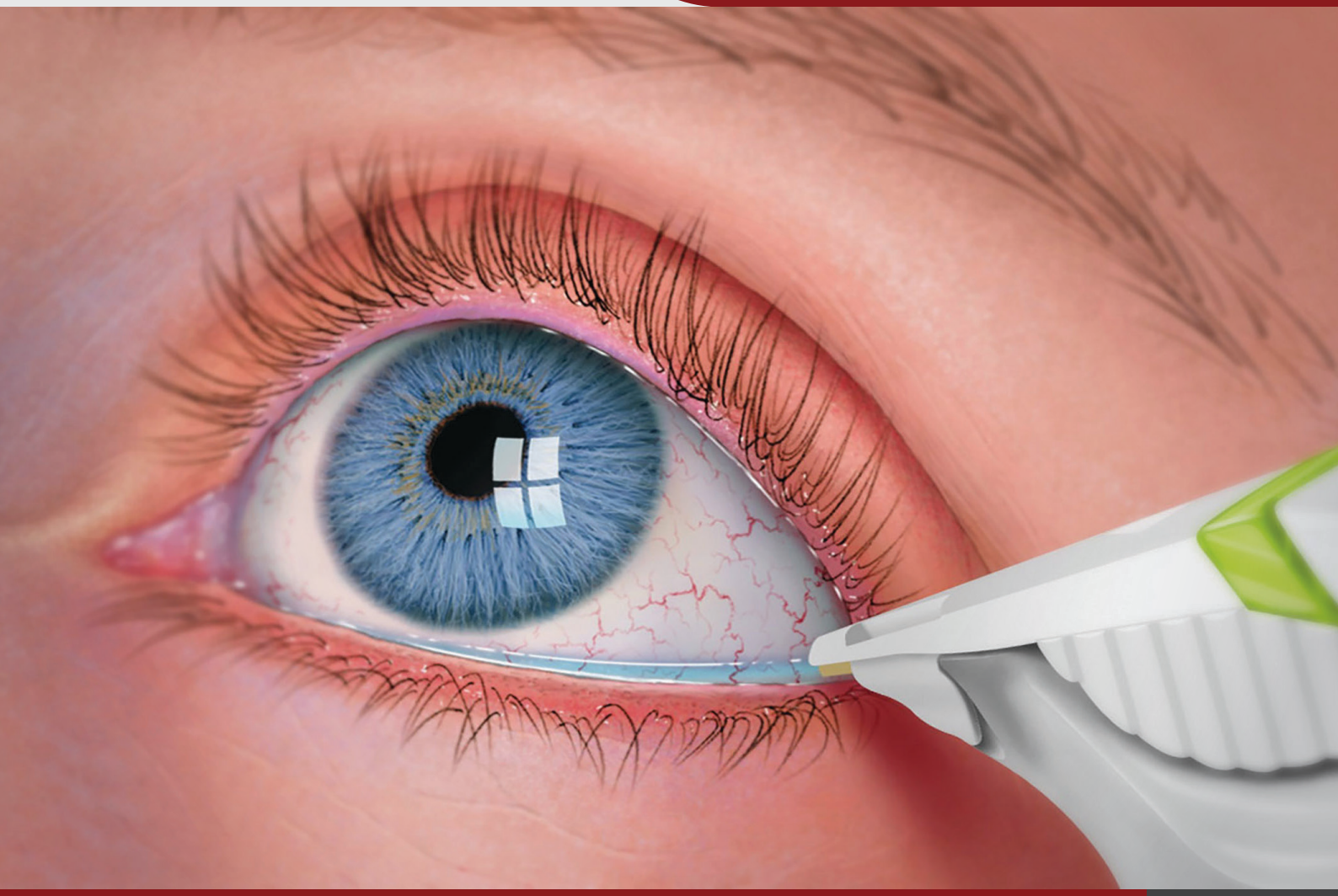
دوماهنامه مرکز تحقیقات سلامت چشم بصیر
شماره ۹۱ . سال نوزدهم . آذر و دی ۱۴۰۱

پرتو بصیر

مرکز تحقیقات
سلامت چشم بصیر



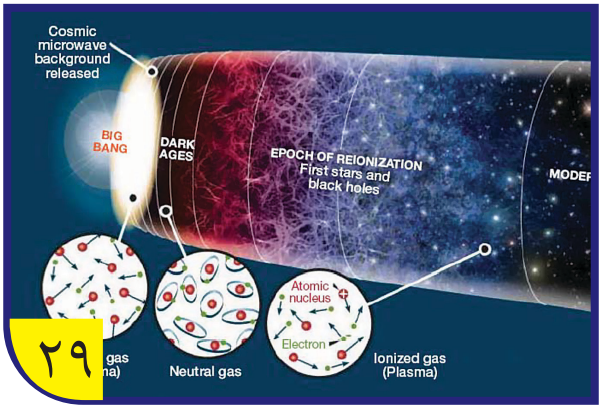
- سخن سردبیر / بیماری خشکی چشم – همواره گریزان از تشخیص
- استفاده از هیستِرسیس قرنیه جهت تشخیص گلوکوم و ارزیابی ریسک پیشرفت آن
- لیزیک در بیماران مبتلا به گوتاتا در قرنیه
- اثر ویتامین‌ها در پیشگیری از گلوکوم
- هوش مصنوعی و رتینوپاتی دیابتی
- ماسک حرارتی TearRestore برای بیماران مبتلا به بیماری خشکی چشم
- در جستجوی حیات در عالم
- حکایت خلقت عالم

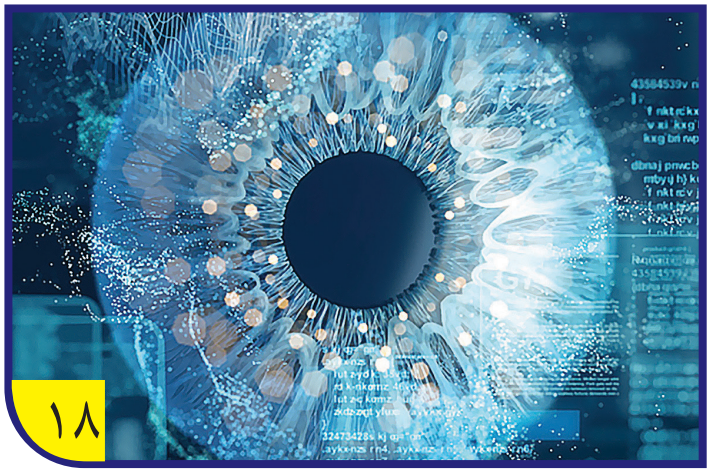
شناسنامه

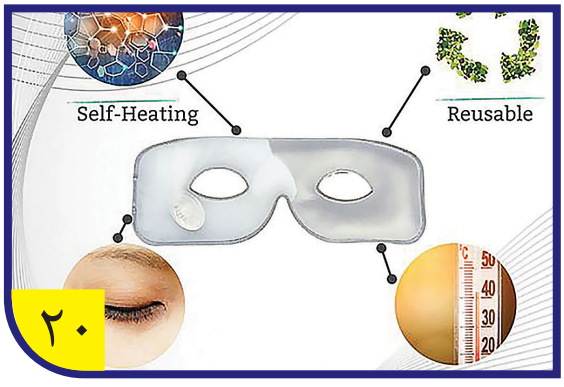
مرکز تحقیقات سلامت چشم بصیر
دو ماهنامه تخصصی چشم‌پزشکی بصیر
سال نوزدهم، شماره ۹۱، آذر و دی ۱۴۰۱
صاحب امتیاز: مرکز چشم‌پزشکی بصیر
مدیر مسئول: دکتر احمد شجاعی باغینی
سردبیر: دکتر محمد حافظ نوروزی‌زاده
شورای دبیران: دکتر امین ا... نیک اقبالی، دکتر احمد شجاعی باغینی، دکتر گیتا غیاثی، دکتر حسین محمد ربیع، دکتر بهرام عین اللهی، دکتر عباس ابوالحسنی، دکتر خسرو جدیدی، دکتر ساسان وجودی، دکتر محسن رمضان‌زاده، دکتر سید محمدعلی معلم، دکتر اردشیر پاپی، دکتر امیر خبری، دکتر سید جلیل نقیب، دکتر سید محمد مسعود شوشتریان، دکتر کوروش شیبانی، دکتر فرساد نوری‌زاده، دکتر محمد حافظ نوروزی‌زاده، دکتر حمیدرضا صفابخش، فرهاد صحرایی، علی مرادی، ایمان رستگار، عطیه حشمتی، جواد محمدنژاد، سمیه مسگرها، حمیده صباغی، علیرضا جعفری، راحله مروج
همکاران این شماره (به ترتیب الفبا)
دکتر محمد حافظ نوروزی‌زاده، دکتر سید هاشم خوئی، دکتر فاطمه جعفری، مهندس فاطمه وفایی، الهه هرمزی، جهانگیر میرشاه‌ولد، دکتر علی نظری نائینی، مهندس سید محمد هاشمی
تلفن : ۶۶۹۴۰۴۰۴ (۰۲۱)
پست الکترونیکی: info@behrc.ir
طراح و صفحه‌آرا: منصور عیوضی اینانلو
چاپخانه: چاپ دیجیتال ایران کهن
نشانی: تهران، بلوار کشاورز، خیابان جمالزاده شمالی، کوچه شیبانی، پلاک۳، طبقه۴

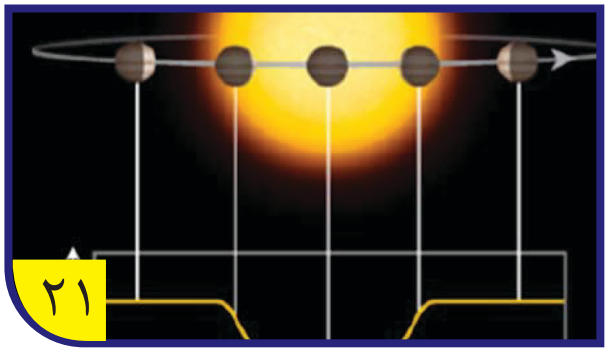
فهرست مطالب

سخن سردبیر / بیماری خشکی چشم - همواره گریزان از تشخیص ۳
استفاده از هیسترِسیس قرنیه جهت تشخیص گلوکوم و ارزیابی ریسک پیشرفت آن ۵
لیزیک در بیماران مبتلا به گوتاتا در قرنیه ۱۵
اثر ویتامین‌ها در پیشگیری از گلوکوم ۱۷
هوش مصنوعی و رتینوپاتی دیابتی ۱۸
ماسک حرارتی TearRestore برای بیماران مبتلا به بیماری خشکی چشم ۲۰
در جستجوی حیات در عالم ۲۱
حکایت خلقت عالم ۲۹









سخن سردبیر

بیماری خشکی چشم – همواره گریزان از تشخیص

دکتر محمدحافظ نوروزی‌زاده

بیماری خشکی چشم یا Dry eye disease (DED) به صورت فزاینده‌ای به یک اختلال شایع در چشم‌پزشکی بدل شده است. میزان شیوع جهانی این بیماری بین ۵ تا ۵۰ درصد متفاوت است. اما اگر تشخیص این بیماری بدون در نظر گرفتن روش‌های اختصاصی تشخیصی باشد شاید آن را در مسیر نادرست شبیه یک علامت (مثلا سردرد) و نه یک بیماری قرار دهد. نارسایی در جستجوی علت این بیماری و نسبت ندادن یک علت خاص ممکن است منجر به عدم تشخیص، تشخیص نادرست (misdiagnosis) و یا حتی درمان نامناسب شود. مجموعه سه‌گانه (triad) شیوع بالا، تاثیر بر کیفیت زندگی اشخاص از نظر چشم و هزینه‌های اقتصادی درازمدت، تشخیص به موقع و درمان مناسبِ بیماری خشکی چشم را به امری ضروری بدل نموده است.

آیا توصیف ما از بیماری خشکی چشم صحیح است؟

قریب سه دهه می‌باشد که بیماری خشکی چشم به صورت یک تعریف دارای ماهیت مستقل مورد قبول واقع شده است. در سال ۱۹۹۵ یک تعریف جامع و مورد توافق عموم از سوی National Eye Institute/Industry عرضه شد. مطابق این تعریف «خشکی چشم یک اختلال در لایه اشک است که ناشی از نقصان تولید اشک و یا افزایش تبخیر آن می‌باشد و می‌تواند سبب آسیب بافت‌های سطحی چشم در ناحیه interpalpebral شده و در ارتباط با شکایات ناشی از ناراحتی چشم باشد". کمیته‌های فرعی تعاریف و طبقه‌بندی "کارگروه بین‌المللی خشکی چشم یا International Dry Eye Workshop (DEWS) در سال ۲۰۰۷ اسملالیته فیلم اشکی و نیز التهاب را به تعریف قبلی اضافه نمود. بر این اساس تعریف قبلی اصلاح گردید و به صورت زیر تغییر یافت:

«خشکی چشم یک بیماری چند عاملی یا multifactorial فیلم اشکی و سطح چشم است که منجر به ناراحتی چشم، اختلال بینایی و بی‌ثباتی لایه اشک می‌شود و توام با تخریب احتمالی و بالقوه سطح چشم می‌باشد." در سال ۲۰۱۷، DEWS II نقش اختلالات نوروسنسوری را در این بیماری تایید نمود: " خشکی چشم یک بیماری چند عاملی یا مولتی فاکتوریال سطح چشم است که با از دست رفتن homeostasis لایه اشکی مشخص می‌شود و همراه با شکایاتی است که در آن بی‌ثباتی لایه اشک و هایپراسملاریته، آسیب و التهاب سطح چشم و نیز اختلالات نوروسنسوری دارای نقش اتیولوژیک می‌باشند. در این تعاریف نوعی تردید وجود دارد زیرا هیچیک از جملات فوق اتیولوژی بیماری را به طور کامل آدرس نمی‌دهند و همچنان ناکامل هستند.

