌تر از طرح تک‌مدی به دست می‌آورد.

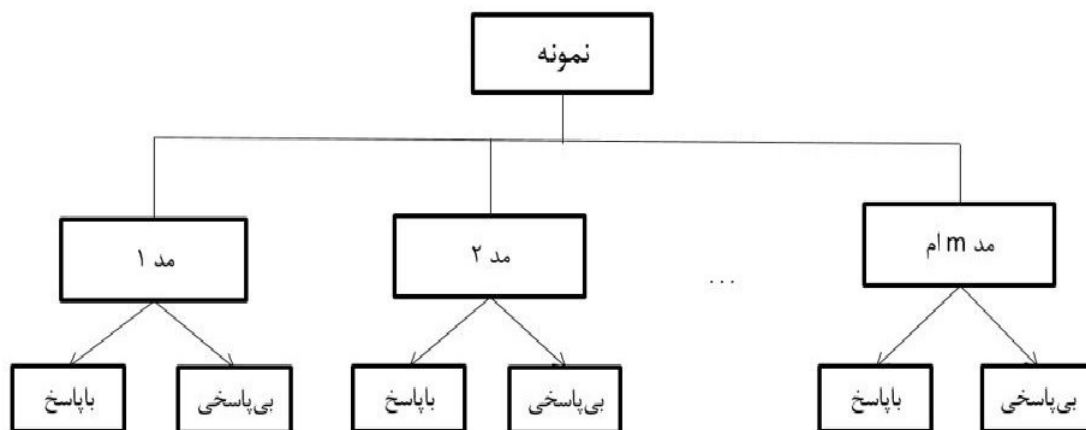
فقط به دلیل استفاده از مد است و این مثل حضور یا عدم حضور پرسش‌گر و تأثیر آن بر پرسش‌های حساس می‌باشد. همچنین بلیث [۳] طرح‌های آمارگیری آمیخته‌مد را جذاب بیان کرد زیرا این طرح‌ها دارای هزینه‌های مؤثرند و می‌توانند در رسیدن به انواع مختلف پاسخ‌گویان، موفق باشند. اتکسون و همکاران [۱] در مقاله‌ای این‌گونه بیان کردند که پاسخ‌گویان پستی و اینترنتی از لحاظ نگرش و رفتار جمعیت شناختی متفاوت بوده و انتخاب مد توسط پاسخ‌گویان بر پاسخ آن‌ها تأثیر نمی‌گذارد. دیلمان و همکاران [۴] بر این باورند که آمارگیری‌های آمیخته‌مد که مدهای مختلف گردآوری داده‌ها را ترکیب می‌کنند مانند رودرو، پستی، تلفنی، وی‌بی و ... در حال تبدیل شدن به ابزارهای استاندارد گردآوری داده‌ها هستند. رابرتز و وندنیلاس [۱۱] بیان کردند که برای طراحی بهینه یک آمارگیری آمیخته‌مد باید شناخت کافی نسبت به چارچوب نمونه‌گیری، مد گردآوری داده‌ها، موضوع مورد مطالعه و متغیرهای مورد نظر داشته باشیم.

۲ آمارگیری آمیخته‌مد

روش آمارگیری رابطی است که برای تماس با افراد و پرسش پرسش‌ها و ثبت پاسخ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. رایج‌ترین روش‌های استفاده‌شده، روش‌های پرسش‌گر اجرا مانند: رودرو (با فرد)، تلفنی (با استفاده از تلفن‌های ثابت یا تلفن همراه) و روش‌های خود اجرا مانند: پستی که می‌تواند کاغذی و یا برخط (با استفاده از رایانه‌های شخصی و یا تلفن همراه) هستند. در آمارگیری‌های چندمدی، روش‌ها در مرحله‌ی تماس با پاسخ‌گو و اجرای روش ترکیب می‌شوند. هدف‌های کلیدی آمارگیری آمیخته‌مد به‌طور معمول شامل افزایش نرخ

می‌یابد. برای اطلاع‌گیری از بی‌پاسخ‌های باقی‌مانده در مرحله اول می‌توان به کمک آمارگیری آمیخته‌مد، از دنباله‌ای از یک یا چند مد دیگر استفاده کرد [۹] (شکل ۲).

در طرح آمیخته‌مد هم‌زمان از دو یا چند روش گردآوری داده‌ها به‌طور هم‌زمان و با نظر پاسخ‌گویان استفاده می‌شود. این شیوه موجب تشویق پاسخ‌گویان به مشارکت در آمارگیری شده، اریبی بی‌پاسخی کاهش یافته و نرخ پاسخ افزایش



شکل ۲: شیوه‌ی اجرای آمارگیری آمیخته‌مد هم‌زمان چندمدی

بی‌پاسخی) و خطاهای ناشی از اندازه‌گیری نامناسب (خطاهای اندازه‌گیری) هستند. اگر روش آمارگیری، دقت و صحت کمتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته باشد، طرح‌های آمیخته‌مد با هدف کاهش خطای گزینش به کمک افزایش نرخ پاسخ می‌توانند خطای اندازه‌گیری را افزایش دهند [۷].

