

بررسی نرخ تاریک شدن آسمان و مدل‌سازی تعیین زمان انتظار رؤیت هلال ماه

سیدقاسم رستمی^۱

حسن امامی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

چکیده

هدف از این تحقیق، بررسی نرخ تاریک شدن آسمان در مناطق مختلف و تأثیر آن در مدل‌سازی بهینه پارامترهای رصد رؤیت هلال ماه و تعیین بهترین زمان رؤیت آن است. برای این منظور، از ۲۶۸ گزارش رصدی معتبر نجومی ۲۰ سال اخیر (از ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ خورشیدی) از نقاط مختلف ایران، برای مدل‌سازی پیش‌بینی بهترین زمان رؤیت هلال ماه استفاده گردید. مدل‌های پیشنهادی، علاوه بر اینکه داده‌های ۲۰ ساله را برای تأمین کلیه فرکانس‌های مؤثر جزر و مدی ماه (حدافل دوره تناوب حرکت نوتیشن ماه برابر با ۱۸/۶۱ سال) مورد بررسی قرار داده است، بلکه برای بهبود تعیین زمان انتظار، در کنار استفاده از پارامترهای تغییر روشنایی آسمان (نظیر مدت زمان اختفاء محلی خورشید و نرخ تاریک شدن محل)، اثر فاصله ماه تا زمین و زاویه ارتفاعی ماه از خورشید را نیز دخالت داده است. عامل تاریک شدن محلی آسمان ناشی از عوامل مختلف نظیر تغییرات عرض ژئودتیک، به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، مدل‌های پیشنهادی با استفاده از گزارشات رصدی طبقه‌بندی شده، با کمترین خطا مدل‌سازی گردیده که می‌تواند برخلاف تحقیقات قبلی، زمان رؤیت هلال ماه را در حضور خورشید (در زمان روزگاہ) نیز پیش‌بینی نماید. در گام اول، همبستگی آماری بین مدت زمان انتظار هر رصد با پارامترهای مؤثر در رؤیت‌پذیری هلال ماه مورد بررسی قرار گرفت. سپس، پارامترهایی با بالاترین وابستگی به‌عنوان کمیت‌های اصلی، برای مدل‌سازی زمان بهینه انتظار انتخاب شدند. در ادامه، ۱۷ مدل خطی چندجمله‌ای مختلف با تعداد ۲، ۳، ۴ و ۵ پارامتر طراحی و مورد بررسی قرار گرفتند و ضرایب دو مدل نهایی (مدل دو و پنج پارامتری) به‌عنوان مدل پیشنهادی، با استفاده از روش برآورد کمترین مربعات حاصل شدند. مدل‌ها، به‌ترتیب برای رصدهایی با فواصل حضیض مدار ماه (فاصله کمتر از ۳۷۵ هزار کیلومتر) و برای رصدهایی با فواصل اوج مدار ماه (فاصله بیشتر از ۳۹۰ هزار کیلومتر) به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل ۵ پارامتری نشان داد در این دو حالت به‌ترتیب، دارای خطای مربعی متوسط ۳/۶ دقیقه و ۴/۰ دقیقه برای پیش‌بینی بهترین زمان رؤیت هلال ماه هستند. همچنین نتایج نشان داد، با توجه به تغییرات جدایی زاویه‌ای ماه از خورشید (۱۰ تا ۲۰ درجه) و اختلاف ارتفاع ماه از خورشید (۵ تا ۲۰ درجه)، مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه از ۳۲ دقیقه بعد از غروب خورشید تا ۱۲ دقیقه زودتر از غروب خورشید، به‌دست آمده است. نتایج بیانگر این بود که با افزایش نرخ تاریک شدن آسمان، مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه کاهش می‌یابد. به عبارتی، هلال ماه در نیمه شمالی کشور زودتر از نیمه جنوبی کشور دیده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی بهینه، مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه، زمان اختفاء محلی خورشید، نرخ تاریک شدن آسمان

۱- مربی گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه بجنورد، خراسان شمالی، ایران (نویسنده مسئول) gh.rostami@ub.ac.ir

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی مرنند، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران h_emami@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

جنبه‌های مختلف رؤیت هلال ماه باعث شده است تا رصدگران زیادی در سراسر دنیا به صورت مداوم به جمع‌آوری داده‌های رصد ماه پردازند (رستمی، ۱۳۹۸). یکی از جنبه‌های رصد ماه، تعیین روز شروع ماه در تقویم‌های قمر محور است (صیاد، ۱۳۸۲).

از جمله می‌توان به تقویم قمری در دین اسلام، تقویم عبری در دین یهود، تقویم کره‌ای، برخی تقویم‌های هندی و چینی اشاره کرد (Ahmad and et al, 2020). امروزه بیش از ۲۲ درصد مردم جهان برای شروع ماه‌های خود از دیدن هلال ماه در فقه اسلامی استفاده می‌کنند (Dogget & Schaefer, 1994). در نگاه اول پیش‌بینی لحظه رؤیت هلال، هم یک مسئله نجومی و هم یک مسئله فیزیکی است (Bruin, 1977) در صورتی‌که، مسائل دیگری نظیر اثر وضعیت جوی، مسائل انسانی و فیزیولوژیکی (قدرت بینایی و دقت حواس) نیز تأثیر به‌سزایی در حل این مسئله دارند (Schaefer, 1988). لذا صرفاً پرداختن به پارامترهای نجومی ماه و خورشید در مدارشان برای هر موقعیت از ناظر کره زمین، نمی‌تواند به تنهایی نتایج دقیقی را به دنبال داشته باشد (قنبری و همکاران ۱۳۹۱). برای این منظور محققان در ۴۰ سال گذشته به بررسی و تعیین بهترین زمان رؤیت اولین هلال نازک ماه، بعد از غروب خورشید پرداخته‌اند.

مشاهدات هلال ماه توسط بابلیان (در دوره حدود ۴۰۰ ساله قبل از میلاد) نشان داد که برای دیدن هلال ماه با چشم غیرمسلح، باید حداقل ۱۲ درجه جدایی زاویه ماه و خورشید (در راستای استوا) وجود داشته باشد. در این مشاهدات با کمک ساعت آبی، مدت زمان لازم برای دیدن هلال شب اول را، پر شدن یک کاسه مسی معادل ۲۴ دقیقه زمانی به‌دست آورده‌اند.

در نظریه‌های بعدی نظیر ابن میمون، بهترین زمان^۱ برای رؤیت هلال ماه را با زاویه انحطاط خورشید، معادل ۵ درجه و در حدود ۲۰ تا ۲۵ دقیقه زمانی، به‌دست آورده‌اند

(Bruin, 1977). اما بروین با ترسیم منحنی‌های ضخامت هلال به تغییرات اختلاف ارتفاع ماه و خورشید و زاویه انحطاط خورشید از افق و همچنین با ترسیم نمودار روشنایی زمینه آسمان به زاویه انحطاط خورشید، به این نتیجه رسید که حداقل زاویه انحطاط خورشید برای دیدن هلال برابر با ۴ درجه، معادل ۱۶ تا ۲۰ دقیقه است (Bruin, 1977). محدودیت بزرگ تحقیقات ایشان، ارائه یک پارامتر نظیر زاویه انحطاط خورشید به صورت کلی است و به جزئیات و عوامل تغییر آن با حالت‌های مختلف مدار ماه و خورشید و مکان‌های مختلف ناظر بر روی کره زمین، هیچ اشاره‌ای نشده است. در ادامه این تحقیقات، شفر با ذکر محدودیت و مشکلات (خالی بودن شرایط جوی و فیزیولوژیکی در این مدل‌ها) و ضعیف بودن مدل‌های مبتنی بر سن^۲ و مکث هلال^۳ از جمله در معیار الیاس (Ilyas, 1994)، بیان کرد که با استفاده از لگاریتم نسبت روشنایی مطلق واقعی ماه به روشنایی لازم برای دیدن ماه، می‌توان وضوح جوی آسمان را تابعی از ارتفاع محل از سطح دریا، دما، رطوبت، حجم ذرات معلق در هوا و تقویم نجومی^۴ ماه و خورشید، محاسبه کرد. سپس ایشان رؤیت‌پذیری ۲۰۱ درصد (شامل ۱۲۵ درصد قدیمی از سال ۱۸۵۹ تا ۱۹۷۰) را با مدل خود تست کرد (Schaefer, 1988). ایشان در تحقیق خود هیچ اشاره‌ای به جزئیات مدل خویش نکرده است و تنها به خروجی مدل، به صورت یک عدد برای هر رصد در آخرین ستون جدول اکتفا کرده است. شفر همچنین، در مطالعات بعدی با کمک ۲۹۱ رصد، حداقل جدایی زاویه‌ای را برای دیدن هلال ماه با چشم غیرمسلح برابر با ۹/۴ درجه به‌دست آورد (Schaefer, 1996).

یالوپ با توجه به روش کار بروین (توجه به آسمان گرگ و میش برای بهترین زمان دیدن هلال)، یک رابطه ساده برای تعیین بهترین زمان رؤیت هلال ماه به‌دست آورد. یالوپ ابتدا در مورد تعارض دو موضوع برای دیدن هلال توضیح می‌دهد که با گذشت زمان بعد از غروب خورشید،

2- Age

3- Lag time

4- Ephemeris

1- Best time

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی نرخ تاریخ شدن آسمان و مدل سازی تعیین زمان انتظار ... / ۷۹

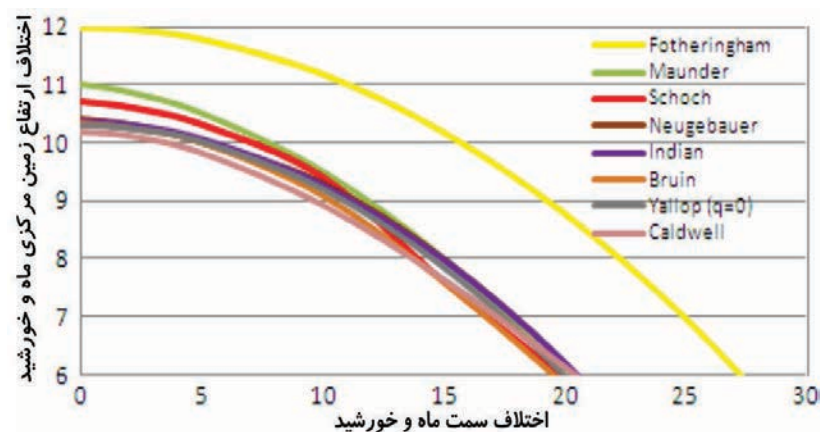
روش رگرسیون دایره‌ای و استفاده از ۲۵۴ مورد مشاهدات رصدی جدید بعد از سال ۲۰۰۰، معیار یالوپ مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که در جدایی‌های زاویه‌ای بالا نیز هلال‌هایی قابل رؤیت است که معیار یالوپ آن‌ها را رد می‌کرد (Ahmad and et al, 2020).

پس از یالوپ، تحقیقات مشابه دیگری برای رؤیت پذیری هلال ماه ارائه شدند (Odeh, 2004 & Qureshi, 2010 & Sultan, 2006) که هر یک از مدل‌ها محدودیت‌ها و خطاهایی در پیش‌بینی رؤیت هلال ماه دارند (Rostami, 2010). اما در تحقیقاتی توسط رصدخانه آفریقای جنوبی، معیار جدید و متفاوت با معیارهای قبلی ارائه گردید (Caldwell, 2001). سپس رستمی در مطالعاتی نشان داد که دو عامل مهم برای کمترین خطا در معیارهای رؤیت‌پذیری هلال ماه وجود دارد که یکی استفاده از مدل ریاضی مناسب و دیگری استفاده از آخرین رکوردهای رؤیت هلال ماه است (رستمی ۱۳۹۲).

با انجام رصدهای معتبر به کمک ابزارهای نجومی جدید در بیست سال اخیر، مشخص شد روش‌های قدیمی ارائه شده برای تعیین بهترین زمان رؤیت هلال ماه، دارای محدودیت و خطاهایی است که نمی‌تواند پاسخگوی پیش‌بینی مورد نیاز برای رصدگران هلال ماه باشد. بر این اساس، قاضی میرسعید و رستمی به ترتیب با معیار فاز و ارتفاع و مدل مثلثی (معیار ایران) مدل‌هایی را برای رفع این خطاها ارائه دادند (قاضی میرسعید ۱۳۹۲ و رستمی ۱۳۹۲). لازم به ذکر است، عامل دیگری که برای معیارهای رؤیت‌پذیری

از یک طرف آسمان تاریک‌تر شده و شرایط دیدن هلال بهتر می‌شود، اما از طرف دیگر با کم شدن ارتفاع ماه، هلال ماه وارد بخش ضخیم‌تر شده و شرایط دیدن هلال، سخت‌تر می‌شود. ایشان نتیجه‌گیری کرد که در فاصله مکث ماه، یک زمان به‌عنوان بهترین زمان رؤیت هلال ماه خواهد بود که ارتفاع هلال و تاریکی آسمان، مقدار مناسب برای تشخیص هلال دارند. لذا ایشان یک مدل ساده، چهار نهم مقدار مکث هلال بعد از غروب خورشید به‌دست آورد و اشاره کرد که مدلش از منحنی‌های بروین گرفته شده است (Yallop, 1998). اخیراً اوزلم توانست منحنی‌های بروین را با داده‌های جدید و رفع اشکالات آن به‌روز کند و خطای برآورد زاویه انحطاط را برای بهترین زمان رؤیت هلال ماه به‌دست آورد (Ozlem, 2014). نتایج ایشان نشان داد که حداقل مقدار ۳/۹۷ درجه زاویه انحطاط خورشید برای بهترین زمان رؤیت هلال ماه برای دیدن هلال‌های با ضخامت ۰/۲۶ دقیقه کمانی، لازم است که این زمان کمی کمتر از ۲۰ دقیقه است. نگاره ۱ مقایسه خطوط معیارهای رؤیت‌پذیری هلال ماه را در تحقیق اوزلم نشان می‌دهد.