آیا ما درست تشخیص می‌دهیم:

بیماری خشکی چشم را تنها بر اساس شکایات بیمار و یا یافته‌های بالینی تشخیص نمی‌دهند. به عبارت دیگر تشخیص بیماری خشکی چشم بر پایه یک نردبان تشخیصی پلکانی مشتمل بر شکایات بیمار، عوامل خطرساز، پرسش‌نامه‌های خشکی چشم، نمرات متکی بر Ocular Surface Disease Index، تعیین مارکرهای homeostasis، تست‌های طبقه‌بندی فرعی و تعیین میزان و شدت بیماری می‌باشد. (شکل یک)

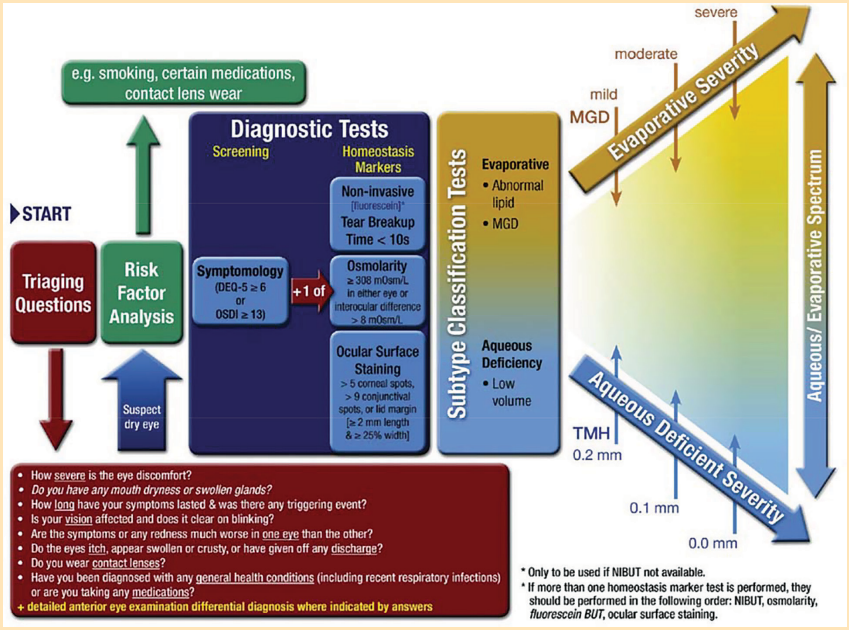
آیا ما بیماری را بدرستی درمان می‌کنیم؟

بر مبنای اطلاعات جاری از درمان متکی بر جبران فیلم اشکی، این درمان باید به میزان مطلوبی این بخش‌ها را هدف قرار دهد:

لایه چربی/غدد میبومین، بخش آبکی اشک، ترشحات موسینی، مامبران‌های در ارتباط با موسین، سلول‌های گابلت و نیز التهابات سطح چشم.

تنها استفاده از قطره‌های اشک مصنوعی درمان بیماری خشکی چشم را پوشش نمی‌دهد.

نقش تشخیص و درمان meibomian gland dysfunction در درمان بیماری خشکی چشم نمی‌تواند ناچیز در نظر گرفته شده و یا نادیده انگاشته شود. بر اساس تاکید دکتر Korb و دکتر Blackie در برخورد با بیمار مبتلا به بیماری خشکی چشم "rule out MGD



شکل ۱.

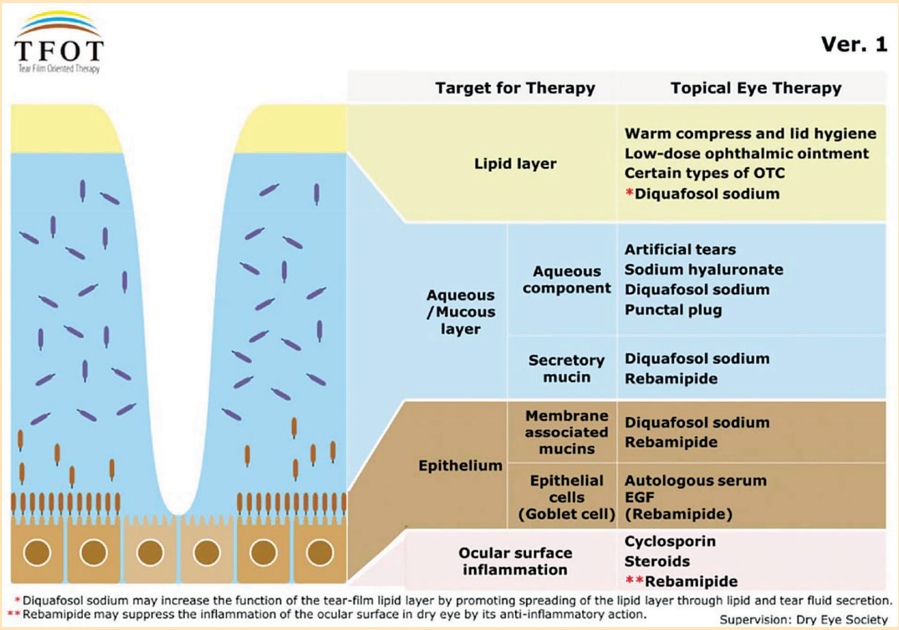
first" امری ضروری اســت. با ایــن کار صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در وقــت و هزینه‌ها و داروهای خــط اول درمان به عمل خواهد آمد. (شکل ۲)

چرا بیماری خشکی چشم یک بیماری خاص است؟

هدف از اطلاق بیماری خشکی چشم به عنوان یک بیماری خاص دســتیابی به اطلاعاتی جامع، به روز و دقیق به کمک مقالات مروری است تا بتوان توصیه‌های تشخیصی و درمانی مطلوب‌تری را به صورت Preferred Practice انجــام داد و روند تفکر در مورد این بیماری را با به چالش کشــیدن تارگت‌های مولکولی / سلولی هدف قرار داد. امید است چشم‌پزشکان به این طریق به مفاهیم پایه‌ای و اساسی در مورد بیماری خشــکی چشم دســت یابند و بتوانند به تشخیص مناسب و درمان مطلوب این بیماری بپردازند.

تا درودی دیگر بدرود

دکتر محمد حافظ نوروزی‌زاده - سردبیر



شکل ۲.

استفاده از هیسترسیس قرنیه جهت تشخیص گلوکوم و ارزیابی ریسک پیشرفت آن[1]

مترجم: دکتر علی نظری نائینی

دکتر آرتور جِی. سیت، دکتر ترزا سی. چِن، دکتر هانا ال. تاکوساگاوا، دکتر جولیا اِی. روسدال، دکتر آمبیکا هوگوت، دکتر ویکاس چوبرا، دکتر گِریس اِم. ریشتر، دکتر ایوون اِو، دکتر استفن جِی. کیم، دکتر دارِل وودون.

هدف: ما در اینجا متون منتشر شده در مورد استفاده از CH[2] جهت کمک به تشخیص گلوکوم و یا جهت ارزیابی خطر پیشرفت بیماری در مبتلایان به گلوکوم را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

روش‌ها: متون موجود در پایگاه داده‌های PubMed در طی ماه جولای سال ۲۰۲۲ مورد جستجو قرار گرفت. چکیده ۴۲۳ مقاله بررسی و مقالات مروری و نیز مقالات غیر انگلیسی حذف گردید. پس از اینکه معیارهای exclusion و inclusion مورد استفاده قرار گرفت، ۱۹ مقاله انتخاب شد و متدولوژیست مقاله از نظر سطح شواهد و مستندات، آن‌ها را رتبه‌بندی کرد. هشت مقاله در سطح I و ۵ مقاله در سطح II قرار گرفتند. شش مقاله که در سطح III بودند، حذف گردید.

نتایج: CH در مبتلایان به گلوکوم زاویه باز اولیه، گلوکوم زاویه بسته اولیه، گلوکوم سودواکسفولیاتیو و نیز سندروم Pseudoexfoliation در مقایسه با افراد سالم شیوع کم‌تری دارد. تفسیر پایین بودن میزان شیوع CH در مبتلایان به فشار داخل چشمی بالا و یا بیمارانی که تحت درمان با داروهای هایپوتنسیو موضعی قرار دارند، به علت تأثیر این پارامترها بر روی اندازه‌گیری CH دشوار و پیچیده می‌باشد. با این وجود، CH نیز در مبتلایان به گلوکوم با فشار نرمال که اصلاً درمانی دریافت نکرده بودند در مقایسه با افراد سالمی که دارای همان مقدار IOP هستند، پایین‌تر می‌باشد. علاوه بر این، در مبتلایان به گلوکوم زاویه باز از جمله در افرادی که IOP در آن‌ها به نظر به‌خوبی کنترل شده، مشاهده گردید که در صورت پایین بودن CH ریسک پیشرفت گلوکوم با توجه به میدان دید بیمار و یا مارکرهای ساختمانی افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: CH در مبتلایان به گلوکوم در مقایسه با افراد عادی پایین‌تر بوده و پایین‌تر بودن CH با بالاتر بودن ریسک پیشرفت بیماری همراه می‌باشد. با این وجود، یک رابطه علت و معلولی مشخص بدست نیامده است. در عین حال، اندازه‌گیری CH در مبتلایان به گلوکوم و در افراد مشکوک به گلوکوم تکمیل‌کننده ارزیابی‌های ساختمانی و عملکردی فعلی بوده و در تشخیص ریسک بیماری کمک‌کننده خواهد بود.

******

آکادمی چشم‌پزشکی امریکا جهت ارزیابی تست‌های غربالگری و تشخیصی و داروها و روش‌های جدید و موجود فعلی، پروژه‌ای تحت عنوان "Ophthalmic Technology Assessments" را تهیه کرده است. هدف از انجام این برنامه، بررسی سیستماتیک از تحقیقات انجام شده در خصوص اثربخشی و ایمنی بالینی می‌باشد. پس از آن که اعضای کمیته این پروژه و نیز سایر کمیته‌های آکادمی، انجمن‌های فوق‌تخصصی مربوط و مشاور حقوقی پروژه ارزشیابی‌های انجام شده را مورد بررسی قرار دادند، این ارزیابی‌ها جهت اظهار نظر رسمی به هیئت امنای آکادمی ارائه می‌گردد. هدف از این ارزشیابی، بررسی متون منتشر شده در مورد کارایی اندازه‌گیری CH در تشخیص گلوکوم و نیز نقش آن در ارزیابی ریسک پیشرفت گلوکوم می‌باشد.

زمینه کار

تنها درمان مؤثر شناخته شده جهت گلوکوم، کاهش IOP می‌باشد. در عین حال در بسیاری از بیماران با وجود انجام درمان، بیماری پیشرفت کرده و بینایی فرد کاهش می‌یابد. همچنین در بسیاری از افرادی که دارای IOP بالا هستند، گلوکوم ایجاد نمی‌شود و در بسیاری از مبتلایان به گلوکوم، IOP بالا نمی‌باشد. این امر مطرح‌کننده این نکته است که احتمالاً در پاتوژنز گلوکوم، فاکتورهایی به غیر از IOP شرکت داشته و ایفای نقش می‌کنند.

1 Sit, Arthur J., et al. "Corneal hysteresis for the diagnosis of glaucoma and assessment of progression risk: a report by the American Academy of Ophthalmology." Ophthalmology 130.4 (2023): 433-442.

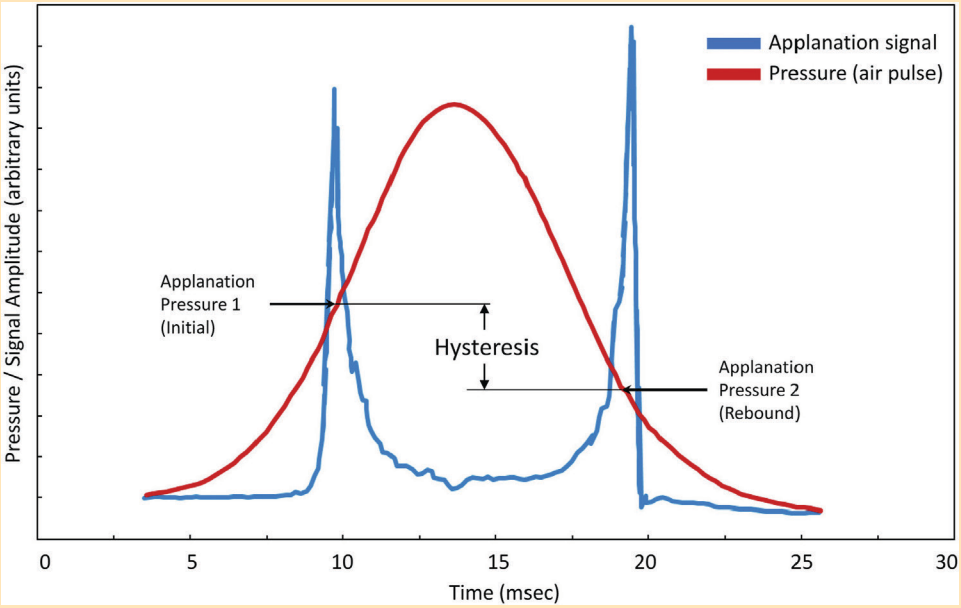
2 . Corneal Hysteresis

احتمالاً خواص بیومکانیکی چشم انسان یک ریسک فاکتور عمده، مهم و تأثیرگذار در گلوکوم می‌باشد. افزایش IOP منجر به اتساع دیواره چشم و تغییر شکل لامینا کریبروزا شده و این امر بطور بالقوه می‌تواند باعث وارد آمدن کشش مستقیمی بر روی آکسون‌های عصب اپتیک و یا اختلال در پرفیوژن عصب شود. همچنین کشیدگی و نازک شدن لامینا کریبروزا، شیب فشاری ترانس‌لامینار را تغییر داده و ممکن است انتقال رتروگرادِ فاکتورهای نوروتروفیک از LGB به سمت سلول‌های گانگلیونی شبکیه را مختل سازد. این تغییرات احتمالاً باعث وارد شدن آسیب‌های مستقیم یا غیرمستقیمی به آکسون‌های عصب اپتیک و سلول‌های گانگلیونی شبکیه شده و در نتیجه منجر به ایجاد گلوکوم خواهد شد. بافت‌های محکم‌تر و مقاوم‌تر چشم در مقابل تغییر شکل، دارای مقاومت بیش‌تری بوده؛ ولی این امر منجر به بروز تغییرات بیش‌تری در IOP در مورد یک تغییر حجمی مشخص شده که به نوبه خود ریسک فاکتوری جهت ایجاد گلوکوم و پیشرفت آن محسوب می‌شود. با این وجود شناخت ما در خصوص خواص بیومکانیکی ویژه‌ای که چشم افراد را مستعد ابتلا به گلوکوم می‌کند، همچنان ناقص و ناکامل می‌باشد.