برای ارزیابی و مقایسه‌ی آمارگیری‌های آمیخته‌مدی با آمارگیری‌های تک‌مدی مؤلفه‌های میانگین توان دوم خطا در هر دو آمارگیری برآورد می‌شوند. میانگین توان دوم خطا (MSE)، میانگین توان دوم تفاوت بین آماره‌ی آمارگیری و پارامتر متناظر جامعه است. به عبارت دیگر، MSE توان دوم فاصله‌ی بین متوسط مقدار برآوردگر در تکرارهای فرایند آمارگیری و پارامتر جامعه + متوسط توان دوم تفاوت بین برآوردها از تکرارها و متوسط مقدار تکرارها است.

$$\text{MSE} = \text{واریانس} + \text{توان دوم اریبی}$$

معیار MSE، خلاصه‌شده‌ی یک برآورد خاص است که بیان می‌دارد، چگونه آماره‌ی آمارگیری توسط منبع‌های ممکن خطاهای غیرنمونه‌گیری تحت تأثیر قرار می‌گیرد که ممکن است به صورت واریانس یا اریبی آماره‌ی آمارگیری را تحت تأثیر قرار دهد [۲، ۱۱].

بایمر و لای‌برگ [۲]، شش مؤلفه‌ی اصلی MSE را که هر کدام از آنها درجه‌های مختلف مخاطره در خطای متغیر و خطای نظام‌مند در برآوردهای

به‌عنوان مثال، در یک طرح آمیخته‌مد هم‌زمان می‌توان در کنار ارسال پرسش‌نامه‌ی کاغذی به واحدهای نمونه‌ای، یک پیوند برای پرسش‌نامه‌ی وبی گذاشته شود تا پاسخ‌گو به انتخاب خود یک روش را برای پاسخ‌گویی انتخاب کند.

دلیل‌های بسیاری برای استفاده از آمارگیری آمیخته‌مد وجود دارند، که سه دلیل عمومیت بیش‌تری دارند. دلیل اول کاهش هزینه‌ها است. این امر به‌نوعی مستلزم تلاش برای استفاده از روشی برای گردآوری داده‌ها با حداقل هزینه (آمارگیری پستی)، سپس انتقال به روش بعدی از لحاظ هزینه سنگین‌تر (تلفنی) برای گردآوری داده‌ها از بی‌پاسخ‌های آمارگیری مرحله‌ی اول (پستی) و سرانجام استفاده از روش پرسش‌گر اجرا برای باقی‌مانده‌ی بی‌پاسخ‌های مرحله‌ی دوم (تلفنی) است. در چنین طرح‌هایی روش‌های پرهزینه‌تر به‌طور پیاپی برای موردهای کمتری به کار گرفته می‌شوند. دلیل دوم افزایش نرخ‌های پاسخ است. ارائه‌ی یک طرح آمیخته‌مد این امکان را فراهم می‌سازد که پاسخ‌گویان یکی از روش‌هایی را که برای آن‌ها راحت‌تر است، انتخاب کنند. دلیل سوم صرفه‌جویی مالی در آمارگیری‌های طولی است [۵]. ویژگی‌های خاص طرح‌های آمیخته‌مد، از جمله روش‌های مختلفی که برای تماس با پاسخ‌گو و اجرای روش به کاربرده می‌شود، تأثیر به‌سزایی در تعیین و شدت رخداد خطای کل آمارگیری در برآوردها دارد. منبع‌های مهم خطای کل آمارگیری شامل خطاهای ناشی از انتخاب نامناسب (خطای پوشانشی و

آمارگیری را نشان می‌دهند، شناسایی کردند. این مؤلفه‌ها عبارت‌اند از: ۱- خطای مشخصات، ۲- خطای (پوشانشی) چارچوب، ۳- خطای بی‌پاسخی، ۴- خطای اندازه‌گیری، ۵- خطای پردازش داده‌ها و ۶- خطای نمونه‌گیری. در این مقاله همه‌ی این خطاها به دلیل مخاطره‌ی کم در برآوردها و یا یکسان بودن آن‌ها در طرح‌های آمارگیری در نظر گرفته نمی‌شود و تنها بر روی واریانس نمونه‌گیری (Var_{SAMP})، اریبی ناپوشانشی (B_{NC})، اریبی بی‌پاسخی (B_{NR}) و اریبی اندازه‌گیری (B_{MEAS}) تمرکز می‌شود. این مؤلفه‌های اریبی جمع شده و به توان دو می‌رسند تا مؤلفه‌ی اریبی کل را تولید کنند، سپس به واریانس نمونه‌گیری اضافه می‌شود و برآورد MSE را به دست می‌دهند.