دوره جدید تحقیقات و مطالعات مدل‌سازی رؤیت‌پذیری هلال ماه با روش جدید در تحقیق یالوپ به کمک ۲۹۵ رصد هلال ماه، شروع شد (Yallop, 1998). به دنبال آن، هافمن به کمک ۵۷۹ مشاهدات رصدی و عوده به کمک ۷۳۷ مشاهدات رصدی توانستند معیار یالوپ را مورد ارزیابی قرار دهند (Hoffman, 2003 & Odeh, 2004). اخیراً با



نگاره ۱: مقایسه خطوط معیارهای پیش‌بینی رؤیت‌پذیری هلال ماه نسبت به محل هلال در مختصات سماوی افقی

(Ozlem 2014)

استفاده گردید. انتخاب بازه زمانی ۲۰ ساله در این تحقیق، تأمین‌کننده حداقل دوره تناوب حرکت نوتیشن ماه (۱۸/۶۱ سال) برای وارد شدن اثر قرار گرفتن کلیه فرکانس‌های مؤثر جزر و مدی ماه بر روی تخمین پارامتر بهترین زمان رؤیت هلال ماه است. همچنین در این تحقیق برخلاف تحقیقات قبلی، مدل‌سازی برای رصد هلال‌هایی که در حضور خورشید (در هنگام روزگام) نیز قابل رؤیت است، انجام شد. برای این منظور، عامل تاریک شدن محلی آسمان ناشی از عوامل مختلف نظیر تغییرات عرض ژئودتیک، به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مدت زمان اختفاء محلی خورشید ناشی از وجود موانعی مثل کوه‌های دوردست در افق که خود می‌تواند در نرخ تاریک شدن محلی آسمان اثرگذار باشد، مورد توجه قرار گرفت.

برای رسیدن به این اهداف، در ابتدا برای هر رصد، پارامترهای رؤیت‌پذیری هلال ماه نظیر مدت زمان مکث ماه، اختلاف ارتفاع و جدایی زاویه‌ای ماه از خورشید، فاز و ضخامت هلال ماه و غیره برای زمان رؤیت هلال و برای زمان غروب خورشید محاسبه شده‌اند. سپس ضریب همبستگی آماری پیرسون بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال و این پارامترها برای هر رصد با کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB به‌دست آمده‌اند.

پارامترهایی که دارای بیشترین وابستگی (ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸) با مدت زمان انتظار داشتند، برای مدل‌سازی انتخاب شدند. در ادامه، ۱۷ مدل ریاضی مختلف برای تعیین زمان انتظار بهینه رؤیت هلال ماه، مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها با تعداد ۲، ۳، ۴ و ۵ پارامتر طراحی شدند و ضرایب هر مدل به روش برآورد کمترین مربعات با داده‌ها و گزارشات جدید ایرانیان حاصل گردید. نهایتاً دو مدل نهایی، مدل اول دو پارامتری و مدل دوم ۵ پارامتری (در دو حالت برای رصدهای در فواصل حسیض و در فواصل اوج ماه تا زمین) از بین ۱۷ مدل ریاضی مختلف مورد بررسی، به‌عنوان مدل پیشنهادی انتخاب شدند. لذا مدل‌های پیشنهادی این تحقیق با کمترین خطا از نظر آماری

هلال ماه اهمیت دارد، تعیین دقیق بهترین زمان رؤیت هلال ماه است. زیرا پس از غروب خورشید و با تاریک شدن آسمان، لحظه به لحظه پارامترهای رؤیت‌پذیری هلال ماه، نظیر فاز، جدایی زاویه‌ای، ضخامت بخش میانی هلال و اختلاف ارتفاع ماه و خورشید، وضعیت بهتری پیدا می‌کنند در حالی که هلال ماه به افق نزدیک‌تر شده و در ضخامت زیاد جو، شرایط سخت‌تری از نظر رؤیت پیدا می‌کند. لذا پیدا کردن زمان دقیق اولین رؤیت هلال ماه بعد از غروب خورشید، مقدمه‌ای بر پیش‌بینی دقیق رؤیت‌پذیری هلال ماه خواهد بود. با بررسی مطالعات قبلی، سه محدودیت اساسی را می‌توان در آن‌ها مشاهده کرد:

- نخست، مدل‌های ارائه شده براساس داده‌ها و رصدهای قدیمی با ابزارهای ساده طراحی شده‌اند. در حالی که، امروزه رصدها با بهره گرفتن از ابزارهای رصدی مناسب و پیشرفته (نظیر تلسکوپ‌های خودکار و ردیاب مجهز به حسگرهای دیجیتالی قدرتمند) و همچنین زیاد شدن تعداد رصدگران باتجربه در سراسر دنیا، داده‌های مطمئن‌تری به‌دست آمده است.

- دوم، تعداد رصدهای همگن و یکدست برای استفاده در این نوع تحقیقات زیاد شده است. به‌طوری‌که با وجود گزارش‌های بسیار زیاد، گزارش‌های ضعیف و نامطمئن را می‌توان به دلایل شرایط جوئی نامساعد و یا ضعف بینایی و فیزیولوژیکی رصدگر، به سادگی کنار گذاشت.

- سوم، در تحقیقات قبلی استفاده از رصدهای قدیمی بابلیان و رصدهای ناهمگن معاصر در کشورهای مختلف، باعث شده است توجهی به رؤیت‌های هلال قبل از غروب خورشید (در هنگام روزگام) نشود.

به‌منظور رفع سه محدودیت مذکور، در این تحقیق با استفاده از داده‌ها و گزارش‌های رصدی جدید و معتبر ۲۰ سال اخیر (از سال ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ خورشیدی برابر با سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ میلادی) که در نقاط مختلف ایران در زمینه رؤیت هلال ماه با چشم غیرمسلح انجام شده بودند، در مدل‌سازی و تعیین مدت زمان بهینه رؤیت هلال ماه،

قابل مقایسه و اختلاط نبوده و تفاوت های ساختاری دارند. به طوری که یک ابزار رصدی می تواند قدرت دید رصدگر را به صورت تصاعدی افزایش دهد و در برخی موارد بدون نیاز به زمان انتظار و مقارن با غروب خورشید، بتوان هلال را در ابزارهای اپتیکی نظیر تلسکوپ های قوی مشاهده کرد. بیشترین مشاهدات از رصدگران شهرهای زیر به ترتیب حروف الفبا بوده است:

اصفهان (علیرضا بوژمهرانی، ساغر بهادرانی، حسین و علی جانقربانی، مهدی رحیمی، محمد سلطان الکتابی، محمد همایونی)، تهران (علی ابراهیمی سراجی، سید محسن قاضی میرسعید، مصطفی ولی یاری، علی لطفی و محمدکریم غیائی)، بجنورد و تفت (سید قاسم رستمی)، بوشهر (عبدالرضا لآوری)، دزفول (رضا طیب طاهر)، رشت (امیر حسن زاده)، سراوان (محمدزاهد آرام)، سیرجان (صادق فرهادی و وحید خضری نسب)، شیراز و فسا (محسن شریفی و رضا اسفندی، سیدمحمدحسین نیری)، قم (سیدعلی میرسالاری، مهدی پیوندزنی و سیدرضا قلمکاریان اصفهانی)، قوچان (مجید الهی و محمد فیاضی)، کرمان (سعید دوست محمدی، رضا امیرزاده، سیدجلیل الدین فاطمی)، مشهد (مهدی مطیعی، محمدرضا خاتمی) و یزد (سیدمحمد حسین مصدق، بهزاد بهرامی)

این داده ها و مشاهدات رصدی با بررسی دقیق از منابع مختلف گردآوری شده است. این منابع شامل سایت های هلال ماه، سایت آی کوپ^۲ و استهلال ماهانه دفتر مقام معظم رهبری^۳ بوده است. بدیهی است که پارامترهای مشاهدات رصدی، از دقت های مختلفی برخوردار هستند. دقت مورد نیاز برای هر کمیت در این تحقیق به صورت زیر انتخاب شد:

- دقت یک دقیقه برای پارامترهای زمانی نظیر زمان های رؤیت، زمان غروب ماه و غروب خورشید. زیرا اولاً فرآیند رؤیت هلال طوری است که دیدن هلال ناگهان اتفاق نمی افتد و به تدریج ابتدا یک تصویر ناواضح از هلال

و روش های ریاضی، برای تعیین بهترین زمان رؤیت هلال از طریق الگوی طبقه بندی رصدها انتخاب شده است. نتایج مدل پیشنهادی نیز به صورت های مختلف ریاضی، نقشه و جدول برای استفاده بهتر رصدگران ارائه شده است. همچنین برای تقویت و بهبود مدل پیشنهادی، اثر اختفاء محلی خورشید و نرخ تاریخ شدن محلی آسمان به عنوان دو پارامتر مؤثر در بهترین زمان رؤیت هلال مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱ داده های تحقیق و مشخصات آنها

همانطور که در مقدمه ذکر شد، یکی از مشکلات اساسی در تعیین بهترین زمان رؤیت هلال ماه، استفاده از داده های محدود و قدیمی است که یکدست و همگن نیستند. در نتیجه، خطای پیش بینی بهترین زمان، وارد مدل های پیشنهادی توسط محققین مختلف شده است. بر این اساس، داده های مورد استفاده در این تحقیق، از رصدهای همگن و جدید در محدوده کل ایران انتخاب شدند. به طوری که، داده های تحقیق، از رصدهای جدید در طول بازه زمانی سال های ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ خورشیدی (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ میلادی) هستند. این دوره زمانی، تأمین کننده حداقل دوره تناوب حرکت نوتیشن ماه (۱۸/۶۱ سال) برای وارد شدن اثر قرار گرفتن کلیه فرکانس های مؤثر جزر و مدی ماه بر روی پارامتر بهترین زمان رؤیت هلال ماه است. زیرا کاهش طول دوره به کمتر از این مقدار (حدود ۱۹ سال) می تواند مدارهایی از ماه را حذف کرده و تأثیر شرایط متغیر آنها را بر مدل های پیش بینی کم کند. علاوه بر آن در انتخاب داده ها، سعی شده است از گزارش رصدگران با تجربه که گزارش های منظم ماهانه از یک منطقه خاص دارند، استفاده شود. پس از پالایش و حذف رصدهای مشابه، در مجموع ۲۶۸ گزارش رؤیت هلال با چشم غیر مسلح برای مدل سازی بهترین زمان انتخاب شدند. دلیل جدا کردن رصدهای با چشم غیر مسلح از رصدهای با چشم مسلح این است که این دو نوع رصد

1- www.helalemah.ir

2- www.astronomycenter.net

3- www.leader.ir/fa/book/9/

جدول ۳: طبقه‌بندی گزارش‌های رؤیت هلال ماه براساس مکث ماه

مکث ماه (دقیقه)	کمتر از ۵۳	۵۳ تا ۶۳	بیشتر از ۶۳
تعداد رصد	۹۷	۹۹	۱۰۶

جدول ۴: طبقه‌بندی گزارش‌های رؤیت هلال ماه براساس فاصله ماه تا زمین (برحسب هزار کیلومتر)

فاصله ماه (هزار کیلومتر)	کمتر از ۳۷۰	۳۷۰ تا ۳۹۵	بیشتر از ۳۹۵
تعداد رصد	۹۳	۹۹	۱۱۰

۲-۲ روش تحقیق

برای رسیدن به هدف اصلی این مقاله، در ابتدا برای هر رصد، پارامترهای رؤیت‌پذیری هلال ماه نظیر مدت زمان مکث ماه، اختلاف ارتفاع و جدایی زاویه‌ای ماه از خورشید، فاز و ضخامت هلال ماه و غیره برای زمان رؤیت هلال ماه و برای زمان غروب خورشید محاسبه شده‌اند. سپس ضریب همبستگی پیرسون به صورت جداگانه برای هر رصد، بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه و پارامترهای فوق از طریق کدنویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB به دست آمده‌اند. سپس پارامترهایی که دارای ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸ بودند، برای استفاده در مدل پیش‌بینی بهترین زمان رؤیت هلال ماه انتخاب شدند.

در ادامه، ۱۷ مدل ریاضی (چندجمله‌ای خطی) مختلف برای تعیین زمان انتظار بهینه رؤیت هلال ماه، مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها با تعداد ۲، ۳، ۴ و ۵ پارامتری طراحی شدند و ضرایب هر مدل به روش برآورد کمترین مربعات با داده‌ها و گزارش‌های جدید ایرانیان حاصل گردید. نهایتاً دو مدل نهایی، مدل اول دو پارامتری و مدل دوم ۵ پارامتری (در دو حالت برای رصدهای در فواصل حسیض و در فواصل اوج ماه تا زمین) از بین ۱۷ مدل ریاضی مختلف مورد بررسی، به عنوان مدل پیشنهادی انتخاب گردیدند. برای تعیین پارامترهای بهینه مورد استفاده در این مدل‌ها، در ابتدا کمیت DT (مطابق جدول ۵)، فاصله زمانی بین اولین زمان رؤیت هلال با چشم غیرمسلح و زمان غروب هندسی خورشید بر حسب دقیقه برای هر رصد محاسبه شد. این

به صورت سوسو زدن دیدن و بعد از زمان کوتاهی، هلال واضح. دوم اینکه بخاطر اثر انکسار جوئی که تابع شرایط محیطی است، پیش‌بینی زمان غروب ماه و خورشید تا یک دقیقه خطا دارد.

- دقت پارامترهای زاویه‌ای نظیر ارتفاع ماه، اختلاف ارتفاع و جدایی زاویه‌ای و اختلاف سمت ماه از خورشید، میل خورشید و عرض دایره البروجی ماه در حد دقیقه کمانی (یک شصتم درجه) کفایت می‌کند. زیرا در مدت زمان یک دقیقه خطای زمانی، تغییرات این پارامترها در عرض‌های جغرافیایی متوسط در ایران، به دقیقه کمانی نخواهد رسید. - دقت پارامترهای مدت زمان^۱ که از روی زمان‌ها به دست می‌آیند نظیر مکث ماه، سن هلال، مدت زمان اختفاء خورشید و نرخ تاریک شدن محل هم در حد دقیقه زمانی در نظر گرفته شد. نگاره ۲ مفهوم مدت زمان اختفاء محلی خورشید ناشی از وجود موانعی مثل کوه‌های دور دست در افق ناظر را نشان داده است.

- دقت دیگر پارامترها، فاصله ماه تا زمین در حد کیلومتر، فاز ماه در حد صدم درصد، ضخامت هلال در حد صدم دقیقه کمانی در نظر گرفته شد.

بعد از پالایش این مشاهدات، با طبقه‌بندی ۲۶۸ رصد انتخاب شده با الگوهای مختلف و براساس کمیت‌های مؤثر در رؤیت‌پذیری هلال ماه، آمار مفیدی مطابق جداول ۱ تا ۴ به دست آمد که از این نتایج در مدل‌سازی بهینه زمان انتظار رؤیت هلال ماه مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱: طبقه‌بندی گزارش‌های رؤیت هلال ماه براساس سن هلال

سن هلال (ساعت)	کمتر از ۲۷	۲۷ تا ۳۵	بیشتر از ۳۵
تعداد رصد	۹۵	۱۰۳	۱۰۴

جدول ۲: طبقه‌بندی گزارش‌های رؤیت هلال ماه براساس جدایی زاویه‌ای ماه از خورشید

جدایی زاویه‌ای (درجه)	کمتر از ۱۳	۱۳ تا ۱۷	بیشتر از ۱۷
تعداد رصد	۹۲	۱۱۶	۹۴

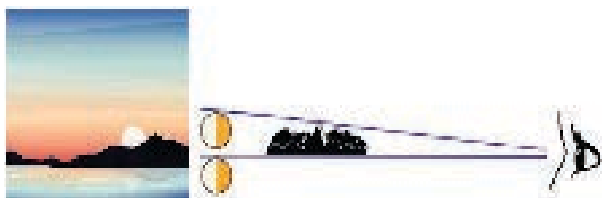
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۳)

بررسی نرخ تاریخ شدن آسمان و مدل سازی تعیین زمان انتظار ... / ۸۳

پارامترها می توان مطابق معادله (۱) نوشت (بالوپ ۱۹۹۸):

$$\text{رابطه (۱)} \quad DT = CST - TS$$

پارامترهای این رابطه در جدول ۵ معرفی شده اند. در این مقاله اثر غروب زود هنگام خورشید، با پارامتر جدیدی به نام مدت زمان اختفاء محلی خورشید (OT) نشان داده می شود که در جدول ۵ و رابطه (۲) معرفی شده است. به عبارت دیگر با وجود موانعی مثل کوه های دور دست در افق، غروب حقیقی خورشید می تواند از ارتفاع ۰/۸۳- درجه به ارتفاع بالاتر و زودتر از موعد حقیقی منجر شود (نگاره ۲).