در مطالعات قبلی جهت ارزیابی ویژگی‌های بیومکانیکی چشم و رابطه آن‌ها با گلوکوم از مدل‌های حیوانی و جسد استفاده شده است. Coudrillier و همکاران از سگمان‌های خلفی چشم‌های اجساد انسانی که بر روی یک سیستم قابل اتساع (inflation System) قرار داده شده بود، استفاده کردند تا میزان جابه‌جایی اسکلرا را در اثر فشار حاصل از اتساع (باد کردن) اندازه‌گیری کنند. آن‌ها ۱۱ چشم مبتلا به گلوکوم را با ۲۲ چشم متعلق به افرادی که هیچ‌گونه سابقه‌ای از گلوکوم نداشتند، مقایسه کردند. در چشم‌های مبتلا به گلوکوم، اسکلرای پری‌پاپیلری محکم‌تر و سفت‌تر است و این در حالی است که استحکام و سفتیِ قسمت میانی خلفی اسکلرا با کنترل‌های نرمال تفاوتی ندارد. با این وجود، این مسئله که آیا این تفاوت‌ها نشانگر وجود یک استعداد زمینه‌ای جهت ابتلای فرد به گلوکوم بوده یا اینکه یک سری تغییرات جبرانی ناشی از نوروپاتی گلوکوماتوز اپتیک یا افزایش فشار داخل چشمی می‌باشند یا نه همچنان مبهم و نامشخص است. Downs و همکاران، تغییرات گلوکوماتوز احتمالی رخ داده در بیومکانیک چشم را نیز مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از یک دستگاه کشش‌سنج بافتی خاص، رفتار تنش - کرنش را در بافت‌های پریمات‌های غیرانسانی - که به صورت آزمایشگاهی دارای گلوکوم بودند - با کنترل‌های سالم مقایسه نمودند. آن‌ها گزارش کردند که در چشم‌های دچار گلوکوم، ضریب یانگ در مقایسه با چشم‌های سالم به میزان قابل ملاحظه‌ای بالاتر بود و این امر نشان‌دهنده سفت‌تر بودن می‌باشد. در عین حال، افزایش سفتی احتمالاً یک تغییر جبرانی در پاسخ به افزایش IOP می‌باشد که این افزایش، خود ناشی از آسیب شبکه ترابکولار در اثر لیزر می‌باشد چرا که در حیوانات ریسک زمینه‌ای گلوکوم وجود نداشته و ویژگی‌های اسکلرا تغییری نیافته است. این مسئله که آیا بیومکانیک بافتی غیرطبیعی در استعداد ابتلا به گلوکوم نقش دارد یا نه کاملاً مشخص و روشن نمی‌باشد.

Ocular Response Analyzer(Reichert[ORA]) ، دستگاهی قابل دسترس می‌باشد که از سوی FDA جهت اندازه‌گیری IOP و سنجش پاسخ بیومکانیکی قرنیه به تأیید رسیده است. در حال حاضر هیچ دستگاه قابل دسترس و ارزان‌قیمت دیگری که جهت ارزیابی خواص بیومکانیکی چشم به صورت in vivo از سوی FDA به تأیید رسیده باشد، وجود ندارد. ORA پاسخ چشم به یک جریان سریع هوا را ارزیابی کرده و از این طریق IOP به دست می‌آید و سپس خواص بیومکانیکی چشم اندازه‌گیری خواهد شد. با استفاده از این دستگاه فشار جریان هوا افزایش و کاهش داده شده و در نتیجه در قرنیه، فرورفتگی‌ها و دندانه‌هایی ایجاد می‌شود. هنگامی که انعکاس نور از قرنیه به حداکثر مقدار خود می‌رسد، مقدار فشار هوا با IOP تطابق یافته و این امر نشان‌دهنده applanation در قرنیه می‌باشد. فشار داخل چشم که با استفاده از این روش در اولین فرورفتگی اندازه‌گیری می‌شود، از فشار داخل چشمی که در حین rebound (برگشت) و در هنگام کاهش فشار جریان هوا اندازه گرفته شده، بالاتر می‌باشد. این تفاوت موجود، میان فشارها، «CH» نامیده می‌شود(شکل ۱) و احتمالاً ناشی از تضعیف خاصیت ژله‌ای (viscous) بافت می‌باشد، در حالی‌که یک قرنیه واقعاً الاستیک خالص، در هنگام ریباند دارای یک فشار ثابت می‌باشد. با این وجود، CH احتمالاً تحت تأثیر هر دو عاملِ الاستیسیته و ویسکوزیته است. ویسکوزیته منعکس‌کننده تضعیف و میرایی بافت است و مشخص‌کننده سرعتی است که با آن سرعت، بافت تغییر شکل یافته و دوباره به وضعیت اولیه خود باز می‌گردد. الاستیسیتی، مشخص‌کننده شدت تغییر شکل نسبت به یک نیروی ثابت خواهد بود. هیسترسیس منعکس‌کننده هم الاستیسیتی و هم ویسکوزیته و نیز شدت و سرعت پالس جریان هوا است. بنابراین این ویژگی، منعکس‌کننده رفتار چشم متأثر از بیومکانیک آن بوده و نشان‌دهنده یک ویژگی خاص و کلی چشم نیست. همچنین CH نشان‌دهنده ثبات در اندازه‌گیری می‌باشد و ریتم‌های شبانه‌روزی تغییر شدیدی در آن ایجاد نکرده و قابلیت تکرارپذیری مناسب و خوبی به‌صورت intra-subject دارد.

علی‌رغم آن که اندازه‌گیری CH کار آسان و ساده‌ای می‌باشد، توافق در خصوص اهمیت کلینیکی این مقیاس چندان آشکار نیست. ویسکوزیته بافت بر تغییر شکل نهایی بافت که ناشی از تغییرات پایدارِ IOP می‌باشد، تأثیرگذار نیست؛ در عوض، این عامل فقط سرعت تغییراتی را که رخ می‌دهند، کند خواهد کرد. تغییرات سریع و کوتاه‌مدت رخ داده در IOP در چشم‌های دارای ویسکوزیته بالا، احتمالاً بر روی کشش بافتی تأثیر چندانی نخواهد داشت. در مورد تغییرات پایدار IOP، الاستیسیتی بافت و یا ضریب



شکل ۱. پروفایل فشار در ORA

آن تعیین‌کننده شدت تغییر شکل خواهند بود. در عین حال، حتی در یک بافت الاستیک خالص، تأثیر تغییرات IOP بر روی لامیناکریبروزا برای ما همچنان پیچیده و بغرنج باقی خواهد ماند. Sigal و همکاران مدل‌های محدود و کوچکی از لامینا کریبروزا و اسکلرا تهیه کرده و نشان دادند که تغییر شکل لامینا و منفذ ورودی کانال اسکلرا وابسته به یک مجموعه پیچیده‌ای از فاکتورهای مختلف از جمله ضریب بافتی، ژئومتری (هندسه) و ضخامت بافت می‌باشد: نکته دیگر در مورد اندازه‌گیری‌های CH که باعث پیچیده‌تر شدن بحث می‌گردد، این واقعیت است که بافت‌های چشمی، یکنواخت و یکدست نبوده و دارای آنیزوتروپی (وجود خواص متفاوت در صورتی‌که در جهات مختلف اندازه‌گیری صورت گیرد) و تغییرات منطقه‌ای بوده و در هنگام کشیدگی، سفت و محکم می‌شوند (افزایش ضریب الاستیک با وارد آمدن فشار و اتساع بافتی).

همچنین خواص بیومکانیکی چشم تحت‌تأثیر عواملی از جمله سن فرد، طول محوری و ضخامت قرنیه بوده و این امر تفسیر CH را پیچیده‌تر می‌کند. گزارش شده که ضریب الاستیک بافت‌های چشم از جمله قرنیه و اسکلرا با افزایش سن فرد، افزایش می‌یابد. از سویی دیگر، در موارد نزدیک‌بینی فرد (میوپی)، ضریب الاستیک بافتی چشم پایین‌تر بوده و ریجیدیتی (خشکی و استحکام) کلی چشم کاهش می‌یابد. علی‌رغم آن که در بیماران دچار افزایش فشار چشم، پایین‌تر بودن ضخامت مرکزی قرنیه[1] (CCT) به‌عنوان یک ریسک فاکتور مشخص و واضح جهت ایجاد گلوکوم شناسایی شده است، تأثیر آن بر روی بیومکانیک چشم مشخص و روشن نیست. در مورد یک قرنیه طبیعی ضخیم‌تر انتظار ما این است که در هنگام applanation tonometry جهت تغییر شکل آن به نیروی بیش‌تری نیاز داشته باشیم، اما رابطه میان CCT و خطای اندازه‌گیری IOP چندان مشخص نمی‌باشد. علاوه بر این، هر چند که نازک شدن قرنیه ناشی از دهیدراتاسیون، سفتی قرنیه را افزایش می‌دهد؛ اما به نظر نمی‌رسد که ضریب الاستیک بافتی در چشم‌های نرمال با CCT ارتباطی داشته باشد. فارغ از این مباحث، در مطالعاتی که CH و گلوکوم را مورد بررسی قرار می‌دهند تأثیرات CCT و نیز سن فرد و طول محوری را باید در نظر داشت.

در مطالعات قبلی مشخص شده که تغییرات بیومکانیکی چشم با شدت گلوکوم همراه بوده‌اند. Midgett و همکاران به صورت ex vivo نشان دادند که پاسخ کششی ایجاد شده در لامینا کریبروزا ناشی از وارد آمدن فشار در چشم اجساد انسانی مبتلا به گلوکوم شدید، در مقایسه با چشم‌هایی که دارای گلوکوم خفیف‌تری بودند با توجه به از دست رفتن آکسون‌ها پایین‌تر بود و در هر دو نوع این چشم‌ها، نسبت به چشم‌های سالم پایین‌تر است. این امر ممکن است ناشی از بازسازی (remodeling) بافتی باشد که باعث می‌شود –حداقل در لامینا کریبروزا - با پیشرفت آسیب، سفتی بافت افزایش پیدا کند. در عوض، در چشم‌هایی که دارای بافت‌های سفت‌تری می‌باشند استعداد ابتلا به فرم شدیدتر بیماری احتمالاً بالاتر است.

1 . Central Corneal Thickness

جدول ۱. خلاصه‌ای از مطالعات بررسی شده در این مقاله

Authors	Year	Design	Industry Support	Evidence Level	Population Sample Size*							
					Normal	*OHT*	*POAG*	*PACG*	*PXS*	*PXG*	*NTG*	*NS*
Ayala[44]	2011	Case control	NR	II	30 (30)		30 (30)			30 (30)		
Cankaya et al[45]	2011	Cross-sectional	NR	II	102 (102)				64 (64)	78 (78)		
Congdon et al[46]	2006	Case series	NR	II			(131)†					(36)†
Estrela et al[47]	2020	Cohort	Yes	I			252 (126)					
Kaushik et al[48]	2012	Cross-sectional	No	I	71 (71)	38 (38)	36 (36)	59 (59)‡			18 (18)	
Medeiros et al[49]	2013	Cohort	Yes	I			114 (68)					
Narayanaswamy et al[50]	2011	Case control	No	I	150 (150)		162 (162)	131 (131)				
Pillunat et al[51]	2016	Cross-sectional	No	I	44 (44)	18 (18)	48 (48)				38 (38)	
Sun et al[52]	2009	Case series	No	II	40 (40)			40 (40)				
Susanna et al[53]	2019	Cohort	Yes	I			445 (327)					
Tejwani et al[54]	2016	Cross-sectional	No	I	59 (59)		83 (83)	57 (57)				
Yazgan et al[55]	2015	Case control	No	II	45 (45)				43 (43)	30 (30)		
Zhang et al[56]	2016	Cohort	Yes	I			186 (133)					

NS = not specified; NTG = normal-tension glaucoma; OHT = ocular hypertension; PACG = primary angle-closure glaucoma; POAG = primary open-angle glaucoma; PXG = pseudoexfoliative glaucoma; PXS = pseudoexfoliation syndrome.
*Sample sizes are shown as number of eyes, with number of subjects in parentheses.
†Number of eyes not specified.
‡Includes primary angle-closure (PAC) patients without glaucoma.

با توجه به پیچیدگی‌های موجود در بیومکانیک چشم، معرفی ویژگی‌های بافتی چشم با یک عدد خاص از جمله CH کار سخت و دشواری خواهد بود. در عین حال، کارایی بالینیِ اندازه‌گیری CH در بسیاری از مطالعات مورد اشاره قرار گرفته و در این مقاله نیز به آن توجه کرده‌ایم.

پرسش‌هایی جهت ارزشیابی

هدف از انجام این ارزشیابی، پاسخ به این سؤال است: آیا CH که با استفاده از ORA اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند به پزشکان در تشخیص گلوکوم و یا در مشخص‌کردن ریسک پیشرفت بیماری در مبتلایان قطعیِ گلوکوم کمک‌کننده باشد؟

توصیف شواهد

مقالات مندرج در پایگاه اطلاعاتی PubMed در طی جولای ۲۰۲۲ با استفاده از اصطلاحات «*cornel hysteresis*» و «*glaucoma*» مورد جستجو قرار گرفت. در این جستجو، ۴۲۳ چکیده شناسایی شد و مقالات مروری و غیر انگلیسی حذف گردید. متن کامل سایر مقالات توسط «Glaucoma Panel» بررسی شد و فقط مقالاتی که دارای این معیارها بودند، دسته‌چین شدند: (۱) مطالعاتی که در آن‌ها CH با استفاده از ORA اندازه‌گیری شده بود؛ (۲) مطالعاتی که قادر به افتراق میان مبتلایان به گلوکوم و افراد سالم بوده و یا قادر به تشخیص ریسک پیشرفت بیماری بودند؛ (۳) مطالعاتی که بکر و تازه بودند؛ و (۴) افراد مورد مطالعه بزرگسال و سن آن‌ها ۱۸ سال یا بالاتر بود.