$$\widehat{MSE} = (\widehat{B}_{NC} + \widehat{B}_{NR} + \widehat{B}_{MEAS})^2 + \widehat{Var}_{SAMP}$$

با توجه به این که اریبی متأثر از مد گردآوری داده‌ها است، لذا اریبی به‌طور جداگانه برای هر یک از مدها در طرح آمارگیری محاسبه می‌شود. برای مشاهده این که آیا آن‌ها ترکیب یا عامل جبران یکدیگر شده‌اند، مدها را ترکیب می‌کنند. بنابراین، MSE برای طرح‌های آمارگیری آمیخته‌مد به مؤلفه‌های بیش‌تر تجزیه می‌شود. در زیر تجزیه‌ی MSE در طرح آمیخته‌مد نشان داده‌شده است.

$$\widehat{MSE} = ((\widehat{B}_{NR} + \widehat{B}_{MEAS})_{web} + (\widehat{B}_{NR} + \widehat{B}_{MEAS})_{face-to-face})^2 + \widehat{Var}_{SAMP}$$

که face-to-face، web و SAMP به ترتیب نمایانگر طرح‌های وبی، رودرو و آمارگیری نمونه‌ای هستند.

محاسبه‌ی اریبی متغیرها با مقایسه‌ی برآوردهای مختلف حاصل از چارچوب نمونه‌گیری و داده‌های آمارگیری امکان‌پذیر است. این برآوردها عبارت‌اند از: یکم، برآورد ثبت نمونه؛ بر اساس داده‌های ثبتی برای هر یک از نمونه‌های تصادفی که به دو طرح آمارگیری ارجاع داده‌شده، برآورد می‌شود. دوم، برآورد باپاسخ‌های ثبتی؛ بر اساس داده‌های ثبتی برای نمونه‌های باپاسخ در هر آمارگیری، برآورد می‌شود. سوم، برآورد خودگزارشی؛ بر اساس پاسخ‌ها به پرسش‌های آمارگیری برای نمونه‌های باپاسخ، برآورد می‌شود، و چهارم، برآورد پوشش ثبتی؛ بر اساس داده‌های ثبتی برای نمونه‌هایی که نشانی پست الکترونیکی آن‌ها در دسترس است، برآورد می‌شود. برآوردها بر اساس نمونه‌های باپاسخ در هر کار میدانی به دست می‌آیند. با توجه به اریب بودن این برآوردگرها، اریبی برای متغیرهای هدف به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱) اریبی کل: برآورد خودگزارشی - برآورد ثبت نمونه،

(۲) اریبی ناپوشانشی: برآورد پوشش ثبتی - برآورد ثبت نمونه،

(۳) اریبی بی‌پاسخی: برآورد باپاسخ‌های ثبتی - برآورد ثبت نمونه (یا برآورد

پوشش)، و

(۴) اریبی اندازه‌گیری: برآورد خودگزارشی - برآورد باپاسخ‌های ثبتی.

۳ مطالعه‌ی شبیه‌سازی

در اینجا دو مجموعه داده وجود دارد: داده‌های معیار و داده‌های آمارگیری. داده‌های معیار مربوط به پروژه‌ی کارشناسی دانشجویان آمار دانشکده‌ای با موضوع میزان رضایت دانشجویان مقطع تحصیلی کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا در نیم سال اول در سال تحصیلی ۹۷-۹۸ از امکانات این دانشکده است. این داده‌ها را به‌عنوان داده‌های معیار در نظر گرفتیم و جامعه‌ی هدف را این ۸۸ رکورد ثبت‌شده فرض کردیم. داده‌های آمارگیری را از اجرای دو طرح آمارگیری تک‌مدی حضوری و طرح آمارگیری آمیخته‌مد دنباله‌ای وبی به همراه حضوری از این جامعه گزینش کردیم.

ابتدا با تعیین اندازه نمونه‌ای که در ادامه توضیح داده خواهد شد دو نمونه‌ی ۱۸ تایی از این ۸۸ رکورد ثبت‌شده (به‌عنوان جامعه فرض شده)، گرفته و ۱۸ تا نمونه به طرح آمارگیری تک‌مدی حضوری و ۱۸ تا به طرح آمارگیری آمیخته‌مدی دنباله‌ای وبی به همراه حضوری اختصاص دادیم.