نگاره ۲: مفهوم مدت زمان اختفاء محلی خورشید ناشی از وجود موانعی مثل کوه های دور دست در افق ناظر

مدت زمان اختفاء محلی خورشید را اکثر رصدگران با تجربه هلال ماه، از طریق تعیین زمان غروب ظاهری خورشید گزارش می کنند و آن را می توان از اختلاف زمان غروب واقعی خورشید و زمان غروب ظاهری خورشید مطابق رابطه (۲) به دست آورد:

$$\text{رابطه (۲)} \quad OT = TS - AS$$

پارامترهای این رابطه در جدول ۵ معرفی شده اند.

دیگر پارامتر اثرگذار، سرعت یا نرخ تاریخ شدن محل^۳ است که در این تحقیق با پارامتر rt نشان داده می شود. این زمان با زاویه انحطاط یا زوال خورشید نسبت مستقیم دارد^۴. این پارامتر به دلیل تفاوت زاویه شیب پایین رفتن خورشید در مکان های مختلف ناظر، ناشی از عرض جغرافیایی محل است. با توجه به زاویه ساعتی غروب خورشید و زاویه

پارامتر جدید را مدت زمان انتظار رؤیت هلال^۱ می نامیم که منجر به محاسبه بهترین زمان رؤیت هلال خواهد شد. این زمان می تواند به عنوان کمیت هدف مدل سازی، به صورت یک عدد جبری با مقادیر مثبت، منفی و صفر باشد.

جدول ۵: معرفی کمیت های مورد نیاز مدل سازی زمان انتظار رؤیت هلال

λ	طول جغرافیایی بر حسب درجه
φ	عرض جغرافیایی بر حسب درجه
H	ارتفاع رصدگاه از سطح دریا بر حسب متر
AS	زمان غروب ظاهری خورشید (Apparent Sunset) (آخرین لحظه دیدن خورشید پشت موانع افق مثل کوه)
TS	زمان غروب حقیقی خورشید (True Sunset) (زمان قرار گرفتن مرکز خورشید در ارتفاع ۰/۸۳- درجه)
CST	زمان رؤیت اولین هلال با چشم غیر مسلح بر حسب ساعت (Crescent Sighting Time)
DT	مدت زمان انتظار رؤیت هلال (Delta Time) (فاصله زمانی بین رؤیت هلال و غروب حقیقی خورشید)
OT	مدت زمان اختفاء محلی خورشید ناشی از وجود موانع در افق (Local Sun Occulting epoch time)
rt	نرخ تاریخ شدن محل (Local Darkening Rate)
a	ارتفاع ماه از افق بر حسب درجه
Δa	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید بر حسب درجه
d	جدایی زاویه ای ماه از خورشید بر حسب درجه
P	فاز ماه (درصد سطح درخشان ماه)
W	ضخامت بخش میانی هلال بر حسب دقیقه کمانی
Age	سن ماه از زمان مقارنه بر حسب ساعت
r	فاصله ماه از زمین بر حسب هزار کیلومتر
Lag	مکث ماه (زمان بین غروب ماه و خورشید) بر حسب دقیقه

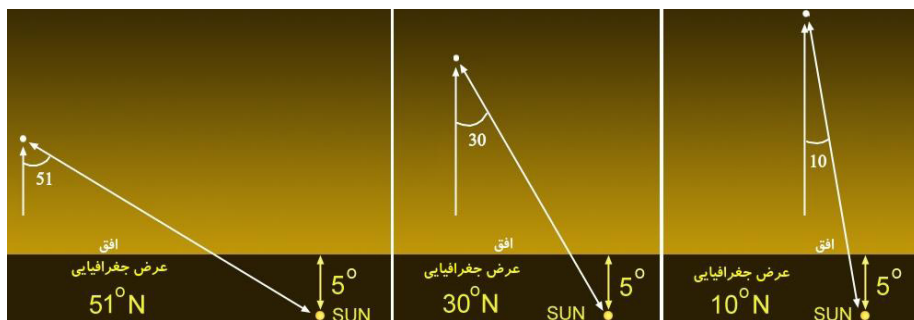
سپس برای هر گزارش رؤیت هلال ماه، پارامترهای مختلف رؤیت پذیری هلال مطابق جدول ۵ در سیستم مختصات مکان مرکزی^۲ محاسبه گردید. لذا با تعریف این

3- Local Darkening Rate

۴- زاویه انحطاط خورشید: زاویه ارتفاعی خورشید، زمانی که خورشید به زیر افق وارد می شود. این زاویه کوچک تر از صفر است.

1- Waiting epoch time of lunar crescent sighting

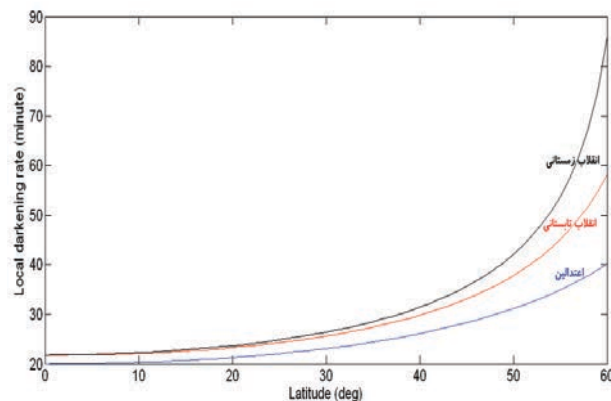
2- Topocentric



نگاره ۳: مقایسه زاویه شیب پایین رفتن خورشید در زاویه انحطاط -۵ درجه در سه عرض جغرافیایی مختلف (مفهوم نرخ تاریکی)

شدن رابطه شرایط جوئی و نرخ تاریک شدن آسمان، در این مقاله صرفاً به بررسی اثر پارامترهای هندسی بر روی زمان انتظار رؤیت هلال ماه اکتفا شده است.

ساعتی خورشید در یک لحظه با ارتفاعی $a = -1^\circ$ ، می توان مدت زمانی که طول می کشد تا خورشید در یک محل، یک درجه به زیر افق وارد شود را بر حسب دقیقه از معادله (۳) به دست آورد (رستمی ۱۳۹۱):



$$r t = 4(h_{a=0} - h_{a=-1})$$

$$= 4 \times [\cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) - \cos^{-1}(\frac{\sin 1 - \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta})]$$

رابطه (۳)

نگاره ۴: نرخ تاریک شدن محل برای ۵ درجه زاویه انحطاط خورشید بر حسب تغییرات عرض جغرافیایی در نقاط اعتدالین و انقلابین

در این رابطه، rt نرخ تاریک شدن محل بر حسب دقیقه در هر درجه، h زاویه ساعتی خورشید در ارتفاع صفر و ارتفاع -۱ درجه، ϕ عرض جغرافیایی و δ میل خورشید است. هر چه از استوا به سمت قطبین حرکت کنیم، این مدت زمان بیشتر شده و آسمان دیرتر تاریک می شود. در نگاره ۳ نشان داده شده است که در سه عرض ۱۰، ۳۰ و ۵۱ درجه به ترتیب ۲۰/۳، ۲۳/۱ و ۳۱/۸ دقیقه زمان لازم است تا زاویه انحطاط خورشید برابر با -۵ درجه شود. مطابق نگاره ۴ و جدول ۶ می توان مقادیر مختلف نرخ تاریک شدن آسمان را در عرض های جغرافیایی مختلف مشاهده و با یکدیگر مقایسه کرد. علاوه بر پارامترهای هندسی مدار ماه و خورشید و مختصات قرار گرفتن ناظر بر روی کره زمین که در مقدار نرخ تاریک شدن آسمان اثرگذار هستند، عوامل و پارامترهای جوئی نظیر دما، فشار و رطوبت هوا نیز می توانند بر نرخ تاریک شدن آسمان، تأثیرگذار باشند. به دلیل محدود بودن تعداد گزارش های رصد هلال ماه که در آن ها پارامترهای جوئی گزارش شده اند و همچنین پیچیده

جدول ۶: مدت زمان نرخ تاریک شدن محل بر حسب دقیقه به هر درجه در فصول و عرض های مختلف

عرض جغرافیایی	0	30	45	60	65
در زمان اعتدالین	4.00	4.62	5.66	8.00	9.47
در زمان انقلاب تابستانی	4.36	5.19	6.80	12.85	25.08
در زمان انقلاب زمستانی	4.36	5.22	6.90	13.74	35.99

بعد از تعیین پارامترهای بهینه و مؤثر در رؤیت هلال ماه، ابتدا میزان وابستگی پارامترهای رؤیت پذیری هلال ماه با

مطابق روش کمترین مربعات، بردار ضرایب مجهولات (X) از معادله (۶) قابل محاسبه است. همچنین بردار خطا را می توان از معادله (۷) به دست آورد:

$$y_{n \times 1} = A_{n \times 4} \cdot X_{4 \times 1} \Rightarrow X = (A^T A)^{-1} A^T y$$

رابطه (۶)

$$e = y - A X$$

رابطه (۷)

با توجه به نقص مرتبه در ماتریس A و به تبع آن در ماتریس $A^T A$ ، برای رفع مشکل تکنیکی^۱ در ماتریس معکوس معادله (۶)، از روش منظم سازی تیخونوف استفاده می شود (Golub et al, 1999).

برای اطمینان از سرشکنی خطاها و برآورد صحیح ضرایب هر مدل، پارامتر زمان انتظار رؤیت هلال ماه (DT) با آزمون فاکتور واریانس ثانویه تست می شود. این آزمون به کمک توزیع خی ۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد به صورت معادله (۸) استفاده شده است (Kuang 1996):

$$\frac{\sigma_o^2 \chi_{df, \frac{\alpha}{2}}^2}{df} < \hat{\sigma}_o^2 < \frac{\sigma_o^2 \chi_{df, 1-\frac{\alpha}{2}}^2}{df}$$

رابطه (۸)

در این معادله، $\hat{\sigma}_o^2$ فاکتور واریانس ثانویه، df درجه آزادی و برابر با تعداد رصدها، منهای ۴ مجهول ضرایب، α خطای نوع اول یا سطح معنی دار، σ_o^2 فاکتور واریانس اولیه که برابر با واریانس مشاهدات در نظر گرفته شده است. همچنین بررسی پایداری ضرایب هر مدل، از روش اعمال خطای عمدی به هر ضریب و انجام آزمون باقیمانده ها بر روی مشاهدات برآورد شده، از طریق شبیه سازی خطا انجام گرفت (Gaborde, 1977).

۳- نتایج و بحث

با توجه به ۲۶۸ رصد انتخاب شده در این تحقیق و تعیین پارامترهای رؤیت پذیری هلال برای هر رصد، ابتدا زمان های انتظار رؤیت هلال برای هر رصد (DT) محاسبه

مدت زمان انتظار ماه (فاصله زمانی غروب خورشید تا لحظه رؤیت هلال ماه) از طریق محاسبه ضریب همبستگی آماری پیرسون از روی داده های پالایش شده، تعیین گردید. سپس پارامترهایی با بیشترین وابستگی انتخاب و با به کار بردن آن ها در یک رابطه چندجمله ای و تعیین ضرایب آن به روش کمترین مربعات به عنوان نمونه در معادله دو پارامتری (۴) به کار گرفته شد:

$$DT = a_1 + a_2 d + a_3 \Delta a + a_4 \Delta a^2$$

رابطه (۴)

در این رابطه DT زمان انتظار رؤیت هلال برحسب دقیقه، a_1, a_2, a_3, a_4 ضرایب مجهول مدل، d ضخامت هلال برحسب دقیقه کمانی، Δa اختلاف ارتفاع ماه و خورشید که همه پارامترها برای لحظه رؤیت هلال ماه از روی رصدهای انتخاب شده به شکل ماتریسی مطابق معادله (۵) قبل محاسبه است.

$$\begin{bmatrix} DT_1 \\ DT_2 \\ DT_3 \\ \vdots \\ DT_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & w_1 & \Delta a_1 & \Delta a_1^2 \\ 1 & w_2 & \Delta a_2 & \Delta a_2^2 \\ 1 & w_3 & \Delta a_3 & \Delta a_3^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & w_n & \Delta a_n & \Delta a_n^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

رابطه (۵)

در این رابطه، بردار مشاهدات \bar{Y} و ماتریس ضرایب A و بردار مجهولات \bar{X} به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$\begin{bmatrix} DT_1 \\ DT_2 \\ DT_3 \\ \vdots \\ DT_n \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

جدول ۷: ضریب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت‌های رؤیت پذیری هلال ماه

پارمتر	مدت زمان اختفاء خورشید	نرخ تاریکی	اختلاف ارتفاع ماه	جدایی زاویه‌ای	فاز ماه	ضخامت بخش میانی	سن هلال	فاصله ماه تا زمین	مکث هلال
واحد پارامتر	دقیقه	دقیقه	درجه	درجه	درصد	دقیقه کمانی	ساعت	هزار کیلومتر	دقیقه
کمترین مقدار	-2	4.4	5.3	9.4	0.8	0.2	17.8	357.2	27
بیشترین مقدار	+29	5.6	20.5	22.4	4.0	1.3	44.7	406.5	103
ضریب همبستگی ^۱	-0.249	-0.162	-0.508	-0.767	-0.773	-0.769	-0.617	0.195	-0.528
ضریب همبستگی ^۲	-0.249	-0.161	-0.483	-0.755	-0.760	-0.757	-0.617	0.196	-0.528

توضیح جدول (۷): ضریب همبستگی ۱: برای پارامترهای لحظه غروب خورشید و ضریب همبستگی ۲: برای پارامترهای لحظه رؤیت ماه است.