۱۹ مقاله واجد شرایط فوق بوده و متدولوژیست مقاله (J.A.R) بر اساس معیار رتبه‌بندی‌ای که توسط مرکز طب مبتنی بر شواهدِ آکسفورد (Oxford Centre for Evidence-Based Medicine) تهیه شده و از سوی آکادمی چشم‌پزشکی آمریکا مورد قبول واقع شده بود، هر مطالعه را با توجه به سطح شواهد آن رتبه‌بندی نمود. رتبه‌بندی سطح یک متعلق به مطالعات cross-sectional بود که دارای استانداردهای ارجاعی ثابت و پایایی بودند؛ رتبه سطح دو به مطالعات آینده‌نگر نامتوالی و مطالعات آینده‌نگری که فاقد استانداردهای ارجاعی ثابت و پایا بوده، تعلق داشت؛ و سطح سه مربوط به مطالعات case report، case series ، case-control ، و مطالعات case-control و کوهورتی که کیفیت پایینی داشتند تعلق داشت. هشت مقاله در سطح یک و ۵ مقاله در سطح ۲ قرار داشتند. خلاصه‌ای از مقالات در جدول ۱ درج گردیده است. شش مقاله که در سطح ۳ قرار داشتند، حذف گردید.

نتایج منتشر شده

- تفاوت‌های موجود در CH مابین چشم‌های سالم و چشم‌های مبتلا به گلوکوم

در ۸ مقاله، مبتلایان به گلوکوم، موارد مشکوک به گلوکوم و افراد سالم مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول ۲). در دو مقاله دیگر، رابطه‌ای میان CH و پارامترهای اپتیک دیسکِ مربوط به گلوکوم در مطالعات جمعیت محور گزارش شدند؛ اما مبتلایان به گلوکوم مورد

جدول ۲. میانگین CH در جمعیت‌های مورد مطالعه

Authors	Mean Corneal Hysteresis (mmHg)						
	Normal	*OHT*	*POAG*	*PACG*	*PXS*	*PXG*	*NTG*
Ayala[44]	9.8 ± 1.6		9.0 ± 1.9			**8.0 ± 1.5**	
Cankaya et al[45]	9.4 ± 1.4				**8.5 ± 1.5**	**6.9 ± 2.1**	
Kaushik et al[48]	9.5 ± 1.4	9.2 ± 1.9	**7.9 ± 2.8**	9.3 ± 1.5*			**8.0 ± 1.6**
Narayanaswamy et al[50]	10.4 (10.1–10.6)†		**9.5 (9.2–9.5)**†	**9.1 (8.7–9.4)**†			
Pillunat et al[51]	9.9 ± 1.4	**10.2 ± 1.5**	**8.9 ± 1.4**				**9.0 ± 1.4**
Sun et al[52]	10.6 ± 1.4			**6.8 ± 2.1**			
Tejwani et al[54]	9.6 (9.4–10.4)‡		**7.7 (7.3–8.2)**‡	**8.2 (7.7–8.6)**‡			
Yazgan et al[55]	10.3 ± 1.4				**8.2 ± 1.4**	**6.8 ± 1.7**	

Values are mean ± standard deviation unless indicated. Values in bold are significantly different from normal controls.
NTG = normal-tension glaucoma; OHT = ocular hypertension; PACG = primary angle-closure glaucoma; POAG = primary open-angle glaucoma; PXG = pseudoexfoliative glaucoma; PXS = pseudoexfoliation syndrome.
*Includes PAC patients without glaucoma.
†Mean with 95% confidence interval (CI).
‡Median with 95% CI.

ارزیابی قرار نگرفتند. در این ۱۰ مقاله مطالعات انجام شده در نقاط مختلفی از سراسر دنیا معرفی شده و برخی از آن‌ها، اشکال و انواع متعددی از گلوکوم را گزارش کرده بودند. تمامی این مطالعات از نوع cross-sectional بوده و در بسیاری از آن‌ها در زمان اندازه‌گیری CH، بیماران مبتلا به گلوکوم تحت درمان با داروهای موضعی کاهش‌دهنده فشار چشم قرار داشتند. این مسئله منجر به ایجاد نتایج بالقوه گیج‌کننده و درهم و برهمی می‌شود چرا که استفاده از درمان‌های دارویی گلوکوم ممکن است بر بیومکانیک چشم تأثیراتی به جا گذارد. آنالوگ‌های پروستاگلاندینی (PGAs) به شکل ویژه‌ای می‌توانند فعالیت متالوپروتئینازهای ماتریکس را افزایش داده (upregulate) و میزان کلاژن نوع III، I و IV را در اسکلرا کاهش دهند. همچنین گزارش شده که استفاده از PGA به‌صورت ex vivo، باعث شده تا در قرنیه‌ها تغییرات بیومکانیکی رخ دهد و در نتیجه میزان سفتی قرنیه کاهش پیدا کند. در سایر مطالعات بیمارانی که درمانی را دریافت نکرده بودند، مورد بررسی قرار گرفتند؛ اما ویژگی‌های بیومکانیکی چشم بر اساس IOP متغیر بوده و لذا مقایسه CH در گروه‌های دارای فشارهای داخل چشمی متفاوت و گوناگون ممکن است سخت و دشوار باشد (جدول ۳). طرح و شکل مطالعات بررسی شده در این گزارش، یکسان و یک‌شکل نبوده و دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود می‌باشد.

- **گلوکوم زاویه باز اولیه**[1]. در ۵ مقاله، مطالعاتی مربوط به جمعیت‌های نژادی و جغرافیایی مختلف و متنوع ذکر گردیده که در آن، مبتلایان به POAG با یک گروه کنترل سالم مقایسه شده بود. در چهار مورد از این پنج مطالعه، شواهد موجود در سطح I بود(جدول ۱). در ۴ مورد از این مطالعات این نکته یافت شد که در مبتلایان به POAG در مقایسه با کنترل‌های سالم مقدار CH پایین‌تر بوده هر چند که در یکی از همین چهار مطالعه مشخص شد که پس از کنترل سازی از نظر سن و IOP، هیچ تفاوتی وجود نداشته و در مطالعه پنجم هیچ تفاوتی یافت نشد.

در یک مطالعه cross-sectional که بر روی بیماران چینی در سنگاپور انجام شده بود، Narayanaswamy و همکاران، بیماران دچار POAG، بیماران دچار PACG[2] و کنترل‌های سالم را با یکدیگر مقایسه کردند. آن‌ها متوجه شدند که CH در مبتلایان به گلوکوم زاویه باز (POAG 9/5 mmHg, 95%CI, 9/2-9/5 mmHg, n=162 در مقایسه با افراد سالم {گروه کنترل} (10/4mmHg, 95%CI, 10/1-10/6 mmHg, n=150, $P<0/001$) پایین‌تر بود. با این وجود پس از آن که از نظر تأثیر سن و IOP-که در کنترل‌های سالم پایین‌تر از گروه POAG بود-تصحیح و تعدیل انجام شد، تفاوت CH میان دو گروه از نظر آماری قابل ملاحظه و معنادار نبود (9/6,CH در مقایسه با 10/1mmHg به ترتیب برای POAG و کنترل‌ها؛ $P=0/06$). در عین حال بیمارانی که تحت درمان با داروهای کاهش‌دهنده IOP بودند، در این مطالعه گنجانده شده بودند و همان گونه که قبلاً ذکر شد، این مسئله در این افراد ممکن است بر اندازه‌گیری‌های CH تأثیراتی داشته باشد.

Pillunat و همکاران یک مطالعه مشاهده‌ای از نوع cross-sectional را انجام دادند که در آن، بیماران گلوکوم‌هایی با فشار بالا و فشار پایین، افرادی که دچار فشار بالای چشمی بودند و کنترل‌های سالم - که از نظر سنی متناسب‌سازی شده بودند - در درسدن آلمان با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. آن‌ها با شناسایی فاکتورهای بالقوه مختل‌کننده‌ای که بر اندازه‌گیری‌های بیومکانیک چشمی

1 . POAG: Primary Open-Angle Glaucoma

2 . Primary Angle-Closure Glaucoma

جدول ۳. میانگین IOP (mmHg) در جمعیت‌های مورد مطالعه

Authors	Mean Intraocular Pressure (mmHg)							Statistical Significance Reported
	Normal	*OHT*	*POAG*	*PACG*	*PXS*	*PXG*	*NTG*	
Ayala[44]	15.4 ± 3.6		16.4 ± 4.6*			17.5 ± 5.6*		N
Cankaya et al[45]	15.9 ± 2.9				15.8 ± 3.0*	16.3 ± 4.1*		Y
Kaushik et al[48]	13.7 ± 2.4	**22.2 ± 3.5**	**23.6 ± 12.4**	16.2 ± 3.9†			14.6 ± 4.5	Y
Narayanaswamy et al[50]	14.4 ± 2.7		**14.9 ± 3.9***	**16.5 ± 4.4***				Y
Pillunat et al[51]	15.5 ± 3.2	22.3 ± 6.2*	14.7 ± 5.1*				13.2 ± 3.7*	N
Sun et al[52]	11.0 ± 3.4			**31.6 ± 10.5**				Y
Tejwani et al[54]	14 (13.0–15.0)‡		**15 (14.0–16.0)*,‡**	**16 (14.5–18.0)*,‡**				Y
Yazgan et al[55]	15.2 ± 3.2				13.4 ± 3.1	**15.7 ± 4.0***		Y

Values in bold are significantly different from normal controls.
NTG = normal-tension glaucoma; OHT = ocular hypertension; PACG = primary angle-closure glaucoma; POAG = primary open-angle glaucoma; PXG = pseudoexfoliative glaucoma; PXS = pseudoexfoliation syndrome.
*Medically treated.
†Includes PAC patients without glaucoma.
‡Median with 95% CI.

تأثیرگذار می‌باشد، CH را از نظر سن، طول محوری، CCT و IOP متناسب‌سازی نمودند. در مطالعه آن‌ها مشخص شد که میزان اصلاح شده CH در «گلوکوم فشار بالا» به میزان قابل‌ملاحظه‌ای پایین‌تر (چشم n=48 ،94±1/41mmHg/) از کنترل‌های هم سن (P=0/005، چشم n=44؛9/86±1/42mmHg) بود. بیماران گلوکومی با فشار بالا که در این مطالعه شرکت داشتند، تحت درمان قرار گرفتند؛ ولی نویسندگان این نکته را ذکر کردند که در این مطالعه مقدار و نوع داروهای کاهش‌دهنده فشار بر میزان CH تأثیری نگذاشته بود.

در یک مطالعه cross-sectional که توسط Tejwani و همکاران در Bangalore انجام گرفت، CH در مبتلایان به PACG، POAG و چشم‌های سالم با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. در مورد کوهورتِ POAG، ۸۳ بیمار وجود داشت و با ۵۹ کنترلی که از نظر سن و CCT متناسب‌سازی شده بودند، مقایسه شدند و از هر بیمار، یک چشم جهت انجام مطالعه به صورت تصادفی انتخاب گردید. مشخص شد که مقدار میانه CH(median CH) در کوهورت POAG (7/7 mmHg,95%CI,7/3-8/2 mmHg)، پایین‌تر (P<0/0001) از کنترل‌های سالم (9/6 mmHg,95%CI,9/4-10/4 mmHg) بود. در عین حال، دو مخدوش‌کننده مهم بالقوه وجود داشت که میان گروه‌ها، تطابق داده نشده بود. اولاً مقدار میانه GAT IOP[1]، در کوهورت POAG (15 mmHg,95%CI,14-16 mmHg) بالاتر (P=0/002) از کنترل‌های سالم (14 mmHg,95%CI,13-15 mmHg) بود. ثانیاً تمامی مبتلایان به POAG تحت درمان با دارو قرار داشتند و اکثریت آن‌ها (80%) ترکیبی از یک PGA و یک بتا-بلاکر را مصرف می‌کردند.

در یک مطالعه cross-sectional که توسط Kaushik و همکاران در Chandigarh در هندوستان انجام شد، از طریق مقایسه مبتلایان به POAG (که هیچ درمانی نگرفته بودند)، مبتلایان به PAC[2]، مبتلایان به گلوکوم با فشار نرمال (NTG[3]) و کنترل‌های سالم، مسئله تأثیرات درمان‌های دارویی بر روی CH به کنار گذاشته و به نوعی این امر دور زده شد. علاوه بر این بیمارانی که سابقه جراحی قبلی داخل چشمی یا لیزر داشتند از مطالعه حذف شدند. مطالعه آن‌ها نشان داد که CH به شکل چشم‌گیر و معناداری در مبتلایان به POAG (7/9±2/8 mmHg, n=36) پایین‌تر از کنترل‌های سالم (9/5±1/4 mmHg, n=71,P=0/034) بود. در عین حال، از آنجاکه بیماران تحت هیچ درمانی قرار نگرفته بودند، IOP به میزان چشم‌گیری در گروه POAG (23/6±12/4 mmHg) در مقایسه با کنترل‌های سالم (13/7±2/4 mmHg) بالاتر بود که امر احتمالاً بر نتایج به دست آمده تأثیرگذار بود. علاوه بر این، در این مطالعه این نکته نیز ذکر شد که IOP به میزان چشم‌گیر و معناداری با CH مرتبط بود (P <0/001).