پرسش‌نامه‌ی آمارگیری شامل ۴۵ پرسش مربوط به امکانات علمی، آموزشی، رفاهی و بهداشتی و فرهنگی این دانشکده است. پرسش‌های ۱ تا ۵ مربوط به اطلاعات شخصی است که عبارت‌اند از: جنسیت، دوره تحصیلی، وضعیت تأهل، سن و خوابگاهی بودن یا نبودن. این متغیرهای اندازه‌گیری شده را به‌عنوان متغیرهای اجتماعی-جمعیتی در نظر گرفتیم. پرسش‌های ۶ تا ۲۰ مربوط به امکانات علمی (قرائت‌خانه، کتاب‌خانه و سایت رایانه) و پرسش‌های ۲۱ تا ۲۷ مربوط به امکانات آموزشی (کلاس‌ها) است. پرسش‌های ۲۸ تا ۴۲ مربوط به امکانات رفاهی و بهداشتی و پرسش‌های ۴۳ تا ۴۵ مربوط به امکانات فرهنگی است. هر پرسش شامل ۵ گزینه‌ی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. به هر یک از گزینه‌ها از خیلی کم تا خیلی زیاد امتیاز ۱ تا ۵ داده شد. با توجه به پاسخ افراد به پرسش‌ها، میانگین پاسخ هر فرد را به پرسش‌های مربوط به امکانات علمی، آموزشی، رفاهی و بهداشتی و فرهنگی به دست آورده و سپس با محاسبه‌ی میانگین این میانگین‌های به‌دست‌آمده از هر یک از امکانات علمی، آموزشی، رفاهی و بهداشتی و فرهنگی، میزان رضایت‌مندی هر دانشجوی نمونه از امکانات این دانشکده را به دست آوردیم. میزان رضایت‌مندی به‌دست‌آمده را به‌عنوان متغیر هدف در نظر گرفتیم.

در طرح آمارگیری تک‌مدی حضوری پرسش‌نامه‌ها میان ۱۸ واحد نمونه‌ای انتخاب‌شده توزیع شد. از ۱۸ واحد آماری تنها ۱۵ نفر پاسخ دادند. در طرح آمارگیری آمیخته‌مد دنباله‌ای وبی به همراه حضوری ابتدا به ۱۸ دانشجوی

جدول ۱: واریانس هر طبقه

طبقه	اندازه‌ی نمونه‌ای مقدماتی	واریانس هر طبقه
کارشناسی	۸	۰/۰۵۰۳
کارشناسی ارشد	۶	۰/۰۶۳۴
دکتر	۲	۰/۳۶۵۴

e : حاشیه‌ی خطا، و
 N : تعداد کل واحدهای جامعه‌ای است.
 واریانس به‌دست‌آمده‌ی متغیر پاسخ (میزان رضایت‌مندی) از این نمونه‌ی مقدماتی ۱۵۷۵۰۲۷۲۰/۰ است. اگر حاشیه‌ی خطا برابر ۰/۰۷ در نظر گرفته شود آنگاه:

$$n = \frac{(1.96)^2 \times (0.164929)^2}{(0.07)^2 + \frac{(1.96)^2 \times (0.164929)^2}{88}} = 17.166 \approx 18$$

در ادامه برای محاسبه‌ی سهم هر طبقه از اندازه‌ی نمونه‌ای، واریانس هر طبقه محاسبه شد. جدول ۱ واریانس طبقه‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به این که واریانس طبقه‌ها برابر نیستند و از طرفی هزینه‌ی هر واحد در تمام طبقه‌ها یکسان است، با استفاده از تخصیص نیمین اندازه‌ی نمونه‌ای هر طبقه تعیین می‌شود.

$$n_h = n \frac{N_h S_y U_h}{\sum_h N_h S_y U_h} \quad (2)$$

که در آن:

N_h : تعداد کل واحدها در طبقه‌ی h ام،

$S_y U_h$: خطای استاندارد متغیر پاسخ در طبقه‌ی h ام،

n : تعداد واحدهای نمونه‌ای، و

n_h : تعداد واحدهای نمونه‌ای طبقه‌ی h ام

است. جدول ۲ اندازه‌ی نمونه‌ای به‌دست‌آمده برای هر طبقه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: اندازه نمونه‌ای هر طبقه

طبقه	N_h	$S_y U_h$	n	n_h
کارشناسی	۴۳	۰/۰۶۸۹۴۲	۱۸	۶
کارشناسی ارشد	۳۴	۰/۱۰۳۰۲۹	۱۸	۸
دکتر	۱۱	۰/۱۶۵۰۹۹	۱۸	۴

انتخاب‌شده مراجعه شد و با آگاه ساختن آن‌ها به این که برای این آمارگیری انتخاب‌شده‌اند، یک پرسش‌نامه برای ارزیابی میزان رضایت‌مندی آن‌ها از امکانات دانشکده از طریق ایمیل برای آن‌ها ارسال شد. پس از گذشت یک هفته و پیگیری و باز ارسال پرسش‌نامه برای بی‌پاسخ‌ها، ۸ نفر از ۱۸ نفر، از طریق آمارگیری وبی پاسخ دادند. برای ۱۰ نفر باقی‌مانده آمارگیری حضوری به دنباله‌ی آمارگیری وبی اجرا شد. از این ۱۰ نفر تنها ۹ نفر پاسخ دادند و ۱ نفر بی‌پاسخ باقی ماند.