جدول ۸: ضریب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت‌های ترکیبی دو پارامتری رؤیت پذیری هلال ماه

ضریب همبستگی	ضرب دو پارامتر
-0.778	$d \times r$
-0.756	$d \times \Delta a$
-0.751	$d \times Lag$
-0.779	$P \times r$
-0.786	$P \times \Delta a$
-0.780	$P \times Lag$

جدول ۹: ضرایب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت‌های ترکیبی سه پارامتری رؤیت پذیری هلال ماه

ضریب همبستگی	ضرب سه پارامتر
-0.794	$\Delta a \times r \times P$
-0.775	$\Delta a \times r \times d$
-0.795	$\Delta a \times P \times r \ t$
-0.511	$\Delta a \times P \times O \ T$

علاوه بر کمیت‌های ترکیبی دو و سه پارامتری، ضرایب همبستگی برای کمیت‌های چهار پارامتری نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد، بیشترین مقدار برای حالتی به دست می‌آید که چهار پارامتر فاز، اختلاف ارتفاع، فاصله

شد. سپس ضریب همبستگی این کمیت با تمام پارامترهای هر رصد در دو حالت تعیین شدند. یکی ضریب همبستگی با پارامترهای لحظه غروب خورشید و دیگری با پارامترهای لحظه رؤیت هلال ماه در نظر گرفته شدند. نتایج ضرایب همبستگی، بین زمان انتظار رؤیت هلال ماه با پارامترهای انتخاب شده، مطابق با جدول ۷ نشان می‌دهد که بیشترین وابستگی معکوس با فاز ماه، جدایی زاویه ماه از خورشید و ضخامت بخش میانی هلال ماه برابر با ۰/۷۷ است. همچنین این وابستگی با سن هلال (۰/۶۲-)، مکث ماه (۰/۵۳-) و اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (۰/۵۱-) بیشتر از مقدار ۰/۵ است. لذا، نتایج نشان می‌دهد، انتخاب پارامتر مکث ماه توسط تحقیقات یالوپ (Yallop 1998) برای تعیین بهترین زمان، یک پارامتر بهینه نیست در حالی که فاز، جدایی زاویه‌ای، ضخامت بخش میانی و سن هلال می‌توانند پارامترهای مناسب‌تری برای انتخاب در مدل‌سازی باشند. در این مرحله، به منظور تهیه مدل‌های بهینه و دقیق، وابستگی‌های کمیت‌های ترکیبی دو، سه و چهار پارامتری با مدت زمان انتظار رؤیت هلال از طریق محاسبه ضرایب همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. ضرایب همبستگی کمیت‌های ترکیبی دو و سه پارامتری به ترتیب در جداول ۸ و ۹ نشان داده شده است.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی نرخ تاریخ شدن آسمان و مدل سازی تعیین زمان انتظار ... / ۸۷

ماه و نرخ تاریخ شدن محل، انتخاب شده‌اند (۰/۸۰۴-). لذا ترکیب این چهار پارامتر می‌تواند در مدل سازی تعیین بهترین زمان با همان زمان انتظار رؤیت هلال ماه با چشم غیرمسلح، کمترین خطا را داشته باشد. سپس، به منظور بررسی دقیق تر، طبقه بندی گزارش های رصدی براساس مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر در هر پارامتر انجام شد. نتایج در جداول (۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) نشان داده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد، در طبقه بندی فاصله، وابستگی مدت زمان انتظار رؤیت در حالت حضيض (فواصل کمتر از ۳۷۰ هزار کیلومتر) با اکثر پارامترهای رؤیت پذیری بیشتر از وابستگی زمان انتظار با این پارامترها برای رصدهای در فواصل دورتر از حضيض است. در حالی که برای رصدهای در فاصله اوج (برای فواصل بیشتر از ۳۹۵ هزار کیلومتر)، تنها وابستگی زمان انتظار، با فاصله است که بیشتر از وابستگی زمان انتظار با دیگر پارامترها است (جدول ۱۰). همچنین نتایج بیانگر آن است که در طبقه بندی داده‌ها بر حسب پارامتر جدایی زاویه ای ماه از خورشید، برای رصدهای با جدایی زاویه ای بیشتر از ۱۷ درجه، همبستگی بین مدت زمان انتظار با نرخ تاریخ شدن محل و همبستگی

بین مدت زمان انتظار با مدت مکث ماه بیشتر از حالت هایی است که رصدها در جدایی زاویه ای متوسط و رصدهای با جدایی زاویه ای کمتر از ۱۳ درجه است (جدول ۱۱). علاوه بر این، نتایج طبقه بندی داده های بر حسب سن ماه نشان می‌دهد که همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت در حالت طبقه حداکثر (برای سن بیشتر از ۳۵ ساعت) با نرخ تاریخ شدن محل بیشتر از طبقات دیگر است (جدول ۱۲). در حالی که نتایج طبقه بندی داده های بر مکث ماه نشان می‌دهد همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت در حالت طبقه متوسط (برای مکث های بین ۵۳ تا ۶۳ دقیقه) با اختلاف ارتفاع ماه و خورشید و مکث ماه بیشتر از طبقات دیگر است (جدول ۱۳).

با توجه به اینکه در تحقیقات مختلف بر روی پارامترهای رؤیت پذیری هلال ماه در سال های گذشته، نشان داده است که بهترین و محبوب ترین پارامتر برای مدل سازی رؤیت هلال ماه، ارتفاع ماه یا اختلاف ارتفاع ماه و خورشید است (Qureshi, 2010) و همچنین بررسی تحقیقات و نتایج نشان می‌دهد بدترین آن‌ها دو پارامتر سن هلال و مکث ماه بوده است (Schaefer, 1988 & Schaefer, 1993)، لذا همزمان از تمام

جدول ۱۰: ضرایب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت های آن در طبقه بندی فاصله ماه تا زمین

فاصله ماه تا زمین (بر حسب هزار کیلومتر)	اختلاف ارتفاع	جدایی زاویه ای	فاز ماه	ضخامت میانی	نرخ تاریکی	فاصله ماه	مکث ماه
در طبقه کمتر از ۳۷۰	-0.594	-0.806	-0.819	-0.811	-0.455	0.143	-0.653
در طبقه بین ۳۷۰ تا ۳۹۵	-0.638	-0.764	-0.759	-0.728	-0.012	-0.307	-0.638
در طبقه بیشتر از ۳۹۵	-0.340	-0.751	-0.750	-0.738	-0.096	0.342	-0.399
برای همه داده‌ها	-0.509	-0.767	-0.773	-0.769	-0.161	0.195	-0.528

جدول ۱۱: ضرایب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت های آن در طبقه بندی جدایی زاویه ای ماه و خورشید

جدایی زاویه ای (بر حسب درجه)	اختلاف ارتفاع	جدایی زاویه ای	فاز ماه	ضخامت میانی	نرخ تاریکی	فاصله ماه	مکث ماه
در طبقه کمتر از ۱۳	-0.378	-0.247	-0.314	-0.355	0.174	0.339	-0.323
در طبقه ۱۳ تا ۱۷	-0.281	-0.539	-0.549	-0.562	-0.030	0.359	-0.238
در طبقه بیشتر از ۱۷	-0.463	-0.474	-0.527	-0.500	-0.427	0.347	-0.461
برای همه داده‌ها	-0.509	-0.767	-0.773	-0.769	-0.161	0.195	-0.528

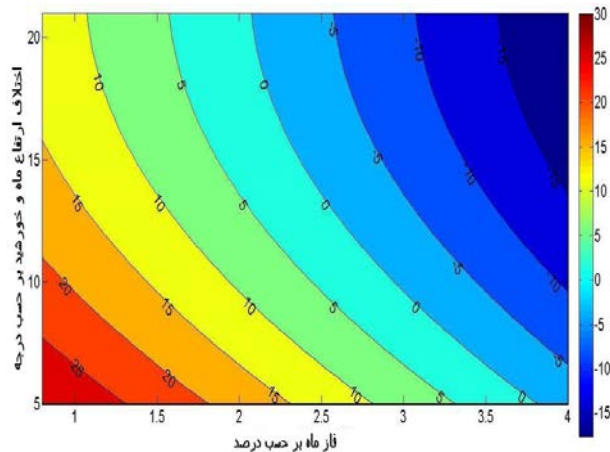
جدول ۱۲: ضرایب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت‌های آن در طبقه‌بندی سن ماه

سن ماه (بر حسب ساعت)	اختلاف ارتفاع	جدایی زاویه‌ای	فاز ماه	ضخامت میانی	نرخ تاریکی	فاصله ماه	مکث ماه
در طبقه کمتر از ۲۷	-0.387	-0.489	-0.528	-0.529	0.140	0.418	-0.396
در طبقه ۲۷ تا ۳۵	-0.146	-0.549	-0.541	-0.551	0.163	0.634	-0.077
در طبقه بیشتر از ۳۵	-0.354	-0.553	-0.594	-0.584	-0.343	0.534	-0.372
برای همه داده‌ها	-0.509	-0.767	-0.773	-0.769	-0.161	0.195	-0.528

جدول ۱۳: ضرایب همبستگی بین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با کمیت‌های آن در طبقه‌بندی مکث ماه

مکث ماه (بر حسب دقیقه)	اختلاف ارتفاع	جدایی زاویه‌ای	فاز ماه	ضخامت میانی	نرخ تاریکی	فاصله ماه	مکث ماه
در طبقه کمتر از ۵۳	0.002	-0.786	-0.790	-0.784	0.133	-0.120	0.073
در طبقه ۵۳ تا ۶۳	-0.461	-0.711	-0.706	-0.727	0.099	0.503	-0.646
در طبقه بیشتر از ۶۳	-0.224	-0.694	-0.702	-0.715	-0.105	0.629	-0.253
برای همه داده‌ها	-0.509	-0.767	-0.773	-0.769	-0.161	0.195	-0.528

این نتایج برای انتخاب پارامترهای مدل استفاده شده است. در این تحقیق، به منظور بررسی خطای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه به وسیله تمام مدل‌های قابل ارائه، ابتدا مدل‌های دو، سه و چهار پارامتری برای کل داده‌ها و سپس برای داده‌های طبقه‌بندی شده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.



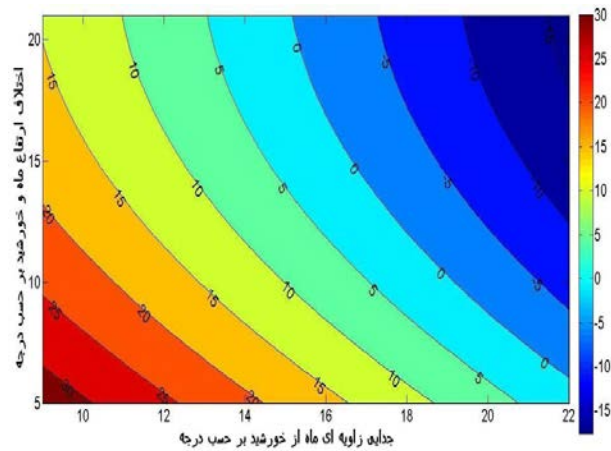
نگاره ۵: نقشه خطوط همتراز مدت زمان انتظار رؤیت بر حسب دقیقه به تغییرات فاز (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی) به دست آمده از طریق مدل ساده دو پارامتری

همچنین در نگاره ۶ همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه با در نظر گرفتن مدل پیشنهادی معادله (۹) به صورت کمی نشان داده شده است.

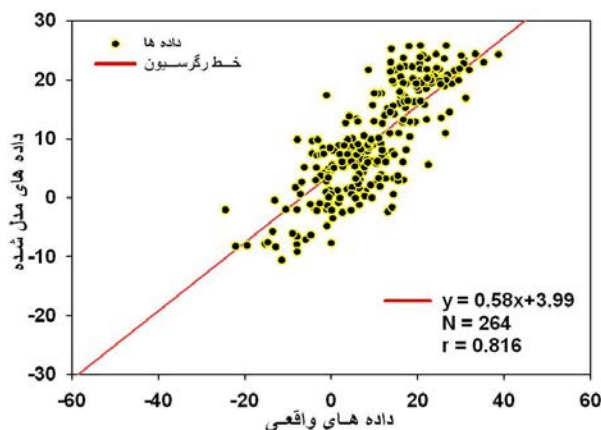
۳-۱ بررسی مدل با پارامترهای فاز و اختلاف ارتفاع در این مدل مورد بررسی، از فاز (P) و اختلاف ارتفاع (Δa) برای تعیین مدت زمان انتظار (D T) به صورت معادله (۹) استفاده گردید و ضرایب به روش کمترین مربعات از کل داده‌ها استخراج شد.

$$D T = 49.88 - 10 \times P - 2.65 \times \Delta a + 0.06 \times \Delta a^2 \quad (9)$$

نتایج پردازش داده‌های این مدل نشان می‌دهد این مدل با خطای مربعی متوسط ۵/۳ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه ۶/۹ می‌تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط ۱/۰۲ دقیقه به دست آورد. نگاره ۵ نمودار تعیین مدت زمان انتظار رؤیت بر حسب دقیقه به تغییرات فاز



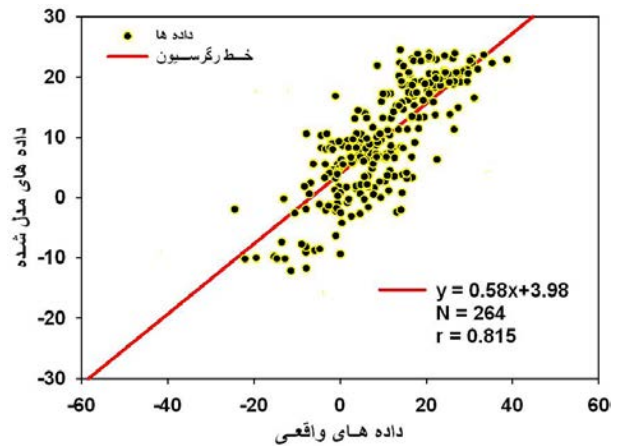
نگاره ۷: نقشه خطوط همتر از مدت زمان انتظار رؤیت بر حسب دقیقه به تغییرات جدایی زاویه ای (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی)، به دست آمده از طریق رابطه ۱۰



نگاره ۸: نمودار همبستگی بین داده های مدل شده و داده های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه بر حسب دقیقه، (معادله ۱۰)

۳-۳- بررسی دیگر مدل های دو پارامتری

به دلیل طولانی شدن بررسی مدل های دو پارامتری در حالت های مختلف خصوصاً در حالت طبقه بندی داده ها بر حسب مقادیر حداقل و حداکثر برای هر پارامتر، نتایج بررسی ۴ حالت به طور خلاصه در ادامه آمده است: ابتدا برای بررسی اثر فاصله ماه تا زمین بر روی مدل های دو پارامتری، رصدها را در دو حالت حضیض و اوج به ترتیب با فاصله کمتر از ۳۷۵ هزار کیلومتر و بیشتر از ۳۹۰ هزار کیلومتر تقسیم کرده و نتایج مدل دو پارامتری (اختلاف



نگاره ۶: همبستگی بین داده های مدل شده و داده های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه بر حسب دقیقه، معادله (۹)

۳-۲- بررسی مدل با پارامترهای جدایی زاویه ای و اختلاف ارتفاع

در این مدل، از جدایی زاویه ای (d) و اختلاف ارتفاع (Δa) برای تعیین مدت زمان انتظار (DT) به صورت معادله (۱۰) استفاده گردید و ضرایب به روش کمترین مربعات از کل داده ها استخراج شد.

$$DT = 66.06 - 2.38 \times d - 26 \times \Delta a + 0.056 \times \Delta a^2$$

رابطه (۱۰)

نتایج پردازش داده های این مدل نشان می دهد، این مدل با خطای مربعی متوسط $4/7$ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه $5/8$ می تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط $0/93$ دقیقه به دست آورد.