در یک مطالعه گذشته‌نگر و cross-sectional که توسط Ayala در استکهلم سوئد انجام شد، CH در مبتلایان به گلوکوم پسودواکسفولیاتیو، مبتلایان به POAG و کنترل‌های سالم-که از نظر سنی نیز همسان‌سازی شده بودند - با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. برخلاف ۴ مطالعه دیگر، هیچ اختلاف معناداری در CH در میان مبتلایان به POAG (9±1/9mmHg,n=30) و افراد سالم (9/8±1/6 mmHg,n=30,P=0/23) مشاهده نگردید. با این وجود، IOP در گروه POAG (16/4±4/6 mmHg) با کنترل‌های سالم (15/4±3/6 mmHg) نیز مشابه بود و گروه POAG تحت درمان با

1 . Goldman Applanation Tonometry

2 . Primary Angle-Closure

3 . Normal-Tension Glaucoma

داروهای موضعی گلوکوم قرار گرفته بودند.

- **گلوکوم زاویه بسته اولیه.** در ۴ مقاله، مطالعاتی ذکر شده بودند کـــه در آن‌ها CH در مبتلایان به PACG و کنترل‌های ســـالم با یکدیگر مورد مقایســـه قرار گرفته بود. در ســـه مورد از این چهار مطالعه، شـــواهد ارائه شده در سطح I قرار داشتند(جدول ۱). در ســـه مورد دیگر از این مقالات زیرگروه‌هـــای متعددی از گلوکوم معرفی شـــده بودند و در قسمت قبلی که مربوط به POAG بود، این موارد شرح داده شـــد. در مقایسه‌هایی که میان مبتلایان به PACG و افـــراد نرمال صورت‌گرفته اســـت، نقاط ضعف و عوامل مخدوش‌کننـــده مرتبـــط با ســـطوح مختلف IOP بیـــن گروه‌ها و تأثیـــرات بالقوه داروهـــای موضعی هایپوتنســـیو بر روی CH، همچنان به قوت خود باقی اســـت. در ســـه مورد از چهار مطالعه موجود گزارش شـــد که CH در بیماران مبتلا به PACG پایین‌تر از کنترل‌های ســـالم بوده و این در حالی بود که در یک مطالعه، هیچ‌گونه تفاوت آماری معنادار و چشم‌گیری مشاهده نشد.

در یـــک مطالعه آینده‌نگر از نـــوع case-series که در Wenzhou در چین انجام شـــد، Sun و همکاران CH را در ۴۰ بیماری که اخیراً PACG یک‌طرفه در آن‌ها تشخیص‌داده شده بود، اندازه‌گیری نمودند و با مقادیر مربوط به چشم‌های سالم طرف مقابل و نیز با کنترل‌های سالم مقایسه کردند. آن‌ها گزارش دادند که CH در چشم‌های درگیر بیماری (6/83±2/08 mmHg)، در مقایســـه با چشم‌های طرف مقابل (10/59±1/38 mmHg) یا کنترل‌های ســـالم (10/55±1/41 mmHg,) (P <0/001) به‌صـــورت معناداری پایین‌تر بـــود. با این وجود، IOP در چشـــم‌های دچار بیمـــاری (31/55±10/48 mmHg) در مقایســـه با چشم‌های ســـمت مقابل (12/03±4/17 mmHg) یا کنترل‌های سالم (11/01±3/36 mmHg, P <0/001) به صورت معناداری نیز بالاتر بود. همچنین آن‌هـــا یک ارتباط معنادار و چشـــم‌گیر بین مقادیر پایه‌ایِ IOP و CH(r=-0/67,P <0/001) را ذکـــر کردنـــد؛ اما پس از آن که IOP از طریق مصرف دارو و ترابکولکتومی کاهش پیدا کرد، این رابطه مشـــاهده نگردید. CH در چشـــم‌های PACG پس از درمان افزایش یافت (9/5±1/66 mmHg) اما همچنان در مقایسه با چشم‌های سمت مقابل یا کنترل‌های سالم پایین‌تر بود (P=0/001).

Narayanaswamy و همکاران مطالعه‌ای را بر روی بیماران چینی در ســـنگاپور انجـــام دادند و گزارش کردند کـــه CH در مبتلایان به PACG که تحت درمان دارویی قرار گرفته بودند (95% CI, 8/7-9/4 mmHg, n=131,9/1)، پایین‌تر از کنترل‌های ســـالم (10/4 mmHg 95%CI, 10/1-10/6 mmHg n=150,P <0/001) بـــود. پس از آن که از نظر تأثیر IOP و ســـن افراد، متناسب‌سازی و تصحیح انجام گرفت، یک اختلاف آماری معناداری در CH، بین مبتلایان به PACG (9/4 mmHg, 95%CI, 9/1-9/7 mmHg) و کنترل‌های سالم وجود داشت (CH 10/1 mmHg,95% CI,9/8-10/4,P=0/006).

Tejwani و همـــکاران در مطالعـــه‌ای cross-sectional کـــه در Bangalore در هندوســـتان انجام دادند، ۵۷ بیمار مبتلا به PACG را با ۵۹ کنترلی که از نظر سنی و CCT متناسب‌سازی شده بودند مورد مقایســـه قرار دادند. در این مطالعه، از هر بیمار یک چشم به صورت تصادفی انتخاب شـــد. مشاهده شد که مقدار میانه CH (median) در کوهـــورتِ PACG (8/2 mmHg,95% CI,7/7-8/6 mmHg) پایین‌تر از (9/6 mmHg,95% CI,9/4-10/4 mmHg). در عیـــن حال، مقدار میانه IOP در کوهورت PACG (16 mmHg, 95% CI, 14/5-18 mmHg) بالاتـــر از (P=0/002) کنترل‌های سالم بود (14mmHg, 95% CI, 13-15 mmHg). تمامی بیمـــاران PACG مانند کوهورت POAG، تحـــت درمان دارویی قرار داشـــتند و اکثریت آن‌ها (5/91%) با ترکیبـــی از PGA و قطره‌های بتا-بلاکر موضعی درمان می‌شدند.

Kaushik و همکاران برخلاف سه مطالعه دیگر، در مطالعه خود که در Chandigarh هندوستان انجام شد، تفاوتی را میان بیمارانِ دارای زاویه بسته و کنترل‌ها مشاهده نکردند. در عین حال، در مطالعه آن‌ها بیمـــاران دارای PAC بدون گلوکوم و بیماران PACG در یک گروهی تحت عنوان «بیماری اولیه زاویه بسته» [1] (PACD) طبقه‌بندی شدند. هیچ تفاوتی در CH مابین مبتلایـــان به PACD (9/3±1/5 mmHg; n=59) و افراد نرمال مشـــاهده نگردیـــد (9/5±1/4 mmHg; n=71). نکتـــه جالب‌توجه این که بیماران دچـــار PACD، درمانی را دریافت نکرده بودند و IOP در گروه PACG (16/2±3/9 mmHg) در مقایسه با کنترل‌های ســـالم (13/7±2/4 mmHg) بالاتر بود. علی‌رغم اختلاف در IOP و وجود رابطه‌ای میان CH و IOP در این مطالعه، تفاوتی در CH مابین گروه‌های PACD و کنترل‌های سالم یافت نگردید.

- **Pseudoexfoliative (Exfoliative) glaucoma :** در ســـه مقالـــه، مطالعاتی ارائه گردید کـــه در آن‌هـــا، Pseudoexfoliation Syndrome یـــا گلوکومِ Pseudoexfoliative و کنترل‌های ســـالم با یکدیگر مورد مقایســـه قرار گرفته و شواهد موجود در هر سه مطالعه، در ســـطح II بودند (جـــدول ۱). در هر ۳ مطالعـــه، CH در گلوکومِ Pseudoexfoliative در مقایسه با کنترل‌های سالم پایین‌تر بود.

در بیماران مبتلا به Pseudoexfoliation Syndrome که شواهدی از گلوکوم در آن‌ها وجود نداشـــت، CH بالاتر از بیماران دچار گلوکومِ Pseudoexfoliative بـــود اما CH در آن‌هـــا پایین‌تر از کنترل‌هایِ ســـالم بود. در اینجا هم مانند سایر مطالعات انجام شده بر روی انواع مختلف گلوکوم، نتایج به دست‌آمده تحت تأثیر اختلاف موجود میان گروه‌ها از نظر IOP و نیز اســـتفاده از داروهای موضعی کاهش‌دهنده فشار مخدوش بود.

در یک مطالعه cross-sectional که توســـط Ayala در استکهلم ســـوئد انجام شد، مشاهده شـــد که CH در بیماران مبتلا به گلوکوم

1 . Primary Angle-Closure Disease

(8±1/5 mmHg, n=30) Pseudoexfoliative در مقایسه با کنترل‌های سالم (9/8±1/6 mmHg; n=30,*P*=0/0001) یا مبتلایان به POAG (9±1/9 mmHg; *P*=0/042) پایین‌تر بود. مشخص نیست که آیا IOP در گروه گلوکوم (17/5±5/6 mmHg) Pseudoexfoliative در مقایسه با کنترل‌های سالم (15/4±3/6 mmHg) یا مبتلایان به POAG (16/4±4/6 mmHg) متفاوت بود یا نه، چرا که اهمیت آماری این تفاوت‌ها گزارش نشده بود. بیماران مبتلا به گلوکوم Pseudoexfoliative درمان‌های کاهش‌دهنده IOP را دریافت کرده بودند.

Cankaya و همکاران در یک مطالعه cross-sectional که در آنکارای ترکیه انجام دادند، CH را در بیماران مبتلا به گلوکوم Pseudoexfoliation syndrome، Pseudoexfoliative و کنترل‌های سالم با یکدیگر مقایسه نمودند ضمناً این افراد همگی از نظر جنس و سن متناسب‌سازی شده بودند. آن‌ها متوجه شدند که CH در گروه مبتلا به گلوکوم Pseudoexfoliative در پایین‌ترین اندازه بود (6/9±2/1 mmHg; n=78)، در گروه Pseudoexfoliation syndrome بالاتر بود (8/5±1/5 mmHg; n=64) و در کنترل‌های سالم در بالاترین مقدار بود (9/4±1/4 mmHg; n=102). اختلاف موجود میان هر گروه از نظر آماری معنادار بود (*P* <0/001). در مورد GAT IOP هیچ تفاوت آماری معناداری بین گروه‌ها یافت نگردید (*P* ≥0/1). بیماران مبتلا به گلوکوم در این مطالعه (ازجمله ۲۷ نفر از ۷۸ نفر که داروهای PGA مصرف می‌کردند)، تحت درمان دارویی قرار داشتند.

Yazgan و همکاران یک مطالعه case-control را در مالاتیای ترکیه انجام دادند و بیماران دچار گلوکوم از نوع Pseudoexfoliative را با مبتلایان به Pseudoexfoliation syndrome و کنترل‌های سالم با یکدیگر مقایسه کردند. آن‌ها متوجه شدند که CH در گروه کنترل در بالاترین مقدار بود (10/3±1/5 mmHg; n=45) و در ردیف بعدی Pseudoexfoliation syndrome (8/2±1/4 mmHg; n=43) قرار داشت و سپس گلوکوم Pseudoexfoliative (6/8±1/7 mmHg; n=30) و تمامی مقایسه‌ها از نظر آماری معنادار بودند (*P* <0/001). در عین حال چند عامل بالقوه مخدوش‌کننده وجود داشت که کنترل نشده بودند. اولاً، یک اختلاف معنادار آماری (*P*<0/05 برای تمامی مقایسه‌ها) در مورد CCT در میان تمامی گروه‌ها وجود داشت به این صورت که گروه کنترل دارای بالاترین مقدار بوده (546/3±28 µm) و در ردیف بعدی Pseudoexfoliation syndrome (525/5±35 µm) و سپس گلوکوم Pseudoexfoliation (509±36 µm). ثانیاً هر سه بیماری که در گروه گلوکوم Pseudoexfoliative قرار داشته و به تازگی شناسایی شده بودند، تحت درمان دارویی قرار داشتند و ۱۷ نفر از ۲۷ بیمار باقی‌مانده، از PGA به صورت منوتراپی یا در ترکیب با سایر داروها استفاده می‌کردند. ثالثاً IOP در گروه Pseudoexfoliation syndrome (13/4±3/1 mmHg; *P* <0/001) پایین‌تر از گروه کنترل (15/2±3/2 mmHg) و یا گروه گلوکوم Pseudoexfoliation (15/7±4 mmHg) بود. CCT، قطره‌های چشمی موضعی PGA و IOP همگی با تغییراتی در CH همراه بوده‌اند؛ اما اثرات ایجاد شده هنوز دقیقاً مشخص و شناخته شده نمی‌باشد.

NTG(Normal-Tension Glaucoma): در دو مقاله بیماران مبتلا به NTG با کنترل‌های سالم مقایسه شدند و شواهد ارائه شده در هر دو مطالعه در سطح I قرار داشتند (جدول ۱). این گروه از بیماران به نحو خاصی جالب توجه هستند؛ زیرا بیماران درمان نشده مبتلا به NTG را می‌توان از نظر IOP با کنترل‌های سالم متناسب‌سازی نمود و از این طریق بالقوه خواهیم توانست دو پارامتر کلیدی مخدوش‌کننده در امر ارزیابی CH میان جمعیت‌های مختلف را حذف کنیم: IOP و داروهای موضعی کاهش‌دهنده فشار. در هر دو مطالعه مشاهده شد که CH در بیماران NTG در مقایسه با افراد نرمال پایین‌تر می‌باشد.

در مطالعه‌ای که توسط Pillunat و همکاران در درسدن آلمان انجام شد، بیماران NTG به این صورت تعریف شدند: مبتلایان به گلوکوم زاویه باز با سابقه‌ای از IOP≤21 mmHg که درمان نشده است. این بیماران با کنترل‌های سالم مورد مقایسه قرار گرفتند. در CH از نظر سن، طول محوری و CCT تغییراتی صورت گرفت و IOP در مبتلایان به NTG (چشم 8/99±1/40 mmHg؛ n=38) به میزان قابل‌ملاحظه‌ای پایین‌تر از کنترل‌ها (*P*=0/005؛ چشم 9/86±1/42 mmHg؛ n=44) بود. هیچ تفاوتی از نظر adjusted CH، بین بیماران NTG و POAG وجود نداشت (*P*=0/978). در عین حال، هم بیماران NTG و هم مبتلایان به POAG هم‌زمان تحت درمان دارویی جهت گلوکوم قرار داشتند و این احتمال که داروهای موضعی ممکن است بر خواص بیومکانیکی چشم تأثیراتی را به جا گذاشته باشد همچنان باقی خواهد بود.