۱.۳ تعیین اندازه‌ی نمونه‌ای

برای تعیین اندازه‌ی نمونه‌ای با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌بندی از ۸۸ رکورد ثبت‌شده ۲۳ رکورد مربوط به مقطع کارشناسی، ۳۴ رکورد مربوط به مقطع کارشناسی ارشد و ۱۱ تا نیز مربوط به مقطع دکتری بودند. یک نمونه‌ی مقدماتی ۱۶ تایی به‌صورت تصادفی ساده تک‌مدی از جامعه انتخاب شد تا واریانس نمونه‌گیری را برآورد کنیم. با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط لوهر [۸] اندازه‌ی نمونه‌ای هدف را برآورد کردیم.

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 S^2}{e^2 + \frac{Z_{\alpha/2}^2 S^2}{N}} \quad (1)$$

که در آن:

$Z_{\alpha/2}$: نقطه‌ی $\alpha/2$ درصدی بالای نرمال استاندارد،

S^2 : واریانس طبقه‌بندی،

۲.۳ نرخ پاسخ

باقی‌ماند. نرخ پاسخ در طرح آمیخته‌مد ۹۴,۴۴۴ درصد بود که از نرخ پاسخ طرح تک‌مدی (۸۳,۳۳۳ درصد) بیش‌تر بود. جدول ۳ نرخ‌های پاسخ را به تفکیک طرح‌های آمارگیری نشان می‌دهد. در طرح آمیخته‌مد دنباله‌ای در مرحله‌ی وی‌بی نرخ پاسخ کوچک بود و پس از اجرای مد حضوری به دنبال مد وی‌بی نرخ پاسخ افزایش یافت. نرخ پاسخ در این طرح از طرح تک‌مدی حضوری نیز بیش‌تر شد.

در طرح تک‌مدی حضوری از ۱۸ نفر پاسخ‌گو، ۱۵ نفر پاسخ دادند و ۳ نفر بی‌پاسخ ماندند. در طرح آمیخته‌مد دنباله‌ای وی‌بی به همراه حضوری، از ۱۸ نفر پاسخ‌گو در مرحله‌ی وی‌بی ۸ نفر پاسخ دادند و برای ۱۰ نفر بی‌پاسخ باقی‌مانده مد حضوری اجرا شد که ۹ نفر پاسخ دادند و تنها یک نفر بی‌پاسخ

جدول ۳: نرخ‌های پاسخ طرح‌های آمارگیری

اندازه‌ی نمونه‌ای	نرخ پاسخ	طرح آمارگیری
		طرح ۱
۱۵	۸۳,۳۳۳	با پاسخ‌های تک‌مدی حضوری
		طرح ۲
۸	۴۴,۴۴۴	با پاسخ‌های مد ۱: وی‌بی
۹	۹۰	با پاسخ‌های مد ۲: حضوری
۱۷	۹۴,۴۴۴	کل

۳.۳ مقایسه‌ی برآوردگرها

$$\bar{\theta} = \frac{1}{1000} \sum_{i=1}^{1000} (\hat{\theta}_i) \quad (3)$$

که در آن $\hat{\theta}_i$ ، برآورد پارامتر θ (رضایت‌مندی) در i امین نمونه‌گیری خودگردان است. برای نمونه‌هایی که در آن‌ها بی‌پاسخی وجود داشت با استفاده از جانه‌ی رگرسیونی مقداری جایگزین شد. برآوردهای خودگردان رضایت‌مندی به تفکیک طرح‌های آمارگیری در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

برای مقایسه‌ی برآوردگرها، توزیع نمونه‌گیری برآوردگرهای دو طرح آمارگیری، از روش بازنمونه‌گیری خودگردان ناپارامتری استفاده کردیم. به این منظور ۱۰۰۰ نمونه‌ی خودگردان از نمونه‌ی اصلی ۱۸ تایی گزینش شد. در نهایت ۱۰۰۰ میانگین خودگردان به دست آمد. برآوردهای رضایت‌مندی توزیع نمونه‌گیری برآوردگر موردنظر به صورت زیر محاسبه شدند.