نگاره ۷، تعیین مدت زمان انتظار رؤیت بر حسب دقیقه به تغییرات جدایی زاویه ای (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی) را با در نظر گرفتن معادله (۱۰) نشان می دهد. همچنین در نگاره ۸ همبستگی بین داده های مدل شده و داده های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه با در نظر گرفتن مدل پیشنهادی معادله (۱۰) به صورت کمی نشان داده شده است.

که محل دارای مدت زمان اختفاء کمتر از ۱۰ دقیقه هستند (محل‌هایی که ارتفاع موانع و کوه‌های دوردست، کمتر از ۲ درجه است) دقت بیشتری دارد.

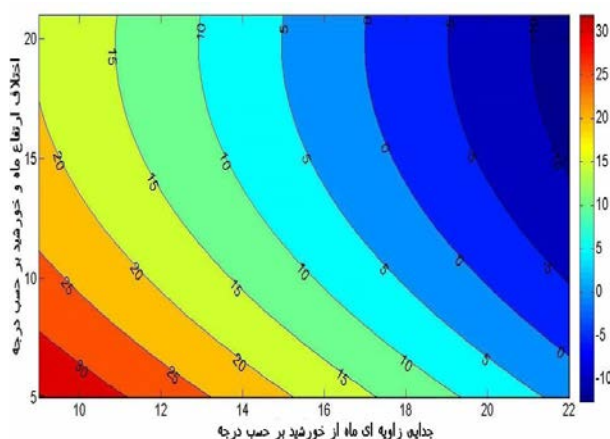
۳-۴- بررسی مدل سه پارامتری

در این مدل مورد بررسی، از جدایی زاویه‌ای (d)، اختلاف ارتفاع (Δa) و نرخ تاریک شدن محل (rt) برای تعیین مدت زمان انتظار (DT) به صورت معادله (۱۱) استفاده گردید و ضرایب به روش کمترین مربعات از کل داده‌ها استخراج شد.

$$DT = 85.41 - 2.45 \times d - 2.84 \times \Delta a + 0.07 \times \Delta a^2 - 3.45 \times r t$$

رابطه (۱۱)

نتایج پردازش داده‌های این مدل نشان می‌دهد که این مدل با خطای مربعی متوسط $4/7$ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه $5/7$ می‌تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط $1/0.2$ دقیقه به دست آورد. به منظور بررسی اثر نرخ تاریک شدن محل، نمودار تغییرات در دو حالت با نرخ تاریک شدن حداقل ($4/5$ دقیقه) و نرخ تاریک شدن حداکثر ($6/5$ دقیقه) در ایران، به ترتیب در نگاره‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



نگاره ۹: نقشه خطوط هم‌تراز مدت زمان انتظار رؤیت بر حسب دقیقه به تغییرات جدایی زاویه‌ای (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی) به دست آمده با رابطه ۱۱ که در آن نرخ تاریک شدن آسمان، $4/5$ دقیقه به هر درجه در نظر گرفته شده است

ارتفاع و جدایی) مورد بررسی قرار گرفت. خطای مربعی متوسط در دو حالت حضيض و اوج به ترتیب $5/5$ دقیقه و $4/9$ دقیقه برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال به دست آمد. لذا این مدل دو پارامتری برای رصدهای در فاصله دورتر از 390 هزار کیلومتر با زمین، دقت بیشتری دارد.

در طبقه‌بندی دوم، به منظور بررسی اثر سن هلال بر روی این مدل، رصدها را در دو حالت، با سن کمتر از 28 ساعت و سن بیشتر از 33 ساعت تقسیم کرده و نتایج مدل دو پارامتری (اختلاف ارتفاع و جدایی) مورد بررسی قرار گرفت. خطای مربعی متوسط در دو حالت کمترین سن و بیشترین سن به ترتیب $5/2$ دقیقه و $5/3$ دقیقه برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال به دست آمد. لذا این مدل دو پارامتری برای طبقه‌بندی رصدها بر اساس سن هلال، تفاوت چندانی ندارد.

در طبقه‌بندی سوم، به منظور بررسی اثر نرخ تاریک شدن محل بر روی این مدل، رصدها را در دو طبقه با نرخ تاریکی کمتر از 5 دقیقه و نرخ تاریکی بیشتر از $5/1$ دقیقه در هر درجه، تقسیم کرده و نتایج مدل دو پارامتری (اختلاف ارتفاع و جدایی) مورد بررسی قرار گرفت. خطای مربعی متوسط در دو حالت کمترین نرخ تاریکی و بیشترین نرخ تاریکی به ترتیب $4/6$ دقیقه و $5/6$ دقیقه برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال به دست آمد. لذا این مدل دو پارامتری برای رصدهایی که محل با نرخ تاریکی کمتر از 5 دقیقه هستند (مناطق نیمه جنوبی کشور) دقت بیشتری دارد.

در نهایت به منظور بررسی اثر مدت زمان اختفاء محلی خورشید بر روی این مدل، رصدها را در دو طبقه با مدت اختفاء کمتر از 10 دقیقه و مدت اختفاء بیشتر از 10 دقیقه تقسیم کرده و نتایج مدل دو پارامتری (اختلاف ارتفاع و جدایی) مورد بررسی قرار گرفت.

خطای مربعی متوسط در دو حالت کمترین مدت زمان اختفاء محلی و بیشترین مدت اختفاء محلی خورشید به ترتیب $4/7$ دقیقه و $5/4$ دقیقه برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال به دست آمد. لذا این مدل دو پارامتری برای رصدهایی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

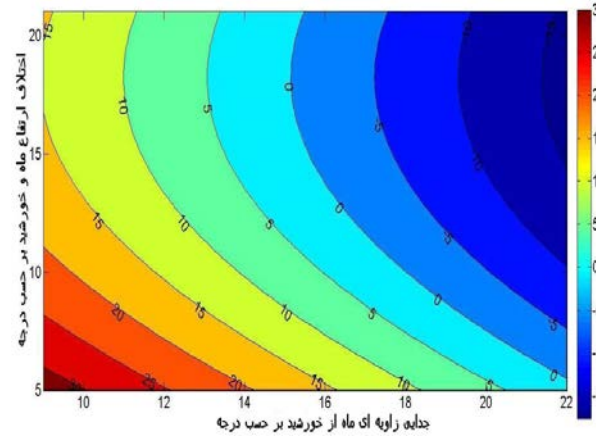
بررسی نرخ تاریخ شدن آسمان و مدل سازی تعیین زمان انتظار ... / ۹۱

اختلاف ارتفاع (Δa) و فاصله ماه تا زمین (r) برای تعیین مدت زمان انتظار (DT) به صورت معادله (۱۲) استفاده گردید و ضرایب به روش کمترین مربعات از کل داده‌ها استخراج شد.

$$DT = 32.2 - 24 \times d - 37 \times \Delta a + 0.1 \times \Delta a^2 + 0.107 \times r \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

نتایج پردازش داده‌های این مدل نشان داد، این مدل با خطای مربعی متوسط $4/4$ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه $0/99$ می‌تواند زمان انتظار رؤیت را با دقت متوسط $0/99$ دقیقه به دست آورد.

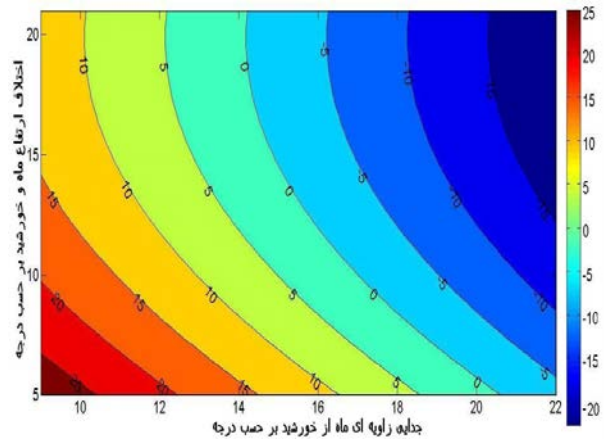
به منظور بررسی اثر فاصله ماه تا زمین، نمودار تغییرات این مدل، در دو حالت با فاصله حداقل (۳۵۷ هزار کیلومتر) و نرخ فاصله حداکثر (۴۰۶ هزار کیلومتر) در نگاره‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.



نگاره ۱۲: نقشه خطوط همتراز مدت زمان انتظار رؤیت

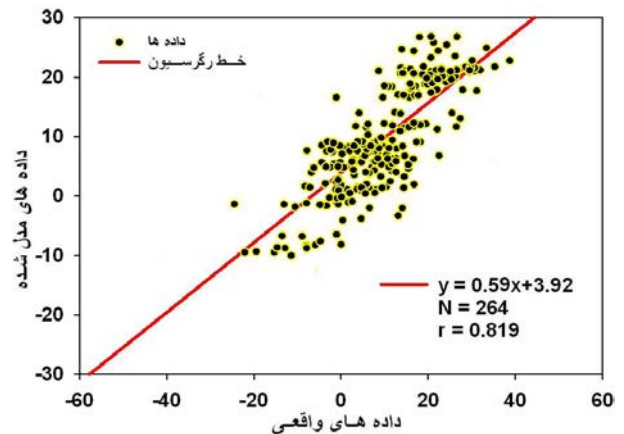
برحسب دقیقه به تغییرات جدایی زاویه‌ای (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی) به دست آمده از رابطه ۱۲ که فاصله ماه تا زمین، ۳۵۷ هزار کیلومتر در نظر گرفته شده است

همچنین در نگاره ۱۴ همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه با در نظر گرفتن معادله (۱۲) به صورت کمی نشان داده شده است.



نگاره ۱۰: نقشه خطوط همتراز مدت زمان انتظار رؤیت برحسب دقیقه به تغییرات جدایی زاویه‌ای (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی) به دست آمده با رابطه (۱۱) که در آن نرخ تاریخ شدن آسمان، $6/5$ دقیقه به هر درجه در نظر گرفته شده است

همچنین در نگاره ۱۱ همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه با در نظر گرفتن مدل پیشنهادی معادله (۱۱) به صورت کمی نشان داده شده است.

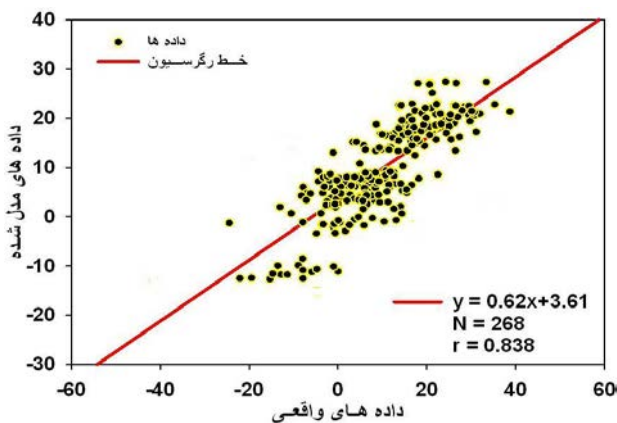


نگاره ۱۱: همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه برحسب دقیقه، (معادله ۱۱)

۳-۵- مدل جدایی زاویه‌ای، اختلاف ارتفاع و فاصله ماه تا زمین

در این مدل مورد بررسی، از جدایی زاویه‌ای (d) ,

نتایج پردازش داده‌های این مدل نشان می‌دهد این مدل با خطای مربعی متوسط ۴/۲ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه ۵/۳ می‌تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط ۰/۸۳ دقیقه به دست آورد. در این مدل بررسی، به دلیل چهار پارامتری شدن، امکان نمایش نمودار تغییرات هر پارامتر در تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال وجود ندارد و تنها به رسم نمودار میزان همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی در نگاره ۱۵ اکتفا می‌شود.



نگاره ۱۵: همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه بر حسب دقیقه، (معادله ۱۳)

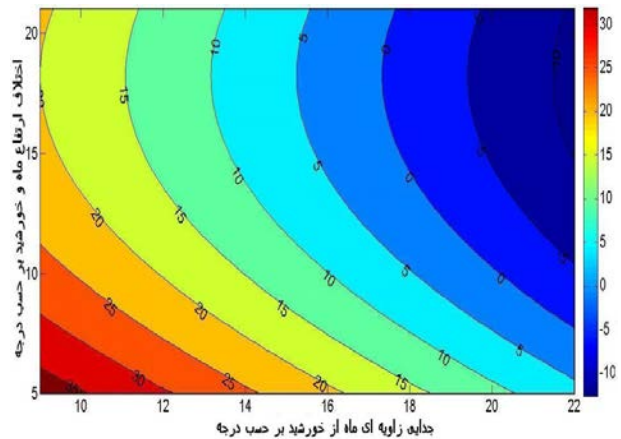
۳-۷- بررسی مدل پنج پارامتری

در این مدل مورد بررسی، از جدایی زاویه‌ای (d)، اختلاف ارتفاع (Δa)، فاصله ماه تا زمین (r)، نرخ تاریک شدن محل (rt) و مدت زمان اختفاء محلی خورشید (DT) برای تعیین مدت زمان انتظار (DT) به صورت معادله (۱۴) استفاده گردید.