Kaushik و همکاران در یک مطالعه cross-sectional که در Chandigarh هندوستان انجام شد، مقایسه‌ای را میان بیماران NTG که درمان نشده بودند با کنترل‌های سالم انجام دادند. آن‌ها متوجه شدند که CH در بیماران NTG (8±1/6 mmHg; n=18) در مقایسه با افراد سالم (9/5±1/4 mmHg; n=71,*P*=0/030) پایین‌تر بود. فشار داخل چشمی در گروه NTG (14/6±4/5 mmHg) با کنترل‌های سالم (13/7±2/4 mmHg) شبیه بود، اما هیچ مقایسه آماری در مورد میانگین IOP در این گروه ارائه نشده بود.

افزایش فشار داخل چشمی (Ocular Hypertension :OHT):

در دو مورد از مقالات مورد بررسی، بیماران OHT با کنترل‌های سالم مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج متضادی به دست آمد.

در یک مطالعه cross-sectional که توسط Pillunat و همکاران انجام شد، بیماران OHT (که افرادی تعریف می‌شدند که حداقل

در دو نوبت، IOP بالاتر از ۲۱ mmHg داشتند) با کنترل‌های سالم مقایسه گردیدند. در CH از نظر سن، طول محوری و CCT تغییرات و تنظیماتی صورت گرفت و IOP در بیماران OHT (چشم 10/18±1/53 mmHg; n=18) بالاتر از کنترل‌های (P=0/003؛ چشم 9/86±1/42 mmHg n=44؛) بود.

Kaushik و همکاران در یک مطالعه cross-sectional، OHT را این‌گونه تعریف کردند: IOP بین ۲۲ و 31mmHg در حداقل دو اندازه‌گیری متوالی با فاصله دو هفته در تقریباً همان نقطه زمانی از روز و در کنار آن زوایا باز بوده و دیسک اپتیک نرمال باشد. آن‌ها بین بیماران (9/2±1/9 mmHg; n=38) OHT و افراد نرمال از نظر CH اختلافی مشاهده نکردند (9/5±1/4 mmHg; n=71; P >0/05). در عین حال، IOP در گروه (22/2±3/5 mmHg) OHT در مقایسه با گروه کنترل‌های سالم (13/7±2/4 mmHg; P <0/001) بالاتر بود و این امر به صورت بالقوه‌ای نتایج به دست‌آمده را مخدوش می‌کند.

CH – و ریسک ایجاد یا پیشرفت گلوکوم

در پنج مقاله، همراهی میان CH و ریسک پیشرفت بیماری در بیمارانی که در آن‌ها گلوکوم تشخیص‌داده شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. شواهد موجود در ۴ عدد از این ۵ مقاله، در سطح I قرار داشتند (جدول ۱). در تمامی این پنج مطالعه بیماران مبتلا به گلوکوم زاویه باز مورد ارزیابی قرار گرفتند. در چهار مقاله پیشرفت گلوکوم بر اساس تغییرات رخ داده در میدان بینایی فرد با استفاده از پریمتری خودکار مشخص می‌گردید در حالی‌که در یک مطالعه پیشرفت بیماری بر اساس تغییرات ساختمانی خاصی که از طریق OCT اندازه‌گیری شد، مشخص می‌شد. در هر ۵ مقاله، همراهی میان پایین‌تر بودن CH و افزایش ریسک یا افزایش سرعت پیشرفت گلوکوم گزارش گردید.

Medeiros و همکاران در یک مطالعه آینده‌نگر طولی کوهورت که بر روی بیماران مبتلا به گلوکوم زاویه باز در سن دیگو- کالیفرنیا انجام شد، کارایی CH به عنوان یک عامل پیش‌بینی‌کننده جهت سرعت پیشرفت میدان بینایی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، ۱۱۴ چشم متعلق به ۶۸ بیمار با فواصل ۶ ماهه مورد پی‌گیری قرار گرفتند و در هر ویزیت، پریمتری استاندارد خودکار با استفاده از الگوریتم SITA Standard ۲۴-۲ انجام شد. جهت بررسی نقش عوامل پیش‌بینی‌کننده احتمالی در پیشرفت میدان بینایی از جمله نژاد فرد، سن پایه فرد، میزان CH پایه، CCT، baseline IOP-GAT و طول محوری یک مدل خطی مخلوط مورداستفاده قرار گرفت. به طور متوسط بیماران به مدت ۱/۴±۱ سال (دامنه: ۶/۵-۲ سال) پیگیری شدند و میانه (median) تست‌های میدان بینایی، برابر با ۷ تست (دامنه: ۱۲-۵) بود. این نکته مشاهده شد که CH، به صورت چشم‌گیر و معناداری با سرعت پیشرفت میدان بینایی به صورت یک مدل تک متغیری همراهی داشت و به ازای هر یک میلی‌متر جیوه کاهش CH در سال، سرعت کاهش اندکس میدان بینایی، ۰/۲۵ درصد بیش‌تر می‌بود (P<0/001). در مدل چند متغیری، سرعت پیشرفت میدان بینایی به صورت قابل‌ملاحظه و معناداری با IOP و CH(P<0/001) (P=0/001) همراهی داشت؛ ولی با نژاد فرد، سن پایه فرد، CCT یا طول محوری ارتباطی نداشت.

Zhang و همکاران یک مطالعه آینده‌نگر طولی کوهورت را در سن دیگو- کالیفرنیا نیز انجام دادند و رابطه میان CH و سرعت‌کاهش RNFL(Retinal Nerve Fiber Layer) را که با استفاده از S-D OCT در بیماران مبتلا به گلوکوم زاویه باز اندازه‌گیری شده بود، مورد بررسی قرار دادند. جهت ارزیابی نقش و تأثیر IOP، CCT، CH و ویژگی‌های دموگرافیکی بر روی سرعت‌کاهش RNFL در طی دوره Follow-up، از مدل‌های Random-coefficient (تصادفی-ضریب) با مرزها و برخوردگاه‌های تصادفی (random intercepts) و شیب‌های تصادفی (random slopes) استفاده گردید. در این مطالعه، ۱۸۶ چشم متعلق به ۱۳۳ بیمار به طور متوسط به مدت ۳/۸±۸/۰ سال مورد پیگیری قرار گرفتند و در طی این دوره پی‌گیری، مقدار میانه تست‌های S-D OCT برابر با ۹ عدد (دامنه:۱۸-۴) بود. در آنالیز تک‌متغیره، مشاهده شد که به ازای هر یک میلی‌متر جیوه‌ای که مقدار baseline CH پایین‌تر بود، مقدار کاهش RNFL در سال، ۱۳/۰ µm اضافه می‌شد (P=0/011). در یک مدل چندمتغیری پایین‌تر بودن CH و بالاتر بودن IOP با افزایش سرعت از بین رفتن RNFL همراه بود؛ اما در مورد افزایش سن فرد، تبار آمریکایی - آفریقایی و CCT این همراهی مشاهده نگردید.

Congdon و همکاران یک مطالعه آینده‌نگر و case-series را در بالتیمور مریلند انجام دادند و در آن، همراهی میان CH و CCT با پیشرفت گلوکوم را در بیماران مبتلا به POAG و مشکوک به POAG مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه ۲۳۰ نفر شرکت داشتند که ۱۷۲ نفر از آن‌ها داروهای موضعی کاهش‌دهنده فشار استفاده می‌کردند یا اینکه قبلاً به علت گلوکوم تحت عمل جراحی incisional یا لیزر قرار گرفته بودند. برای مشخص‌کردن و شناسایی فاکتورهای مرتبط با پیشرفت میدان بینایی که از معیارهای مندرج در «The Ocular Hypertension Treatment Study» نیز تبعیت نماید از مدل‌های معادلات چندمتغیری و تخمین‌زدنی تعمیم یافته استفاده گردید. این فاکتورها عبارت بودند از: پایین‌تر بودن CH (odds ratio: ۰/۸۱ به ازای هر یک میلی‌متر جیوه بالاتر؛P=0/03) و نیز افزایش سن فرد و درمان گلوکوم. CCT در این مجموعه از فاکتورها قرار نداشت. با این وجود، هنگامی که در مدل از طول محوری استفاده گردید، دیگر همراهی چشم‌گیر و معناداری میان CH و پیشرفت بیماری مشاهده نشد (odds ratio 83/0؛P=0/09) اما در مورد طول محوری به شکل چشم‌گیر و معناداری همراهی مشاهده شد (P=0/009).

Susanna و همکاران در یک مطالعه کوهورت طولی که در شـــهر دورهام در کارولینای شمالی انجام شده بود، نقش CH را در پیشرفت بیماری در بیمارانی که IOP در آن‌ها به خوبی کنترل شده بود، مورد بررســـی قرار دارند. طبق تعریف، این بیماران افرادی بودند که تمامی اندازه‌گیری‌هـــا در آن‌ها از ۱۸ mmHg تجاوز نمی‌کرد. در این مطالعه ۴۴۵ چشـــم مربوط به ۳۳۴ بیمار مورد بررسی قرار گرفت که از میان آن‌هـــا، در ۱۷۹ مورد IOP با درمان دارویی به نحو مناســـبی کنترل شده بود. در میان چشم‌هایی که IOP در آن‌ها به خوبی کنترل شده بود، در ۴۲ مورد (5/23%) پیشـــرفت میدان بینایی وجود داشـــت و در ۱۳۷ چشـــم (5/76%) در طی دوره پیگیری (۰/۹ ± ۴/۱ ســـال) تغییری مشاهده نشد و وضعیت آن‌ها پایدار باقی ماند. در چشم‌هایی که پیشـــرفت داشتند، مشاهده شـــد که مقدار پایه‌ای CH (8/6±1/3 mmHg) پایین‌تر از چشـــم‌های با وضعیـــت پایدار (4±1/6 mmHg; P=0/014) بوده است. علاوه بر این، چشم‌هایی که پیشرفت داشتند، دارای CCT نازک‌تری (515/1±33/1 µm) در مقایســـه با چشم‌های ثابـــت (531/1±42/4 µm; P=0/018) نیز بودند، اما هیچ‌گونه اختلاف قابل ملاحظه‌ای از نظر ســـن، جنس، نژاد، میانگین انحراف پایه، قلهٔ IOP (peak IOP)، میانگیـــن IOP یـــا نوســـانات IOP (که به‌صورت انحراف معیارِ میانگین اندازه‌گیری‌های IOP در خلال دوره Follow-up تعریف می‌شـــد)، تعـــداد داروهای کاهش‌دهنده IOP و ســـابقه جراحی‌های لیزری یا جراحی‌های گلوکوم وجود نداشـــت. مدل‌های چندمتغیـــری نشـــان‌دهنده آن بود که پایین بـــودن CH، به صورت چشم‌گیر و معناداری با پیشرفت گلوکوم همراهی داشت و به ازای هر یک واحد کاهش انحراف معیار (۵/۱ mmHg) ریســـک کاهش میدان بینایی بیمار ۶۵ درصد افزایش می‌یافت.

Estrela و همـــکاران مطالعه کوهورت طولی دیگری را در دورهام کارولینای شمالی انجام دادند و نقش عدم تقارن CH را در سرعت‌های غیرمتقارن پیشرفت میدان بینایی مورد بررسی قرار دادند. گروه تحت مطالعه، شامل ۱۲۶ بیمار مبتلا به POAG بود که به طور میانگین به مدت ۰/۸ ± ۴/۳ سال مورد پی‌گیری و پایش قرار گرفتند. آسیمتری در CH، ســـرعت تغییر میدان بینایی، CCT،IOP و میانگین انحراف پایه محاســـبه گردید و روابط موجود میان این متغیرها مورد ارزیابی قرار گرفت. فقط آســـیمتری CH با آسیمتری ســـرعت تغییرِ میدان بینایی مرتبط بود. علی‌رغم آن که قدرت و توان این همراهی ضعیف بـــود (r=0/22;P=0/01)، به ازای هر یـــک میلی‌متر جیوه افزایش در آسیمتری CH، آســـیمتری سرعت تغییر میدان بینایی در حدود ۳۴ درصد افزایش می‌یافت.

نتیجه‌گیری

CH یک پارامتر کلینیکی جدید و تازه است که نشان‌دهنده پاسخ بافت چشمی به فشرده شدن - توسط تونومتری که با جریان هوا کار می‌کند - و سپس رها شدن می‌باشد. هر چند تفسیر این اندازه‌گیری پیچیده بـــوده و تحت‌تأثیر عوامل متعددی از جمله الاستیســـیتی و ویسکوزیته می‌باشـــد، اما به نظر می‌رسد که CH، اطلاعات اضافه‌ای را بـــه ما ارائه می‌دهد که می‌تواند جهت ارزیابی کلینیکی مبتلایان به گلوکوم و موارد مشکوک به گلوکوم سودمند و مفید باشد.

CH در مبتلایان به گلوکوم عموماً پایین‌تر از افراد سالم یا بیمارانِ OHT می‌باشد و به نظر می‌رسد که در گروهی از بیماران مبتلا به گلوکوم که دارای CH پایین‌تری می‌باشـــند، ریســـک پیشرفت بیماری بالاتر می‌باشـــد. در عین حال، تفســـیر اندازه‌گیری‌هـــای CH در هر بیمار تحت تأثیر IOP و نیز درمان‌های دارویی، لیزری و جراحی و ســـایر پارامترهای تأثیرگذار از جمله ســـن، CCT و طول محوری پیچیده و بغرنج می‌باشـــد. با این وجود، اکثریت مدارک و شواهد موجود مبین این نکته اســـت که اندازه‌گیری CH مکمل بالقوه‌ای جهت شناسایی مبتلایـــان به گلوکـــوم و افرادی که ممکن اســـت در معرض افزایش ریسک پیشرفت بیماری باشند، خواهد بود.