جدول ۴: برآوردهای خودگردان رضایت‌مندی به تفکیک مد آمارگیری

طرح آمارگیری	برآورد ثابت نمونه	برآورد با پاسخ‌های مثبتی	برآورد خودگزارشی
			طرح ۱
تک‌مدی حضوری	۱,۸۸۲,۶۹۲	۱,۹۱۴,۹۵۳	۱,۹۸۲,۶۰۹
			طرح ۲
وی‌بی	۲,۰۴۱,۷۷۵	۲,۱۱۳,۹۰۵	۲,۱۸۸,۸۳۶
وی‌بی + حضوری	۲,۰۴۱,۷۷۵	۲,۰۴۱,۲۰۳	۲,۰۸۲,۷۶۱

۱.۴.۳ آماره‌ی V کرامر

همان‌طور که بیان شد یکی از راه‌ها برای شناسایی این که کدام طرح آمارگیری کمترین خطای کل آمارگیری را در متغیر هدف ارائه می‌دهد، محاسبه‌ی آماره‌ی V کرامر است.

$$\hat{v} = \sqrt{\frac{\chi^2/n}{\min\{I-1, J-1\}}} \quad (4)$$

که در آن χ^2 آماره‌ی خی دو با n درجه‌ی آزادی، I تعداد سطرها و J تعداد ستون‌های جدول تقاطعی است.

این آماره معیاری برای بیان میزان ارتباط بین داده‌های آمارگیری و داده‌های معیار فراهم می‌کند. آماره‌ی V کرامر، با بازمقیاسیدن آماره‌ی χ^2 در بازه‌ی (۰, ۱) به دست می‌آید [۱۰]. برای محاسبه‌ی آماره‌ی V کرامر برای متغیر هدف (میزان رضایت‌مندی دانشجویان از امکانات دانشکده) ابتدا جدول فراوانی تقاطعی را به کمک داده‌های معیار و داده‌های آمارگیری برای هر طرح آمارگیری به دست می‌آوریم. سپس آماره‌ی V کرامر برای هر طرح محاسبه می‌شود. داده‌های معیار و آمارگیری را در دسته‌های ۱-۲، ۲-۳ و ۳-۴ مقیاس‌بندی کرده و فراوانی آن‌ها در جدول‌های فراوانی تقاطعی ۵، ۶ و ۷، بیان شده است.

با توجه به وجود داده‌های معیار و داده‌های آمارگیری این برآوردها به صورت زیر به دست می‌آیند:

۱. برآورد ثبت نمونه: بر اساس داده‌های ثبتی برای هر یک از نمونه‌های تصادفی که به دو طرح آمارگیری ارجاع داده شده، بر اساس ۱۸ نمونه برآورد می‌شود.
۲. برآورد باپاسخ‌های ثبتی: بر اساس داده‌های ثبتی برای نمونه‌های باپاسخ در هر آمارگیری، برآورد می‌شود.
۳. برآورد خودگزارشی: بر اساس پاسخ‌ها به پرسش‌های آمارگیری برای نمونه‌های باپاسخ، برآورد می‌شود.

۴.۳ معیارهای مقایسه

برای شناسایی این که کدام طرح آمارگیری کمترین خطای کل آمارگیری را در متغیر هدف ارائه می‌دهد، دو آماره‌ی V کرامر و MSE را محاسبه کردیم. در ادامه این دو آماره را برای هر یک از طرح‌های آمارگیری محاسبه می‌کنیم و به ارزیابی این دو طرح می‌پردازیم.

جدول ۵: جدول فراوانی تک‌مدی حضوری

داده‌های آمارگیری			
۴-۳	۳-۲	۲-۱	
۰	۱	۸	۲-۱
۰	۳	۱	۳-۲ معیار
۱	۱	۰	۴-۳

جدول ۶: جدول فراوانی آمیخته‌مد: مرحله‌ی ویی

داده‌های آمارگیری			
۴-۳	۳-۲	۲-۱	
۰	۱	۲	۲-۱
۰	۳	۱	۳-۲ معیار
۱	۰	۰	۴-۳

جدول ۷: جدول فراوانی آمیخته‌مد: وبی+حضور

داده‌های آمارگیری			
۴-۳	۳-۲	۲-۱	
۰	۲	۶	۲-۱
۰	۵	۲	۳-۲
۱	۱	۰	۴-۳

جدول ۸: آماری V کرامر متغیر هدف

طرح آمیخته‌مدی	طرح تک‌مدی		
وبی + حضور	تک‌مدی حضور	متغیر هدف	
۰,۵۹۳۹	۰,۷۶۶	۰,۶۶۷۱	میزان رضایت‌مندی از امکانات دانشکده