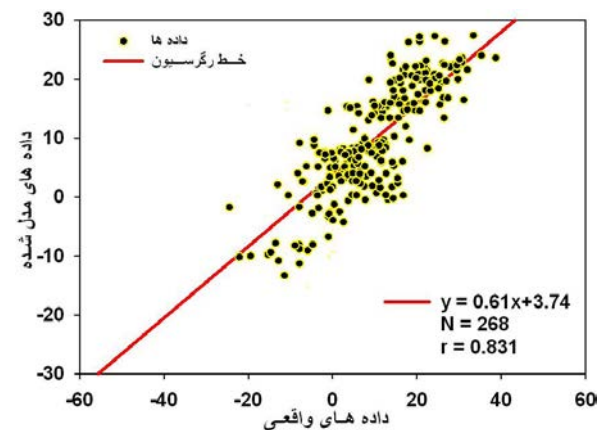
$$DT = 19.78 - 2.592 \times d - 0.946 \times \Delta a + 0.05 \times \Delta a^2 + 0.0027 \times r + 10.29 \times rt - 0.032 \times OT + 0.035 \times da \times d + 0.011 \times da \times r - 1.29 \times da \times rt + 0.017 \times da \times OT$$

رابطه (۱۴)

نتایج پردازش داده‌های این مدل نشان داد، این مدل با



نگاره ۱۳: نقشه خطوط همتراز مدت زمان انتظار رؤیت بر حسب دقیقه به تغییرات جدایی زاویه‌ای (افقی) و اختلاف ارتفاع ماه (عمودی) به دست آمده از رابطه ۱۲ که فاصله ماه تا زمین، ۴۰۶ هزار کیلومتر در نظر گرفته شده است



نگاره ۱۴: همبستگی بین داده‌های مدل شده و داده‌های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه بر حسب دقیقه، (معادله ۱۲)

۳-۶- بررسی مدل چهار پارامتری

در این مدل مورد بررسی، از جدایی زاویه‌ای (d)، اختلاف ارتفاع (Δa)، فاصله ماه تا زمین (r) و نرخ تاریک شدن محل (rt) برای تعیین مدت زمان انتظار (DT) به صورت معادله (۱۳) استفاده گردید و ضرایب به روش کمترین مربعات از کل داده‌ها استخراج شد.

$$DT = -28.18 + 2.58 \times d - 2.65 \times \Delta a + 0.058 \times \Delta a^2 + 0.11 \times r + 10.17 \times rt - 0.963 \times r \times t$$

رابطه (۱۳)

پیشنهادی مطابق معادله (۱۶) حاصل شد. این مدل با خطای مربعی متوسط ۴/۰ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه ۴/۶ می تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط ۱/۲ دقیقه به دست آورد:

$$D T = -187.87 - 1.85 \times d - 0.664 \times \Delta a - 0.121 \times \Delta a^2 + 0.625 \times r - 5.61 \times r t - 0.066 \times e t - 0.02 \times da \times d + 0.0086 \times da \times r - 0.094 \times da \times r t - 0.0027 \times da \times e t$$

رابطه (۱۶)

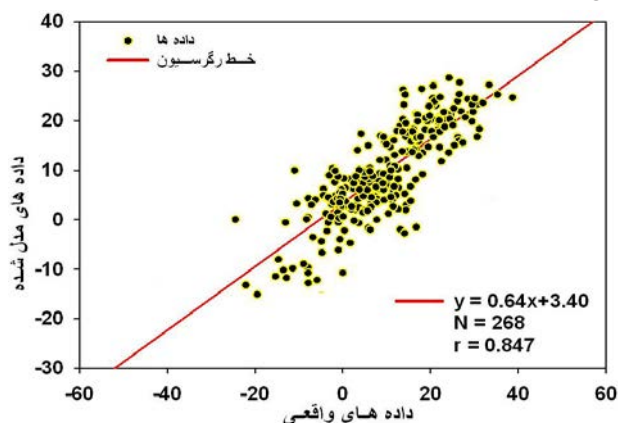
۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، براساس اطلاعات مربوط به ۲۶۸ گزارش رؤیت هلال ماه با چشم غیر مسلح از سراسر ایران در سال های ۱۳۸۰ (۲۰۰۰) تا ۱۴۰۰ (۲۰۲۱)، یک مدل چند جمله ای برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با چشم غیرمسلح با پارامترهای مختلف رؤیت پذیری هلال ماه پیشنهاد گردید.

برای این منظور، در تحقیق حاضر با استفاده از داده ها و گزارشات رصدی جدید و معتبر ۲۰ سال اخیر که در نقاط مختلف ایران در زمینه رؤیت هلال ماه که با چشم غیرمسلح، رؤیت شده اند، در مدل سازی و تعیین مدت زمان بهینه رؤیت هلال ماه، استفاده شده است. این بازه زمانی ۲۰ ساله تأمین کننده حداقل دوره تناوب حرکت نوتیشن ماه (۱۸/۶۱ سال) برای وارد شدن اثر قرار گرفتن کلیه فرکانس های مؤثر جزر و مدی ماه بر روی پارامتر بهترین زمان رؤیت هلال ماه است. همچنین مدل سازی بر این اساس انجام گرفته که بر خلاف تحقیقات قبلی، می توان هلال را در حضور خورشید نیز رؤیت کرد.

برای این منظور، در ابتدا، برای هر رصد، پارامترهای رؤیت پذیری هلال ماه نظیر مدت زمان مکث ماه، ارتفاع و جدایی زاویه ای ماه، فاز و ضخامت هلال ماه و غیره برای زمان رؤیت هلال و برای زمان غروب خورشید محاسبه شده اند. سپس ضریب همبستگی پیرسون بین مدت زمان انتظار و این پارامترها در هر رصد با کدنویسی در محیط

خطای مربعی متوسط ۵/۲ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه ۵/۴ می تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط ۱/۴ دقیقه به دست آورد. نگاره ۱۶ همبستگی بین داده های مدل سازی شده و داده های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه را با در نظر گرفتن معادله (۱۴) نشان می دهد.



نگاره ۱۶: همبستگی بین داده های مدل شده و داده های واقعی برای تعیین مدت زمان انتظار رؤیت ماه، (معادله ۱۴)

در ادامه، به منظور بررسی اثر فاصله ماه تا زمین بر روی این مدل، رصدها را در دو حالت، با فاصله کمتر از ۳۷۵ هزار کیلومتر (فاصله حضيض) و بیشتر از ۳۹۰ هزار کیلومتر (فاصله اوج) تقسیم کرده و مدل مجدداً برای این دو حالت مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در حالت اول بررسی، معادله (۱۵) حاصل شد. این مدل پیشنهادی با خطای مربعی متوسط ۳/۶ دقیقه و فاکتور واریانس ثانویه ۴/۱ می تواند مدت زمان انتظار رؤیت هلال را با دقت متوسط ۱/۱ دقیقه به دست آورد.

$$D T = 53.43 - 2.154 \times d - 7.815 \times \Delta a + 0.122 \times \Delta a^2 + 0.183 \times r - 10.31 \times r t - 0.233 \times e t + 0.028 \times da \times d + 0.012 \times da \times r - 0.17 \times da \times r t - 0.0086 \times da \times e t$$

رابطه (۱۵)

در حالت دوم بررسی مدل ۵ پارامتری، برای رصدهای با فاصله بیشتر از ۳۹۰ هزار کیلومتر، (فاصله اوج)، مدل

دقیقه و ۴/۰ دقیقه به عنوان دقیق ترین مدل های پیشنهادی معرفی شوند. در این تحقیق مدل پنج پارامتری، کامل ترین و دقیق ترین مدل پیشنهادی بوده که با توجه به تغییرات جدایی زاویه ای ماه از خورشید (۱۰ تا ۲۰ درجه) و اختلاف ارتفاع ماه از خورشید (۵ تا ۲۰ درجه)، مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه از ۳۲ دقیقه بعد از غروب خورشید تا ۱۲ دقیقه زودتر از غروب خورشید، به دست آمده است.

همچنین بررسی نتایج نشان داد، با توجه به حداکثر خطای برآورد شده برای مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه (۴/۷ دقیقه در مدل ساده دو پارامتری) برای رصدهای با جدایی های زاویه ای بالا (بیشتر از ۱۷ درجه)، امکان پیش بینی زمان زیاد برای مدت زمان انتظار رؤیت ماه وجود ندارد. به عبارت دیگر مدل های به دست آمده در این مقاله، این زمان را کوتاه پیش بینی می کنند. لذا گزارش هایی که چنین خطای بزرگی را نشان می دهند، خود مشکل دارند و در پالایش رصدها می توانند حذف شوند. برعکس در جدایی های زاویه ای کم هم، پیش بینی زمان کوتاه برای مدت زمان انتظار رؤیت ماه وجود ندارد. لذا این نکته می تواند در رد گزارشاتی که ادعای رؤیت زودهنگام را دارند، استفاده شود. علاوه بر آن، بررسی نتایج نشان داد با افزایش نرخ تاریکی محل، مدت زمان انتظار کاهش می یابد. به عبارت دیگر هلال در نیمه شمالی کشور زودتر از نیمه جنوبی کشور دیده می شود. زیرا هر چه رصدگر از عرض های جغرافیایی کم به سمت عرض های جغرافیایی زیاد حرکت کند، نرخ تاریک شدن محل زیاد می شود.

۵- قدردانی

مؤلفین از کلیه رصدگران هلال ماه به موجب انجام رصدهای منظم و دقیق در طول ۲۰ سال گذشته و همچنین از مدیران سایت های هلال ماه، گروه غیرحرفه ای رؤیت هلال ماه، آی کوپ و سامانه استهلال ماهانه ستاد استهلال کشور به خاطر در اختیار قرار دادن گزارش های رصدی مورد استفاده در این تحقیق، تشکر و قدردانی می کنند.

نرم افزار MATLAB به دست آمده اند، پارامترهایی که دارای بیشترین وابستگی (ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۸) با مدت زمان انتظار بودند، برای مدل سازی انتخاب شدند. در ادامه، مدل های ریاضی مختلف برای تعیین زمان انتظار بهینه رؤیت هلال ماه، مورد بررسی قرار گرفت. این مدل ها با تعداد ۲، ۳، ۴ و ۵ پارامتری طراحی شدند و ضرایب هر مدل به روش برآورد کمترین مربعات با داده ها و گزارش های جدید ایرانیان حاصل گردید. نهایتاً دو مدل نهایی، مدل اول دو پارامتری و مدل دوم ۵ پارامتری به عنوان مدل پیشنهادی انتخاب شدند.

مدل های پیشنهادی با کمترین خطا، از نظر آماری و روش های ریاضی، از طریق الگوی طبقه بندی رصدها برای تعیین بهترین زمان رؤیت هلال انتخاب شده است. بررسی مدل ها با پارامترهای مختلف نشان داد که در بین مدل های ساده دو پارامتری، کمترین خطا مربوط به مدل اختلاف ارتفاع با جدایی زاویه ای ماه و خورشید است (معادله ۱۰). با توجه به اینکه خطای متوسط این مدل ۴/۷ دقیقه است، لذا از این مدل ساده می توان به طور عمومی برای پیش بینی مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه با چشم غیر مسلح استفاده کرد. همچنین بررسی مدل های سه پارامتری نشان داد، کمترین خطا مربوط به مدل اختلاف ارتفاع، جدایی زاویه ای و فاصله ماه تا خورشید است (معادله ۱۲). خطای متوسط این مدل ۴/۴ دقیقه بود و نشان می داد که فاصله ماه تا خورشید می تواند در برآورد دقیق مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه مؤثر باشد.

علاوه بر آن، نتایج در مدل ۴ پارامتری اختلاف ارتفاع، جدایی زاویه ای، فاصله ماه تا خورشید و نرخ تاریک شدن محل، خطای متوسط ۴/۲ دقیقه را برای پیش بینی مدت زمان انتظار رؤیت هلال ماه نشان داد (معادله ۱۳). در حالی که مدل پنج پارامتری با ۱۱ جمله، در هنگام جداسازی برای رصدهای با فواصل حسیض (فاصله کمتر از ۳۷۵ هزار کیلومتر)، و برای رصدهای با فواصل اوج (فواصل بزرگتر از ۳۹۰ هزار کیلومتر)، می تواند به ترتیب با خطاهای ۳/۶

First Crescent: Predicting the Visibility of the First Crescent". KIET Journal of Computing and Information Sciences, 3(2), 10-10.

11- Bruin F (1977). "The first visibility of the lunar crescent". Vistas in Astronomy, Vol. 21, pp 331-358.

12- Caldwell J.A.R and C.D. Laney. (2001) "First visibility of the lunar crescent". Space Sciences in Africa, No. 5, pp 15-23.

13- Dogget L and B.E Schaefer (1994). "Lunar Crescent Visibility". ICARUS. Vol. 107, pp 388-403.

14- Fatoohi, F and R.S shetha Al-Daragazelli (1998). "The Danjon limit of first visibility of the lunar crescent". The observatory. Vol. 118 pp 65-72.

15- Garbade, K (1977). "Two methods for examining the stability of regression coefficients". Journal of the american statistical association. Vol 72, No 537, pp 54-63.

16- Golub Gene H, P G Hansen, D P O'Leary (1999). "Tikhonov regularization and total least squares". SIAM Journal on matrix analysis and applications. Vol. 21, No.1, PP 185-194.

17- Hasanzadeh A, (2012) "Study Danjon limit in moon crescent sighting". Astrophysics Space Science No. 39 pp 211-221.

18- Hoffman R.E, (2003) "Observing the new moon". Royal Astronomy Society Vol. 34 pp 1039-1051.

19- Ilyas M. (1994) "Lunar crescent visibility criterion and Islamic calendar". Royal Astronomy Society. Vol. 35 pp 425-461.

20- Kuang Shanlong (1996). "Geodetic network analysis and optimal design". ANN ARBOR Press, Chelas, Michigan.

21- Odeh M.SH (2004). "New criterion for lunar crescent visibility". Experimental Astronomy. No. 18 pp 39-64.

22- Ozlem A, (2014) "A Simplified crescent visibility criterion".

23- Qureshi M.Sh, (2010) "Anew criterion for earliest visibility of new lunar crescent". Sindh University Research Vol. 42, pp 1-16.

24- Raharto, M., Sopwan, N., Hakim, M. I., & Sugianto, Y. (2019, March). "New approach on study of new young crescent (Hilal) visibility and new month of Hijri

۶- منابع و مآخذ

۱- حسن زاده، شعبانی، احمدی؛ امیر، یوسف، عامل؛ ۱۳۸۲، «ماه نو» انتشارات آستان قدس، ۹۰ صفحه.

۲- رستمی، قاضی میرسعید، سیدقاسم، سیدمحسن؛ ۱۳۹۸ «واکاوی علمی در رؤیت هلال ماه» انتشارات دانشگاه بجنورد، ۲۰۸ صفحه.

۳- رستمی، سیدقاسم؛ ۱۳۸۸، «بررسی عوامل مؤثر در مدت زمان مکث ماه» کتابچه همایش ملی نجوم و اختر فیزیک. دانشگاه شیراز.

۴- رستمی، سیدقاسم؛ ۱۳۹۲، «پیش بینی حداقل قدرت ابزار اپتیکی رؤیت هلال با ضابطه مدل مثلثی» مجله پژوهشنامه فرهنگ و تمدن اسلامی، سال ۲۱ شماره ۳، صفحات ۲۰۴ تا ۲۲۱.

۵- رستمی، سیدقاسم؛ ۱۳۹۷، «مدل سازی رؤیت پذیری هلال ماه به کمک تلفیق تصاویر افق و داده های رصدی» پژوهش هایی در نجوم، اخترفیزیک و کیهان شناسی. انتشارات علمی دانشگاه شریف و مؤسسه آموزشی ماخ، ۶۶۷ صفحه.