تحقیقات آتی

مطالعات منتشـــر شـــده فعلی، به پیدا کردن همراهی بین پایین بودن CH و گلوکوم و یا مشخص‌کردن ریسک پیشرفت گلوکوم - که در امر تشخیص و طبقه‌بندی ریسک کمک‌کننده خواهد بود - توجه دارند. میانگین مقادیر گزارش شـــده از جمعیت‌های ســـالم مختلف، متفاوت و متنوع می‌باشـــد و در مورد این مسئله تحقیقات بیش‌تری باید انجام شـــود. در عین حال، موضوع اصلی که تحقیقات بیش‌تری باید به آن متمرکز و متوجه گردد، این اســـت که مشـــخص نیســـت که آیا پایین بودن CH باعث و ســـببِ ایجاد بیماری می‌باشـــد یا نه و درمان‌های صورت گرفته به این مســـئله باید معطوف شـــود یا نشود. در عوض این احتمال وجود دارد که پایین بودن CH، پاســـخ چشـــم بـــه بالا بودن IOP بوده یا این که ممکن اســـت یک تغییر تصادفی و اتفاقی در خصوصیات چشـــم‌های مبتلا به گلوکوم باشـــد. متأسفانه، بررســـی و ســـنجش رابطه علت و معلولی در مورد CH به علت اثرات درمان‌های کاهنده IOP بر روی این پارامتر، بی‌نهایت دشوار می‌باشد. برای غلبه بر این تنگنا، تحقیقات بعدی باید ویژگی‌های خاص بافتی را که در CH نقش دارند، مشـــخص و روشن سازد. در چنین حالتی، انجام تغییراتی در این ویژگی‌های بافتی در مدل‌های حیوانی گلوکوم، در مشـــخص‌کردن این که آیا پایین بودن CH، یک فاکتور علّیتی در گلوکوم و پیشـــرفت گلوکوم به شمار می‌رود یا نه کمک‌کننده خواهد بود. اگر صحت این امر مشـــخص شـــود، در آن صورت احتمالاً تغییر در ویژگی‌های بافتی چشـــم در جهت افزایش CH، به هدف جدیدی برای درمان این بیماری - مستقل از کاهش IOP- تبدیل خواهد شد.

لیزیک در بیماران مبتلا به گوتاتا در قرنیه[1]

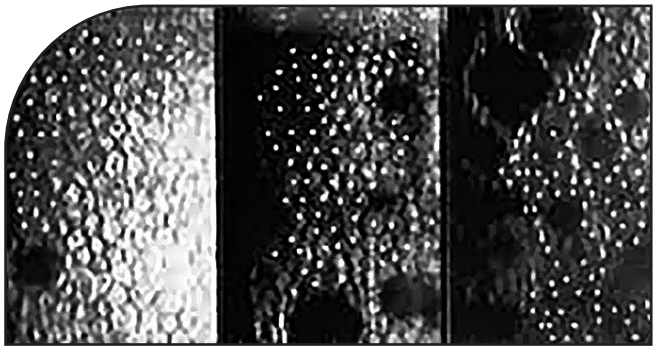
مترجم: مهندس سید محمد هاشمی

در سال ۲۰۰۵ دکتر مشیرفر و همکاران، پژوهشی با هدف بررسی و گزارش نتایج یک‌ساله LASIK در ۷ چشم با گوتاتای اندوتلیال قرنیه و سابقه خانوادگی دیستروفی اندوتلیال فوکس در مرکز چشم جان موران وابسته به دانشگاه یوتا در ایالات متحده آمریکا آغاز کردند. در ادامه مطلب به بررسی این پژوهش مذکور خواهیم پرداخت.

(https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2004.05.061)

دیستروفی اندوتلیال فوکس یک اختلال ژنتیکی است که سلول‌های اندوتلیال قرنیه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این یک بیماری به آهستگی پیش‌رونده است که با گوتاتا مشخص می‌شود که همانا ترشحات کوچکی بر روی غشای Descemet است. این بیماری در الگوی اتوزومال غالب به ارث می‌رسد و معمولاً در افراد بالای ۵۰ سال ظاهر می‌شود. فقدان یک سیستم طبقه‌بندی جهانی برای درجه‌بندی گوتاتای قرنیه دلیل تنوع زیادی در تخمین شیوع است که در افراد بالای ۴۰ سال بین ۱۰ تا ۷۰ درصد متغیر است.

لیزیک (LASIK) یک روش جراحی پرکاربرد برای اصلاح عیوب انکساری است. غربالگری کاندیداهای بالقوه لیزیک برای دیستروفی فوکس و سایر ناهنجاری‌های قرنیه مهم است، زیرا نتایج لیزیک در این بیماران ممکن است کم‌تر قابل پیش‌بینی باشد و ممکن است آن‌ها را در معرض خطر فزاینده آسیب قرنیه قرار دهد. اگرچه مطالعات متعددی بی‌خطر بودن لیزیک در درمان نزدیک‌بینی را در بیمارانی که اندوتلیوم سالم دارند، ثبت کرده‌اند، تحقیقات درباره درمان لیزیک در بیمارانی که قرنیه‌هایی با اندوتلیوم غیرطبیعی دارند محدود است. در مطالعه‌ای که در مجله کاتاراکت و جراحی‌های انکساری منتشر شد، نتایج لیزیک در ۴ بیمار (۷ چشم) با سابقه خانوادگی دیستروفی



فوکس و گوتاتا 1C پیش از عمل مورد بررسی قرار گرفت. بیماران تحت معاینه کامل چشم قرار گرفتند. این معاینات شامل حدت بینایی اصلاح نشده و بهترین حدت تصحیح شده با عینک، عیوب انکساری آشکار و سیکلوپلژیک، تونومتری، معاینه با اسلیت لامپ و ارزیابی فوندوس با مردمک باز بودند. پاکی‌متری نوری و میکروسکپی اسپکولار نیز برای تعیین تراکم سلول‌های اندوتلیال پایه (ECD) انجام شد. همه بیماران تحت بی‌حسی موضعی توسط یک جراح، لیزیک استاندارد را انجام دادند، با استفاده از میکروکراتوم Hansatome یک فلپ دارای hinge تهیه شد و لیزر اگزیمر با برداشتن بخشی از بستر استروما انجام گرفت. هدف از اصلاح عیوب انکساری در همه چشم‌ها صفر شدن رفراکشن بیماران بود UCVA ، BSCVA و میزان رفراکشن پس از عمل در معاینات بعدی، ۱ روز، ۱ ماه، ۳ ماه و ۱ سال بعد اندازه‌گیری شد. پاکی‌متری نوری و ECD نیز در معاینات بعدی اندازه‌گیری شدند. این مطالعه نشان داد که ۶ چشم بعد از یک سال دچار کاهش ۲ خط از BCVA بودند و کاهش معنی‌دار ECD و افزایش ضخامت قرنیه یک سال بعد از عمل در مقایسه با پایه نشان داده شد. میانگین تراکم سلول‌های اندوتلیال قبل از عمل ۲۲۲۶ سلول در میلی‌متر مربع و میانگین تراکم سلول‌های اندوتلیال پس از عمل ۲۱۰۳ سلول در میلی‌متر مربع ۱ هفته، ۲۰۴۷ سلول در میلی‌متر مربع ۳ ماه و ۲۰۱۸ سلول در میلی‌مترمربع ۱ سال بعد

1 Moshirfar, Majid, et al. “Laser in situ keratomileusis in patients with corneal guttata and family history of Fuchs’ endothelial dystrophy.” *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 31.12 (2005): 2281-2286.

نشـــان داده شد. این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار بودند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد بیماران مبتلا به گوتاتای اندوتلیال قرنیه و سابقه خانوادگی دیســـتروفی اندوتلیال فوکس در معرض ادم گذرای قرنیه، از دست دادن BSCVA، از دســـت دادن سلول‌های اندوتلیال و رگرســـیون نزدیک‌بینی پس از لیزیک بـــرای اصلاح نزدیک‌بینی و آستیگماتیســـم هســـتند. با این حال، ذکر این نکته ضروری است که حجم نمونه پژوهـــش کوچک بود و برای تأیید این یافته‌ها، مطالعات بیش‌تـــری با حجـــم نمونه بزرگ‌تر مورد نیاز اســـت. عـــلاوه بر این، غربالگری کامل کاندیداهای بالقوه لیزیک از نظر دیستروفی فوکس و سایر ناهنجاری‌های قرنیه و اطلاع‌رسانی به آن‌ها از خطرات احتمالی مرتبط با این عمل بسیار مهم است. در نهایت، این مطالعه نیاز به یک سیستم طبقه‌بندی جهانی برای درجه‌بندی گوتاتا را برجسته می‌کند تا دقت تخمین‌های شـــیوع این بیماری را بهبود بخشد و مقایسه‌های بین مطالعات را تسهیل کند.

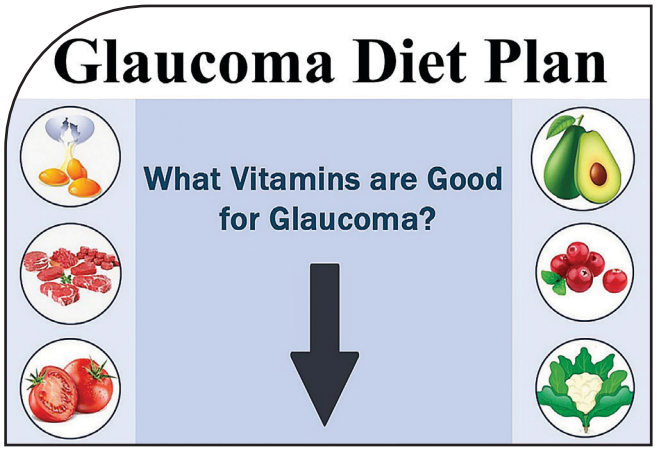
اثر ویتامین‌ها در پیشگیری از گلوکوم

مترجم: مهندس سید محمد هاشمی

یافته‌های جدید نشان می‌دهد که رژیم غذایی غنی از آنتی‌اکسیدان می‌تواند به میزان قابل توجهی بروز بیماری‌های چشمی را کاهش دهد. در حالی‌که جای تعجب نیست که یک رژیم غذایی غنی از ویتامین برای سلامت کلی شما مفید است، اما رابطه بین رژیم غذایی و گلوکوم نامشخص است. مطالعات قبلی نتایج متناقضی ارائه می‌دهند. برخی نشان می‌دهند که رژیم غذایی می‌تواند به پیش‌گیری از گلوکوم کمک کند، اما برخی دیگر هیچ تأثیری بر میزان بروز پیدا نکردند. محققان در یک پژوهش پیگیرانه در دانشگاه ناوارا، شرکت‌کنندگان را به طور متوسط به مدت ۱۲ سال دنبال کردند و نشان دادند که افرادی که مقادیر بالایی از ترکیب خاصی از ویتامین‌ها را مصرف می‌کنند ممکن است بتوانند خطر ابتلا به گلوکوم خود را به نصف کاهش دهند.

محققان می‌گویند مطالعه آنها بر نیاز چشم‌پزشکان برای افزودن پیش‌گیری به برنامه گلوکوم تأکید می‌کند. این مطالعه در AAO ۲۰۲۲، در صد و بیست و ششمین نشست سالانه آکادمی چشم‌پزشکی آمریکا ارائه شد.

گلوکوم گروهی از بیماری‌های چشمی است که به عصب بینایی و بافتی که چشم را به مغز متصل می‌کند، آسیب می‌رساند و به مرور زمان باعث از دست رفتن پیش‌رونده بینایی می‌شود. این بیماری دومین عامل نابینایی در سراسر جهان است. حدود ۳ میلیون آمریکایی مبتلا به گلوکوم هستن. تخمین زده می‌شود که نزدیک به ۸۰ میلیون نفر در سراسر جهان از گلوکوم رنج می‌برند. انتظار می‌رود این رقم تا سال ۲۰۴۰ به ۱۱۱ میلیون نفر برسد. برای درک بهتر تأثیر احتمالی رژیم غذایی بر بروز گلوکوم، محققان داده‌های نزدیک به ۲۰۰۰۰ نفر را ارزیابی کردند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد که یک سال پرسش‌نامه‌ای در مورد عادات و رژیم غذایی سالم را پر کنند. آن‌ها دریافتند افرادی که مقادیر زیادی ویتامین A ،C و E را به عنوان مکمل یا از طریق غذا مصرف می‌کنند، ۴۷ درصد کم‌تر در معرض ابتلا به گلوکوم هستند. با کمال تعجب، ویتامین‌ها تنها زمانی

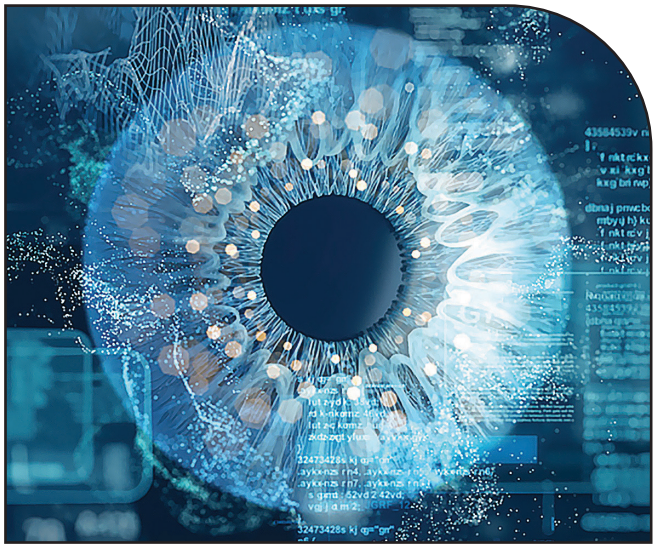


اثر پیش‌گیرانه داشتند که هر سه با هم مصرف می‌شدند. محقق ارشد، دکتر آلخاندرو فرناندز مونترو، مشکوک است که ویتامین‌ها ممکن است اثر هم‌افزایی داشته و هنگامی که با هم مصرف می‌شوند اثرگذاری خود بر بیماری‌های چشمی را نمایان می‌سازند.