اریبی ناپوشانسی به دلیل در دسترس بودن افراد وجود ندارد. مؤلفه‌های اریبی به‌دست آمده جمع شده و به توان دو می‌رسند تا مؤلفه‌ی اریبی کل به دست آید. سپس به واریانس نمونه‌گیری اضافه می‌شود و برآورد MSE را به دست می‌دهد. طرح ۱:

$$\widehat{MSE} = (\widehat{B}_{NR} + \widehat{B}_{MEAS})^2 + \widehat{Var}_{SAMP}$$

طرح ۲:

$$\widehat{MSE} = ((\widehat{B}_{NR} + \widehat{B}_{MEAS})_{web} + (\widehat{B}_{NR} + \widehat{B}_{MEAS})_{face-to-face})^2 + \widehat{Var}_{SAMP}$$

جدول ۹ اریبی کل، واریانس نمونه‌گیری و MSE را برای هر طرح آمارگیری نشان می‌دهد.

در طرح آمیخته‌مدی دنباله‌ای وبی به همراه حضور مؤلفه‌های MSE نسبت به طرح تک‌مدی حضور کوچک‌تر به دست آمد و در نتیجه MSE آن نیز از طرح تک‌مدی کمتر شد. برای ارزیابی سهم نسبی ایجادشده در اریبی کل توسط اریبی بی‌پاسخی و اریبی اندازه‌گیری، در این بخش سهم هر یک از مؤلفه‌ها در اریبی کل را مطرح کردیم. جدول ۱۰ مؤلفه‌های اریبی را به تفکیک طرح‌های آمارگیری نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود اریبی کل طرح تک‌مدی از طرح آمیخته‌مدی بیش‌تر است. با ارزیابی مؤلفه‌های اریبی، اریبی بی‌پاسخی طرح تک‌مدی بیش‌تر از طرح آمیخته‌مدی است. همچنین با مقایسه‌ی اریبی اندازه‌گیری این دو طرح، طرح

جدول ۸ آماری V کرامر متغیر هدف را به تفکیک طرح‌های آمارگیری نشان می‌دهد. همان‌گونه که جدول ۸ نشان می‌دهد آماری V کرامر در طرح آمیخته‌مدی نسبت به طرح تک‌مدی کوچک‌تر به‌دست آمده است. در طرح آمیخته‌مد در مرحله‌ی وبی مقدار آماری V کرامر بزرگ بود و بعد از اجرای مرحله‌ی حضور مقدار آماری V کرامر کاهش یافت.

۲.۴.۳ میانگین توان دوم خطا

یکی دیگر از راه‌ها برای شناسایی این که کدام طرح آمارگیری کمترین خطای کل را در متغیر هدف دارد، محاسبه‌ی MSE است. مؤلفه‌های اصلی خطای کل آمارگیری که برای متغیر هدف برآورد می‌شوند عبارت‌اند از واریانس نمونه‌گیری، اریبی اندازه‌گیری و اریبی بی‌پاسخی. این مؤلفه‌ها برای محاسبه‌ی MSE متغیر هدف در هر دو طرح آمارگیری استفاده می‌شوند. در ادامه سهم نسبی MSE از منبع‌های مختلف در هر طرح آمارگیری ارزیابی می‌شود. مؤلفه‌ی واریانس نمونه‌گیری به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Var(\hat{\theta}) = \frac{1}{1000-1} \sum_{i=1}^{1000} (\hat{\theta}_i - \bar{\theta})^2 \quad (5)$$

همچنین با توجه به محاسبه‌ی برآوردها در بخش قبل، مؤلفه‌های اریبی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

- (۱) اریبی کل: برآورد خود گزارشی - برآورد ثبت نمونه،
- (۲) اریبی بی‌پاسخی: برآورد باپاسخ‌های ثبتی - برآورد ثبت نمونه، و
- (۳) اریبی اندازه‌گیری: برآورد خود گزارشی - برآورد باپاسخ‌های ثبتی.

آمیخته‌مدی اریبی اندازه‌گیری کوچک‌تری نسبت به طرح تک‌مدی دارد. تا اریبی بی‌پاسخی و همچنین اریبی اندازه‌گیری به‌طور چشم‌گیری کاهش در طرح آمیخته‌مدی دنباله‌ای در مرحله‌ی وی‌بی به دلیل نرخ پاسخ کمتر اریبی یابد. در اریبی کل، اریبی اندازه‌گیری سهم بیش‌تری نسبت به اریبی بی‌پاسخی بی‌پاسخی بزرگ‌تر بوده و با اجرای مرحله‌ی حضوری به دنبال آن موجب شده در هر دو طرح آمارگیری داشتند.