۶- صیاد، محمدرضا؛ ۱۳۸۲، «مدل سازی تقویم هجری قمری» مجله تاریخ علم. دانشگاه تهران، شماره اول، صفحات ۲۷ تا ۳۷.

۷- قاضی میرسعید، سیدمحسن؛ ۱۳۹۲، «معیار جدید برای رؤیت هلال ماه» مجله پژوهشنامه فرهنگ و تمدن اسلامی، سال ۲۱ شماره ۳، صفحات ۱۷۶ تا ۱۸۹.

۸- قنبری، کریمیان، بابائیان، مطیعی؛ جمشید، مریم، ایمان، محمدمهدی؛ ۱۳۹۱، «بررسی اثر پارامترهای هواشناسی بر رؤیت پذیری هلال ماه های قمری با استفاده از یک الگوریتم ژنتیکی» مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۴، صفحات ۲۵۹ تا ۲۷۱.

9- Ahmad N.Sh, Nawawi, M. S. A., ZAmbri, M., & Mohd (2020) "A new crescent moon visibility criteria using circular regression model". Sains Malaysia Vol. 49(4), pp 859-870.

10- Ahmed, T. (2020). "Predicting the Visibility of the

- calendar". In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1170, No. 1, p. 012080). IOP Publishing.
- 25- Rostami S.GH (2010). The Modeling errors in crescent visibility criteria. Proceeding of 2nd Emirates Astronomical Conference, June 2010, Abu-Dhabi Pages 37-44.
- 26- Schaefer, B.E. (1987). "An Algorithm for Predicting the visibility of the lunar Crescent". Proceedings of the lunar conference, International of the institute of Islamic thought, Herndon, Virginia, 5- 6 June 1987, pp 1-12.
- 27- Schaefer, B.E. (1988). "Visibility of the lunar Crescent". Royal Astronomy Society. Vol. 29, pp 511-523.
- 28- Schaefer, B.E. (1996). "Lunar crescent visibility". Royal Astronomy Society. Vol. 37, pp 759-768.
- 29- Sultan A.H, (2006). "For the first visibility of the lunar crescent". The observatory Vol. 126 No. 1191, pp 115-118.
- 30- Utama J.A and A.M Simatupang and Amsor, (2019) "The new hilaal visibility criterion for tropical region". Journal of physics: conference series, No. 1280 pp 1-3.
- 31- Yallop B.D (1998). "A method for predicting the first sighting of new crescent moon". National Almanac office (NAO) technical note No. 69, pp 1-17.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سحر)

بررسی نرخ تاریک شدن آسمان و مدل سازی تعیین زمان انتظار ... / ۹۷

پیوست: جدول خلاصه داده‌های مورد استفاده در این مقاله

ردیف	تاریخ رصد میلادی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	زمان انتظار رؤیت (دقیقه)	نرخ تاریک شدن آسمان (دقیقه به درجه)	مدت زمان اختفاء محلی (دقیقه)	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (درجه)	جدايي زاويه ماه و خورشيد (درجه)	فاصله ماه و زمين (هزار كيلومتر)
1	2021,1,14	57.30	37.48	0	5.69	20	11.64	16.91	379.88
2	2021,1,14	51.87	32.00	-1	5.23	12	13.15	17.14	380.00
3	2020,12,15	62.33	27.37	26	5.04	1	8.08	10.99	367.43
4	2020,11,16	51.87	32.00	4	5.12	10	12.04	18.24	361.89
5	2020,11,16	51.43	35.68	10	5.39	3	11.05	18.24	361.88
6	2020,10,17	51.87	32.00	22	4.82	11	8.42	10.77	357.26
7	2020,10,17	51.58	32.62	17	4.85	5	8.34	10.78	357.26
8	2020,10,17	51.58	32.62	17	4.85	5	8.34	10.78	357.26
9	2020,10,17	62.33	27.37	21	4.59	2	8.71	10.37	357.23
10	2020,10,17	57.22	37.58	14	5.17	4	7.59	10.58	357.24
11	2020,9,18	54.37	36.12	7	4.95	14	11.27	16.13	359.09
12	2020,9,18	62.35	27.38	5	4.51	1	12.69	15.72	359.09
13	2020,9,18	51.87	32.00	6	4.72	10	12.12	16.17	359.09
14	2020,9,18	51.58	32.62	3	4.75	5	12.01	16.19	359.09
15	2020,9,18	51.37	35.63	7	4.92	4	11.43	16.24	359.09
16	2020,9,18	48.93	31.33	6	4.68	4	12.31	16.28	359.09
17	2020,9,18	59.80	34.02	7	4.83	21	11.58	15.90	359.09
18	2020,9,18	54.35	31.88	13	4.71	6	12.09	16.08	359.09
19	2020,7,21	51.58	32.62	25	5.20	0	9.63	11.54	373.92
20	2020,7,21	57.30	37.48	24	5.58	26	8.91	11.50	373.95
21	2020,7,21	50.63	34.73	24	5.35	5	9.41	11.64	373.90
22	2020,7,21	54.53	31.98	24	5.15	1	9.62	11.42	373.95
23	2020,7,21	51.87	32.00	26	5.15	15	9.69	11.52	373.93
24	2020,6,22	51.37	35.65	3	5.62	10	12.92	16.14	382.90
25	2020,6,22	51.87	32.00	3	5.32	14	13.51	16.00	382.93
26	2020,4,24	51.37	35.63	15	5.12	30	14.28	16.48	401.47
27	2020,4,24	58.82	34.02	12	5.01	16	14.27	16.23	401.53
28	2020,4,24	51.87	32.00	7	4.89	11	14.74	16.40	401.48
29	2020,1,26	51.43	35.68	13	5.38	1	14.88	18.62	400.30
30	2019,12,27	51.87	32.00	9	5.35	10	11.99	15.48	389.69
31	2019,11,27	51.87	32.00	30	5.23	10	8.91	11.37	376.73
32	2019,11,27	57.22	37.58	31	5.69	6	7.92	11.14	376.63
33	2019,11,27	54.30	31.43	32	5.19	-1	8.94	11.30	376.71
34	2019,11,27	58.82	34.02	31	5.38	22	8.45	11.12	376.63
35	2019,10,29	51.87	32.00	-1	4.91	0	13.65	18.91	369.04
36	2019,9,29	51.87	32.00	26	4.72	9	9.80	11.94	359.94
37	2019,8,31	51.87	32.00	-1	4.79	0	12.66	16.78	358.08
38	2019,8,31	51.42	35.60	34	5.00	6	11.96	16.88	358.09
39	2019,8,31	47.30	32.70	-2	4.83	7	12.63	16.97	358.10
40	2019,8,31	54.03	32.23	0	4.80	13	12.57	16.70	358.07
41	2019,8,31	54.37	31.88	8	4.78	3	12.62	16.68	358.07
42	2019,8,2	51.58	35.40	0	5.28	3	14.57	20.97	359.51
43	2019,6,4	51.37	35.65	9	5.56	9	11.53	15.30	373.22
44	2019,6,4	53.98	32.25	2	5.28	3	12.02	15.09	373.26
45	2019,6,4	49.32	33.82	-2	5.40	0	11.91	15.31	373.22
46	2019,6,4	58.82	34.02	-4	5.42	14	11.58	14.97	373.29
47	2019,6,4	54.53	31.98	10	5.27	0	12.05	15.06	373.27

ادامه جدول خلاصه داده‌های مورد استفاده در این مقاله

ردیف	تاریخ رصد میلادی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	زمان انتظار رؤیت (دقیقه)	نرخ تارک شدن آسمان (دقیقه به درجه)	مدت زمان اختفاء محلی (دقیقه)	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (درجه)	جدايي زاویه ماه و خورشید (درجه)	فاصله ماه و زمین (هزار کیلومتر)
48	2019,6,4	57.32	37.52	-8	5.73	19	11.00	15.16	373.26
49	2019,6,4	51.87	32.00	9	5.27	12	12.13	15.16	373.25
50	2019,5,6	50.87	34.62	-8	5.17	11	17.23	20.18	382.17
51	2019,3,7	50.80	34.58	34	4.89	6	8.26	10.54	403.13
52	2019,3,7	54.05	31.92	24	4.74	2	8.47	10.43	403.15
53	2019,2,6	57.30	37.48	-13	5.37	15	14.86	17.82	406.10
54	2019,2,6	51.58	32.62	-4	5.02	8	15.90	18.01	406.08
55	2019,1,7	51.38	35.65	7	5.59	3	12.77	15.73	405.09
56	2019,1,7	52.83	34.62	9	5.50	3	12.92	15.69	405.08
57	2018,12,8	51.37	35.63	6	5.62	3	10.88	13.75	398.11
58	2018,12,8	54.35	31.88	20	5.31	5	11.45	13.69	398.10
59	2018,12,8	51.87	32.00	12	5.32	11	11.49	13.76	398.12
60	2018,11,8	51.87	32.00	29	5.02	0	9.54	11.03	386.82
61	2018,11,8	57.22	37.58	14	5.43	-2	8.77	10.84	386.73
62	2018,11,8	58.38	36.97	35	5.38	1	8.83	10.81	386.73
63	2018,9,10	50.87	34.62	16	4.88	9	8.88	11.82	366.57
64	2018,9,10	52.00	35.80	27	4.96	-1	8.70	11.79	366.56
65	2018,9,10	51.58	32.62	23	4.77	3	9.13	11.76	366.56
66	2018,9,10	51.58	32.62	23	4.77	3	9.13	11.76	366.56
67	2018,8,12	50.82	34.57	8	5.10	7	11.21	16.81	361.38
68	2018,8,12	51.45	35.68	4	5.18	7	10.95	16.82	361.38
69	2018,8,12	58.80	37.30	5	5.30	0	10.40	16.59	361.32
70	2018,8,12	51.85	31.58	3	4.92	19	11.82	16.69	361.36
71	2018,7,14	58.52	37.68	-8	5.69	1	13.11	21.07	359.03
72	2018,7,14	51.58	32.62	-13	5.26	6	14.79	21.15	359.05
73	2018,5,16	51.87	32.00	1	5.10	7	12.06	15.43	364.84
74	2018,5,16	52.33	29.62	14	4.96	16	12.43	15.35	364.84
75	2018,5,16	52.33	29.62	14	4.96	16	12.43	15.35	364.84
76	2018,5,16	57.20	29.30	-2	4.94	7	12.30	15.17	364.87
77	2018,5,16	48.68	31.35	6	5.06	0	12.28	15.53	364.82
78	2018,5,16	54.53	31.98	4	5.10	3	11.97	15.34	364.85
79	2018,3,18	50.82	28.97	13	4.57	2	11.44	12.73	384.69
80	2018,3,18	50.40	34.57	10	4.86	13	10.84	12.78	384.69
81	2018,3,18	55.67	29.47	22	4.60	7	11.22	12.57	384.74
82	2018,3,18	53.12	27.35	17	4.50	14	11.52	12.65	384.71
83	2018,3,18	51.43	35.58	16	4.92	11	10.68	12.76	384.70
84	2018,3,18	51.87	32.00	15	4.72	10	11.08	12.71	384.70
85	2018,1,18	51.87	32.00	3	5.19	10	14.07	15.38	402.56
86	2018,1,18	51.58	32.62	5	5.24	8	13.99	15.38	402.56
87	2018,1,18	57.30	37.48	-4	5.64	19	13.11	15.16	402.61
88	2018,1,18	54.35	31.88	10	5.18	14	14.03	15.31	402.58
89	2018,1,18	59.63	36.32	12	5.53	23	13.25	15.10	402.62
90	2018,1,18	49.72	34.05	9	5.34	13	13.85	15.43	402.56
91	2017,12,19	51.87	32.00	4	5.36	9	12.11	13.45	406.52
92	2017,12,19	57.30	37.48	15	5.85	10	11.21	13.24	406.52
93	2017,12,19	51.45	35.60	22	5.66	4	11.63	13.43	406.52
94	2017,12,19	51.85	32.80	17	5.42	5	12.00	13.44	406.52

ادامه جدول خلاصه داده‌های مورد استفاده در این مقاله

ردیف	تاریخ رصد میلادی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	زمان انتظار رؤیت (دقیقه)	نرخ تاریک شدن آسمان (دقیقه به درجه)	مدت زمان اختفاء محلی (دقیقه)	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (درجه)	جدايي زاویه ماه و خورشید (درجه)	فاصله ماه و زمین (هزار کیلومتر)
95	2017,12,19	54.35	31.88	18	5.35	13	12.08	13.38	406.52
96	2017,11,19	59.60	36.33	28	5.48	9	9.96	11.72	404.14
97	2017,11,19	57.30	37.48	17	5.58	25	9.85	11.78	404.14
98	2017,9,21	51.87	32.00	0	4.72	10	11.88	16.53	388.43
99	2017,9,21	48.42	32.40	6	4.74	1	11.86	16.64	388.47
100	2017,9,21	49.72	34.10	11	4.83	9	11.48	16.62	388.45
101	2017,9,21	59.63	36.30	6	4.96	12	10.84	16.32	388.34
102	2017,7,24	51.87	32.00	0	5.13	13	9.97	16.27	368.00
103	2017,7,24	58.80	37.30	8	5.53	16	8.51	16.20	367.95
104	2017,7,24	54.37	31.88	5	5.12	5	9.92	16.17	367.97
105	2017,7,24	59.57	36.23	18	5.44	8	8.75	16.14	367.94
106	2017,6,25	49.80	34.42	-22	5.51	13	13.91	21.44	362.45
107	2017,6,25	50.98	35.48	-15	5.60	0	13.55	21.43	362.44
108	2017,6,25	50.80	34.55	-19	5.52	29	13.85	21.40	362.44
109	2017,6,25	59.82	34.02	-6	5.48	16	13.73	21.04	362.34
110	2017,6,25	50.07	36.33	-41	5.68	6	13.31	21.50	362.46
111	2017,5,26	51.87	32.00	9	5.20	12	7.65	12.04	357.57
112	2017,5,26	51.87	32.00	9	5.20	12	7.65	12.04	357.57
113	2017,5,26	52.00	35.80	17	5.49	4	7.01	12.18	357.57
114	2017,5,26	51.40	35.77	19	5.49	11	7.04	12.20	357.57
115	2017,5,26	54.38	36.22	21	5.53	0	6.86	12.11	357.57
116	2017,5,26	51.72	31.70	15	5.18	10	7.70	12.04	357.57
117	2017,2,27	51.87	32.00	20	4.79	9	11.00	11.66	374.73
118	2016,12,30	51.87	32.00	5	5.34	10	13.28	14.04	395.89
119	2016,11,30	51.87	32.00	22	5.26	7	10.80	11.63	404.14
120	2013,5,11	56.55	33.37	6	5.14	5	14.98	17.09	404.27
121	2013,5,11	58.22	33.40	5	5.15	4	14.93	17.03	404.27
122	2013,5,11	60.47	34.43	5	5.22	6	14.72	16.99	404.26
123	2013,5,11	58.82	34.02	2	5.19	16	14.83	17.03	404.27
124	2013,5,11	59.53	36.32	3	5.36	11	14.45	17.07	404.27
125	2013,5,11	57.25	33.50	0	5.15	15	14.94	17.07	404.27
126	2013,5,11	58.27	32.93	-2	5.11	6	15.00	17.02	404.27
127	2013,3,12	50.97	32.62	18	4.76	6	9.21	9.45	384.38
128	2013,3,12	51.63	32.58	21	4.76	4	9.19	9.43	384.37
129	2013,3,12	51.85	32.97	27	4.78	2	9.19	9.42	384.37
130	2013,1,12	53.50	30.40	30	5.14	-2	10.41	10.41	364.00
131	2013,1,12	51.68	32.78	21	5.31	2	10.43	10.43	364.01
132	2013,1,12	48.40	32.38	14	5.28	0	10.55	10.55	364.04
133	2013,1,12	51.37	32.63	22	5.29	1	10.45	10.45	364.01
134	2013,1,12	53.98	32.37	16	5.28	12	10.36	10.36	363.99
135	2013,1,12	51.63	32.63	22	5.29	11	10.44	10.44	364.01
136	2013,1,12	51.63	32.58	25	5.29	3	10.44	10.44	364.01
137	2013,1,12	51.43	35.67	25	5.54	0	10.35	10.38	363.99
138	2012,12,14	51.37	32.63	17	5.40	0	14.54	16.48	359.57
139	2012,12,14	51.87	32.00	-3	5.35	12	14.62	16.47	359.57
140	2012,12,14	51.63	32.58	6	5.39	2	14.54	16.47	359.57
141	2012,11,15	51.87	32.00	-5	5.11	13	15.80	22.64	358.58