جدول ۹: اریبی کل، واریانس نمونه‌گیری و MSE برای متغیر هدف به تفکیک طرح‌های آمارگیری

MSE	واریانس نمونه‌گیری	اریبی کل	طرح آمارگیری
۰/۰۲۶۴	۰/۰۱۶۴	۰/۰۹۹۹۱۷	طرح تک‌مدی حضوری
۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۳۴	۰/۰۴۰۹۸۶	طرح آمیخته‌مدی دنباله‌ای وی‌بی به همراه حضوری

جدول ۱۰: اریبی کل و مؤلفه‌های اریبی در هر طرح آمارگیری

اریبی اندازه‌گیری	اریبی بی‌پاسخی	اریبی کل	طرح آمارگیری
			طرح تک‌مدی
۰/۰۶۷۶۵۶	۰/۰۳۲۲۶۱	۰/۰۹۹۹۱۷	حضوری
			طرح آمیخته‌مدی دنباله‌ای وی‌بی به همراه حضوری
۰/۰۷۴۹۳۱	۰/۰۷۲۱۳	۰/۱۴۷۰۶۱	مرحله‌ی وی‌بی
۰/۰۴۱۵۵۸	-۰/۰۰۰۵۷۲	۰/۰۴۰۹۸۶	مرحله‌ی وی‌بی+حضوری

و هزینه نیز خیلی به‌صرفه‌تر از طرح تک‌مدی بود. با ارزیابی مؤلفه‌های اریبی هر دو طرح، خطای گزینش طرح آمیخته‌مدی کمتر از طرح تک‌مدی بود. به‌عبارت‌دیگر، در طرح آمیخته‌مدی مرحله‌ی ۲ (حضوری) به کمک مرحله‌ی ۱ (وی‌بی) آمد و نتیجه‌های بهتری نسبت به طرح تک‌مدی به دست داد.

۴ نتیجه‌گیری

در این مقاله به مقایسه دو طرح تک‌مدی حضوری و طرح آمیخته‌مدی دنباله‌ای وی‌بی به همراه حضوری پرداختیم. در کاربرد طرح آمیخته‌مدی نرخ پاسخ بیش‌تری نسبت به طرح تک‌مدی داشت. این طرح آمیخته‌مدی از نظر زمان

مراجع

- [1] Atkeson, L. R., Adams, A. N., Bryant, L. A., Zilberman, L. and Saunders, K. L. (2011). Considering Mixed Mode Surveys for Questions in Political Behavior: Using the Internet and Mail to Get Quality Data at Reasonable Costs, *Political Behavior*, **33**, 161-178.
- [2] Biemer, P. P. and Lyberg, L. E. (2003). *Introduction to Survey Quality*, vol. 335, John Wiley & Sons, New York.
- [3] Blyth, B. (2008). Mixed Mode: the Only 'Fitness' Regime? *Internat. J. Numer. Methods Engrg*, **50**, 241-266.
- [4] Dillman, D. A., Smyth, J. D. and Christian, L. M. (2014). *Internet, Phone, Mail and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method*, John Wiley & Sons, New York.

- [5] Groves, R. M., Fowler Jr, F. J., Couper, M. P., Lepkowski, J. M., Singer, E. and Tourangeau, R. (2011). *Survey Methodology*, vol. 561, John Wiley & Sons, New York.
- [6] Hochstim, J. R. and Athanasopoulos, D. A. (1970). Personal Follow-Up in a Mail Survey: Its Contribution and Its Cost, *Public Opinion Quarterly*, **34**, 69–81.
- [7] Klausch, T., Hox, J. J. and Schouten, B. (2014). *The Use of Within-Subject Experiments for Estimating Measurement Effects in Mixed-Mode Surveys*, Statistics Netherlands Hague, Netherlands.
- [8] Lohr, S. (2010). *Sampling: Design and Analysis Second Edition*. Brooks/ Cole Cengage Learning, Duxbury Press, California.
- [9] Olson, K., Smyth, J. D. and Wood, H. M. (2012). Does Giving People their Preferred Survey Mode Actually Increase Survey Participation Rates? An Experimental Examination, *Public Opinion Quarterly*, **76**, 611–635.
- [10] Rao, J. N. K. and Scott, A. J. (1987). On Simple Adjustments to Chi-square Tests with Sample Survey Data, *The Annals of Statistics*, **15**, 385–397.
- [11] Roberts, C. and Vandenplas, C. (2017). Estimating Components of Mean Squared Error to Evaluate the Benefits of Mixing Data Collection Modes, *Journal of Official Statistics*, **33**, 303–334.
- [12] Tourangeau, R., Rips, L. J. and Rasinski, K. (2000). *The Psychology of Survey Response*, Cambridge University Press, Cambridge.