ادامه جدول خلاصه داده‌های مورد استفاده در این مقاله

ردیف	تاریخ رصد میلادی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	زمان انتظار رؤیت (دقیقه)	نرخ تاریک شدن آسمان (دقیقه به درجه)	مدت زمان اختفاء محلی (دقیقه)	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (درجه)	جلبایی زاویه ماه و خورشید (درجه)	فاصله ماه و زمین (هزار کیلومتر)
142	2012,10,16	51.87	32.00	16	4.81	8	6.47	14.61	360.84
143	2012,9,17	51.87	32.00	6	4.72	18	7.52	20.19	367.11
144	2012,9,17	51.63	32.63	-7	4.75	22	7.32	20.21	367.11
145	2012,4,22	51.43	35.58	14	5.09	6	13.38	13.63	406.43
146	2012,4,22	51.63	32.58	27	4.90	0	13.46	13.59	406.43
147	2012,4,22	51.77	32.87	16	4.92	0	13.45	13.59	406.43
148	2012,3,23	51.37	32.63	30	4.75	8	10.80	11.02	403.00
149	2012,3,23	51.70	32.80	22	4.76	22	10.80	11.02	403.00
150	2012,3,23	51.63	32.62	27	4.75	0	10.79	11.02	403.00
151	2012,3,23	51.02	35.80	21	4.93	0	10.92	11.03	403.00
152	2012,1,24	50.85	34.62	8	5.32	0	15.23	15.32	385.59
153	2012,1,24	51.77	32.83	-6	5.19	8	15.28	15.32	385.59
154	2012,1,24	51.87	32.00	-3	5.13	11	15.30	15.33	385.59
155	2012,1,24	51.22	32.37	1	5.16	16	15.31	15.34	385.60
156	2011,12,25	51.35	32.63	30	5.40	0	9.32	10.06	372.56
157	2011,12,25	51.77	33.42	39	5.47	0	9.23	10.03	372.55
158	2011,8,30	51.43	34.17	11	4.92	0	6.19	21.24	360.88
159	2011,8,30	59.53	36.32	7	5.05	8	5.27	20.98	360.88
160	2011,1,5	51.87	32.00	10	5.31	14	12.40	13.21	394.78
161	2011,1,5	51.22	32.37	6	5.34	22	12.38	13.22	394.78
162	2010,11,7	51.87	32.00	-3	5.01	16	8.38	17.68	374.03
163	2010,11,7	51.67	32.65	2	5.05	23	8.20	17.69	374.03
164	2010,11,7	51.63	32.60	4	5.05	1	8.21	17.69	374.03
165	2010,11,7	54.17	31.75	-2	4.99	0	8.39	17.60	374.00
166	2009,11,18	51.87	32.00	-10	5.14	0	10.64	20.29	395.77
167	2009,3,27	51.87	32.00	17	4.72	0	11.48	11.86	378.93
168	2009,3,27	39.62	24.47	19	4.40	2	11.39	12.29	378.82
169	2009,3,27	50.85	34.62	31	4.87	3	11.65	11.90	378.92
170	2009,2,26	51.35	32.63	-24	4.83	0	17.60	17.61	388.06
171	2009,2,26	49.80	33.30	-3	4.87	0	17.65	17.65	388.05
172	2009,2,26	51.87	32.00	-8	4.80	0	17.59	17.60	388.06
173	2009,1,27	51.25	35.70	17	5.36	5	12.36	13.10	399.01
174	2008,12,28	52.50	29.78	21	5.19	6	8.11	10.85	405.54
175	2008,11,29	51.22	32.37	14	5.28	28	10.99	19.97	406.47
176	2008,11,29	49.30	33.80	7	5.39	0	10.54	20.02	406.47
177	2008,10,30	51.87	32.00	9	4.93	8	6.18	18.30	402.67
178	2008,10,30	55.65	29.53	17	4.79	4	6.91	18.19	402.66
179	2008,6,4	56.95	30.27	-11	5.15	29	11.38	11.49	358.41
180	2008,6,4	51.68	32.62	-20	5.32	27	11.51	11.75	358.44
181	2008,6,4	51.22	32.37	-1	5.30	29	11.53	11.76	358.45
182	2008,3,8	54.03	32.40	25	4.76	8	10.96	11.00	369.38
183	2008,3,8	51.45	35.67	22	4.95	0	11.08	11.08	369.36
184	2008,3,8	51.22	32.37	17	4.76	18	11.06	11.10	369.36
185	2008,3,8	50.87	34.63	23	4.89	6	11.10	11.11	369.35
186	2008,3,8	56.95	30.27	19	4.65	5	10.82	10.90	369.40
187	2008,3,8	51.37	32.63	15	4.77	5	11.06	11.09	369.36
188	2008,2,8	51.22	32.37	8	4.99	8	16.50	16.95	378.24

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)

بررسی نرخ تاریک شدن آسمان و مدل‌سازی تعیین زمان انتظار ... / ۱۰۱

ادامه جدول خلاصه داده‌های مورد استفاده در این مقاله

ردیف	تاریخ رصد میلادی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	زمان انتظار رؤیت (دقیقه)	نرخ تاریک شدن آسمان (دقیقه به درجه)	مدت زمان اختفاء محلی (دقیقه)	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (درجه)	جدايي زاویه ماه و خورشید (درجه)	فاصله ماه و زمین (هزار کیلومتر)
189	2008,2,8	55.65	29.53	15	4.83	5	16.55	16.82	378.27
190	2008,1,9	62.53	27.23	25	4.98	1	9.76	11.86	390.88
191	2008,1,9	55.20	29.13	20	5.09	4	9.69	12.08	390.82
192	2007,12,11	51.43	35.60	5	5.63	0	10.95	20.20	398.49
193	2007,12,11	51.87	32.00	1	5.33	12	12.15	20.20	398.48
194	2007,11,11	51.87	32.00	10	5.05	0	6.52	17.82	405.32
195	2007,11,11	52.83	31.03	12	4.99	0	6.81	17.79	405.32
196	2007,8,14	52.05	35.75	-8	5.17	23	9.65	19.26	394.67
197	2007,8,14	51.22	32.37	5	4.95	5	10.65	19.20	394.67
198	2007,8,14	51.87	32.00	-7	4.92	12	10.74	19.17	394.66
199	2007,8,14	52.63	29.55	9	4.79	8	11.40	19.09	394.65
200	2007,4,18	51.58	32.62	13	4.87	3	15.88	15.90	359.01
201	2007,4,18	51.35	32.63	6	4.87	11	15.89	15.91	359.01
202	2007,3,20	51.22	32.37	-11	4.74	15	20.52	20.52	358.49
203	2007,2,18	51.37	32.63	12	4.90	7	11.29	11.73	361.96
204	2007,2,18	51.70	32.80	16	4.91	15	11.27	11.72	361.96
205	2007,2,18	51.22	32.37	11	4.88	13	11.31	11.73	361.96
206	2007,2,18	51.87	32.00	10	4.86	11	11.32	11.71	361.96
207	2007,2,18	54.17	31.75	16	4.85	19	11.24	11.63	361.97
208	2007,1,20	51.22	32.37	-5	5.20	17	15.28	17.95	369.00
209	2007,1,20	51.63	32.63	0	5.22	10	15.19	17.92	369.00
210	2007,1,20	54.17	31.75	2	5.16	31	15.29	17.84	369.02
211	2005,9,5	59.60	36.30	2	5.01	12	10.13	19.75	399.45
212	2005,9,5	51.43	35.65	-2	4.97	6	10.43	19.99	399.39
213	2005,9,5	51.33	35.78	-3	4.98	17	10.39	20.00	399.38
214	2005,9,5	58.30	36.55	6	5.03	0	10.07	19.79	399.44
215	2005,8,6	51.63	32.63	13	5.04	5	12.17	16.21	405.59
216	2005,8,6	59.60	36.30	15	5.29	6	11.31	16.07	405.61
217	2005,8,6	51.35	32.63	8	5.04	9	12.17	16.22	405.59
218	2005,8,6	51.38	35.20	11	5.21	1	11.66	16.28	405.59
219	2005,8,6	53.38	28.50	23	4.80	0	12.89	16.07	405.60
220	2005,1,11	51.35	32.63	-3	5.30	0	10.50	15.42	357.93
221	2005,1,11	57.22	30.25	9	5.14	0	10.85	15.22	357.91
222	2005,1,11	51.58	32.62	4	5.30	11	10.50	15.41	357.93
223	2004,12,13	51.58	32.62	-9	5.39	8	12.23	21.25	358.41
224	2004,12,13	51.17	33.45	-13	5.46	15	11.92	21.25	358.41
225	2004,12,13	51.43	35.58	-1	5.64	0	11.15	21.22	358.40
226	2004,10,15	51.35	32.63	-1	4.83	4	9.22	18.61	370.61
227	2004,10,15	58.90	36.20	17	5.05	2	8.04	18.35	370.67
228	2004,10,15	59.60	36.30	12	5.06	17	8.00	18.32	370.67
229	2004,10,15	52.30	29.38	16	4.67	8	10.10	18.55	370.61
230	2004,10,15	57.12	30.28	16	4.71	0	9.76	18.38	370.65
231	2004,10,15	53.18	30.62	11	4.73	6	9.75	18.53	370.62
232	2004,8,17	51.43	35.68	-1	5.12	0	12.44	18.19	391.37
233	2004,8,17	57.12	30.28	0	4.80	0	13.54	17.89	391.44
234	2004,8,17	48.40	32.38	-1	4.91	0	13.25	18.22	391.35
235	2004,7,18	57.08	30.25	12	5.07	0	11.88	13.03	401.29

ادامه جدول خلاصه داده‌های مورد استفاده در این مقاله

ردیف	تاریخ رصد میلادی	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	زمان انتظار رؤیت (دقیقه)	نرخ تاریک شدن آسمان (دقیقه به درجه)	مدت زمان اختفاء محلی (دقیقه)	اختلاف ارتفاع ماه و خورشید (درجه)	جدايي زاویه ماه و خورشید (درجه)	فاصله ماه و زمین (هزار کیلومتر)
236	2004,7,18	53.65	28.93	25	4.99	14	12.07	13.10	401.27
237	2004,7,18	59.60	36.30	27	5.52	7	11.18	13.10	401.28
238	2004,5,20	59.60	36.30	12	5.47	5	14.29	14.98	405.98
239	2004,5,20	51.87	32.00	13	5.15	5	14.77	15.12	405.99
240	2004,5,20	53.17	30.62	11	5.06	11	14.79	15.06	405.99
241	2004,2,21	52.60	29.57	-2	4.71	8	13.49	15.03	381.25
242	2004,2,21	51.43	35.68	7	5.07	6	12.66	15.07	381.24
243	2004,2,21	57.08	30.25	12	4.75	4	13.24	14.88	381.19
244	2003,12,24	57.08	30.25	3	5.23	1	10.20	15.99	362.28
245	2003,12,24	51.43	35.68	11	5.67	2	8.88	16.16	362.31
246	2003,11,25	57.08	30.25	-8	5.09	23	13.06	22.18	359.26
247	2003,11,25	51.43	35.68	-15	5.49	0	11.21	22.36	359.28
248	2003,11,25	59.60	36.27	-5	5.54	0	10.81	22.04	359.21
249	2003,10,26	56.83	30.22	21	4.79	0	8.32	13.86	358.54
250	2003,10,26	51.87	32.00	17	4.88	0	8.06	14.06	358.55
251	2003,10,26	51.63	32.63	18	4.92	0	7.93	14.07	358.55
252	2003,10,26	56.83	30.22	21	4.79	0	8.32	13.86	358.54
253	2003,9,27	57.08	30.25	0	4.63	0	12.64	19.40	363.16
254	2003,9,27	51.43	35.58	-1	4.92	0	11.31	19.68	363.14
255	2003,9,27	57.08	30.25	0	4.63	0	12.64	19.40	363.16
256	2003,9,27	48.40	32.38	3	4.74	0	12.23	19.75	363.14
257	2003,9,27	51.43	35.58	-1	4.92	0	11.31	19.68	363.14
258	2003,8,28	57.08	30.25	23	4.72	0	9.73	11.58	372.73
259	2003,7,30	51.43	35.58	-1	5.33	0	13.22	16.84	381.56
260	2003,5,2	51.43	35.58	21	5.19	0	10.46	11.42	405.96
261	2003,5,2	58.80	36.22	22	5.24	0	10.20	11.21	405.97
262	2003,5,2	57.08	30.25	14	4.86	0	10.62	11.15	405.97
263	2003,5,2	51.87	32.00	20	4.96	6	10.68	11.33	405.96
264	2003,3,4	51.63	32.63	9	4.80	0	14.92	16.70	401.18
265	2003,3,4	51.63	32.63	9	4.80	0	14.92	16.70	401.18
266	2002,10,7	51.68	32.63	6	4.79	0	10.73	15.63	357.98
267	2003,2,2	51.63	32.63	4	5.07	0	10.49	13.75	391.03
268	2003,2,2	51.43	35.67	14	5.28	0	9.92	13.75	391.02