به گفته دکتر فرناندز - مونترو: «ما با همکارانمان دکتر مورنو - مونتانس، چندین مطالعه را درگذشته انجام داده‌ایم که چگونه سبک زندگی سالم، خوردن رژیم غذایی مدیترانه‌ای، سیگار نکشیدن یا ورزش کردن با گلوکوم مرتبط است، و من امیدوارم که این یافته‌های جدید در مورد ویتامین‌ها الهام‌بخش تفکر بیش‌تری در مورد پیش‌گیری باشد "من معتقدم که این نکته حائز اهمیت است که چشم‌پزشکان به همان اندازه که روی پیشرفت درمان‌ها تمرکز می‌کنند، روی کار پیشگیری نیز تمرکز کنند»

دکتر فرناندز - مونترو خاطر نشان می‌کند که برای تأیید این یافته‌ها به مطالعات بیش‌تری نیاز است.

هوش مصنوعی و رتینوپاتی دیابتی



مترجم: مهندس سید محمد هاشمی

گنجاندن هـــوش مصنوعی در آزمایش بیماری چشـــمی دیابت می‌تواند با دادن دسترســـی بیش‌تر به امـــکان غربالگری به بیمارانی که در معرض خطر پیامدهای ضعف بینایی هســـتند، عدالت سلامت را افزایش دهد.

تجزیه و تحلیل گذشـــته‌نگر که در نشســـت انجمن تحقیقات در بینایی و چشم‌پزشکی ارائه شد، ویژگی‌های بیماران مبتلا به دیابت را که از طریق اســـتاندارد مراقبت، معاینه چشم از چشم‌پزشک با ارجاع از یک ارائه‌دهنده مراقبت‌های اولیه به مؤسســـه چشـــم ویلمر ارجاع شـــده بودند با موارد ارجاع شده از طریق یک سیستم هوش مصنوعی مستقل مقایسه کرد.

کارشناس ارشد آریل لئونگ، به Healio/OSN گفت: «ما کنجکاو بودیم که آیا افرادی که از طریق روش هوش مصنوعی ارجاع می‌شوند

فکر می‌کنم این احتمال وجود دارد که هوش مصنوعی بتواند تلاش‌های غربالگری رتینوپاتی دیابتی را بهبود بخشد

Ariel Leong, MS

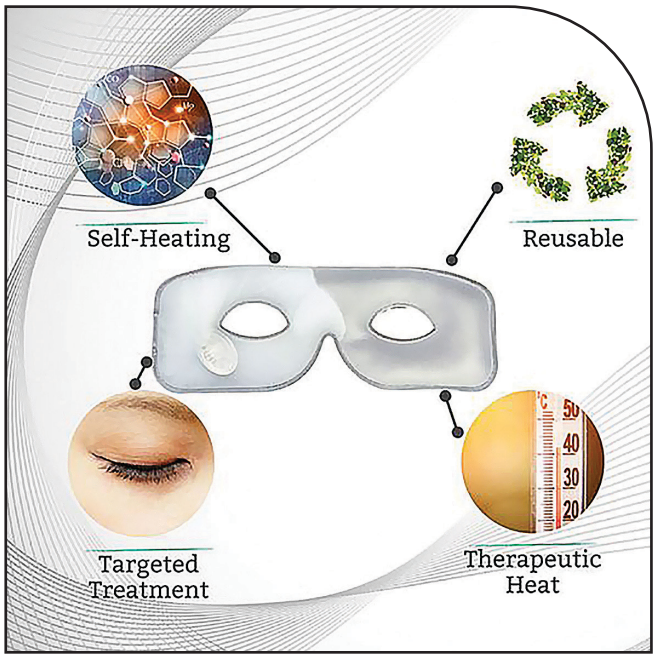
Healio

با افرادی که از طریق روش سنتی ارجاع می‌شوند متفاوت هستند یا نه.»

نتایج اولیه این مطالعه بر تفاوت بین دو گروه از بیماران در موارد بهترین حدت بینایی اصلاح شده در چشم با دید بهتر و بدتر و همچنین میانگین BCVA بین هر دو چشم متمرکز بود. به گفته محققان: «بیماران در هر دو گروه با دید خوب، بدون تفاوت معنی‌داری در BCVA مراجعه کردند. با این حال، مشخص شد بیمارانی که تحت آزمایش هوش مصنوعی قرار گرفته‌اند، «بر اساس عوامل اجتماعی تعیین‌کننده سلامت و وضعیت سلامت سیستمیک»، در معرض خطر ابتلای بیش‌تر به بیماری چشمی دیابت قرار دارند. گروه پالایش شده با هوش مصنوعی بیش‌تر از گروه مراقبت استاندارد شامل بیماران سیاه‌پوست و همچنین بیماران مبتلا به فشار خون بالا و بیماری مزمن کلیوی بود.

لئونگ گفت: سؤالات زیادی در مورد اینکه هوش مصنوعی چگونه بر پزشکی تأثیر می‌گذارد وجود دارد و من فکر می‌کنم این احتمال وجود دارد که هوش مصنوعی بتواند تلاش‌های غربالگری رتینوپاتی دیابتی را بهبود بخشد و در شناسایی جمعیت خاصی که می‌خواهیم، کاراتر از روش‌های سنتی باشد.

ماسک حرارتی TearRestore برای بیماران مبتلا به بیماری خشکی چشم



مترجم: مهندس سید محمد هاشمی

TearRestore نتایج مثبت مطالعه انجام شده توسط دانشگاه کلرادو را با عنوان «اثر درمان با کمپرس گرم بر بیماری خشکی چشم» با استفاده از ماسک حرارتی TearRestore اعلام کرد.

ارزیابی‌های لازم از یک جلسه ۱۰ دقیقه‌ای استفاده از ماسک TearRestore انجام شد و سپس این ارزیابی‌ها پس از تکمیل جلسه ۱۰ دقیقه‌ای تکرار شد. علاوه بر این، افراد سنجه‌های استفاده از ماسک TearRestore را در خانه به مدت ۲۸ تا ۶۰ روز برای یک دوره زمانی ۱۰ دقیقه‌ای یک‌بار در روز تمدید کردند و مشاهدات استفاده را در یک دفتر ثبت کردند.

این کارآزمایی داده‌های بینایی را از جمعیت ۲۲ نفر (سن ۸۹-۱۸ ساله) در بیماران مبتلا به اختلال عملکرد غده میبومین (MGD) طی ۲۸ تا ۶۰ روز جمع‌آوری کرد. این مطالعه نشان داد:

- افزایش ۹۰ درصدی در زمان ایجاد اشک
- کاهش ۵۱ درصدی علائم خشکی چشم
- افزایش ۴۰ درصدی عملکرد غدد میبومین

Ken DauSchmidt یکی از بنیان‌گذاران و مدیرعامل TearRestore، در یک بیانیه خبری شرکت گفت: ما از نتایج مطالعه دانشگاه کلرادو هیجان‌زده هستیم. آن‌ها همچنین تأیید می‌کنند که ماسک TearRestore با ارائه گرمای پایدار و توانایی دید در طول درمان، تجربه بی‌نظیری را به بیماران ارائه می‌دهد که کارایی و انطباق را بهبود می‌بخشد. هیچ ماسک حرارتی دیگری نمی‌تواند این سطح از اثربخشی را ارائه دهد.

آقای داو اشمیت گفت: «با نشان دادن این که ماسک در تغییر ترشحات غدد میبومین در یک‌بار ویزیت مؤثر است، این مطالعه ثابت می‌کند که این درمان جدید به طور بالقوه می‌تواند به میلیون‌ها بیمار مبتلا به MGD راهی راحت‌تر و مؤثرتر برای درمان این بیماری ارائه دهد.»

در جستجوی حیات در عالم

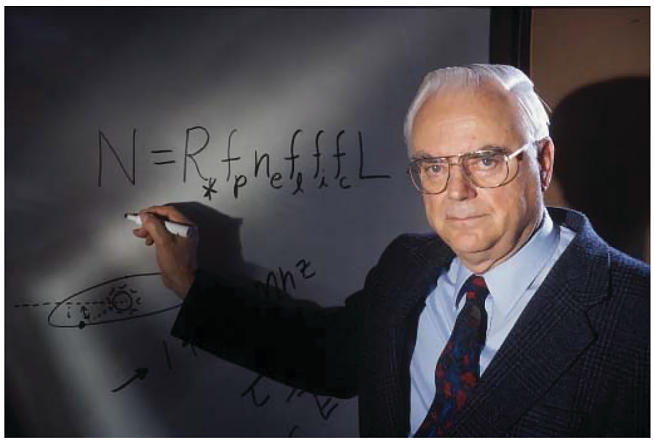
مؤلف: دکتر فاضله خواجه‌نبی
دانشیار گروه فیزیک دانشگاه گلستان

این پرسش ساده و بنیادی که آیا در این عالم بیکران تنها هستیم یا نه همواره ذهن آدمی را درگیر کرده است. به‌ویژه زمانی که نظاره‌گر ستاره‌های پرشمار آسمان هستیم از خود می‌پرسیم: آیا ممکن است در جایی از گیتی حیات وجود داشته باشد؟ حتی حیات غیر هوشمند؟! ناگفته نماند تصور رایج از حیات احتمالی فرازمینی بسیار متأثر از داستان‌ها و فیلم‌های علمی و تخیلی است. این در حالی است که تحقیقات جدی علمی در این عرصه با چنین تصورات تخیلی فاصله بسیاری دارند. البته درباره حیات هوشمند فرازمینی مباحث شبه علمی نیز کم نیستند. پر واضح است که شبه علم نیز همان‌طور که از نامش برمی‌آید هیچ جایگاه معتبر و بایسته‌ای ندارد. ولی به هر حال علاقه ذاتی بشر به موضوع حیات فرازمینی همچنان دستمایه داستان‌ها و فیلم‌های علمی-تخیلی است؛ اما به‌راستی در دنیای امروز چگونه اخترشناسان به دنبال یافتن حیات در کیهان هستند و تاکنون آیا دستاوردهایی داشته‌اند؟ چندی است که دانشمندان دریافته‌اند موضوع حیات در گیتی نیاز به درک بهتری درباره سرشت واقعی حیات دارد. به بیان دیگر شاید گونه‌هایی از حیات وجود داشته باشند که کم‌ترین تصوری از آن‌ها نداشته باشیم. موضوع حیات از منظر زیست‌شناختی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد و به این ترتیب یک شاخه نوظهور علمی نیز اضافه شده است: اختر زیست! بحث درباره اختر زیست مجالی جداگانه را طلب می‌کند. در این مقاله به تلاش‌های اخترشناسان برای یافتنِ حیات فرازمینی می‌پردازیم؛ اما نخست ببینیم چرا می‌پنداریم عالم هستی احتمالاً میزبان گونه‌های حیاتِ فرازمینی است؟! توجه داریم که در اینجا منظور از حیات الزاماً گونه‌های هوشمند و پیشرفته نیست. در واقع، حتی موجودات زیستی بسیار ساده و حتی تک سلولی نیز مورد توجه هستند.

احتمالِ حضور حیات فرازمینی

حیات به صورتی که می‌شناسیم نمی‌تواند روی ستاره‌ها با دمای سطحی هزاران درجه وجود داشته باشد؛ بنابراین، اعتقاد بر این است که سیاراتِ پیرامونِ ستاره‌ها می‌توانند میزبان حیات باشند؛ اما آیا در خارج منظومه شمسی سیاره وجود دارد؟ تا حدود کم‌تر از سه دهه پیش، هیچ سیاره‌ای در خارج منظومه شمسی کشف نشده بود. دلیلش هم واضح است: سیارات از خودشان نور ندارند و فقط می‌توانند بازتاب دهنده نور ستاره میزبان باشند؛ اما در فاصله‌های بسیار زیادی که ستاره‌ها قرار دارند، نور یک سیاره در تلالو درخشش ستاره دیده نمی‌شود. در سال ۱۹۹۵ میلادی، نخستین سیاره فراخورشیدی با یک روش غیر مستقیم شناسایی و کشف شد. تاکنون بیش از ۵۰۰۰ سیاره در خارج منظومه شمسی کشف شده‌اند. آیا خصوصیات همه این سیارات فراخورشیدی را به درستی می‌شناسیم؟ هنوز خیر!

ولی واقعیت تکان‌دهنده اینجاست که تعداد سیارات فراخورشیدی



فرانک دریک در سال ۱۹۶۱ میلادی معادله‌ای برای تخمین تعداد تمدن‌هایی در راه کاهکشان ارائه کرد که قادر به مبادله سیگنال هستند.

قطعاً خیلی بیشـــتر است. توجه داریم که فقط در کهکشان خودمان، یعنی راه کاهکشـــان، دست‌کم ۴۰۰ میلیارد ســـتاره وجود دارد. اگر فقط یک درصد این ستاره‌ها نیز دارای سیاره باشند تعداد سیارات راه کاهکشـــان عدد باورنکردنی ۴ میلیارد خواهد بود؛ و حالا تجسم کنید در عالم میلیاردها کهکشـــان وجود دارند. پس تعداد سیارات در عالم هستی بسیار زیاد است. در این صورت آیا ممکن نیست برخی از این سیارات میزبان گونه‌هایی از حیات باشند؟!

حالا نکتـــه دیگری را توجه می‌کنیم: بر طبـــق نظریه مهبانگ و شـــواهد رصدی عمر عالم حدود ۱۳٫۸ میلیارد ســـال اســـت. از عمر خورشـــید و منظومه شمســـی هم حدود ۴٫۵ میلیارد سال می‌گذرد. این بدان معناست که طی مدت بیش از ۹ میلیارد سال نه خورشیدی وجود داشته است و نه طبیعتاً زمینی! آیا ممکن نبوده است طی این مـــدت طولانی در جایی از کیهان حیات به وجود آمده باشـــد؟! البته پاسخ این سؤال را هم نمی‌دانیم.

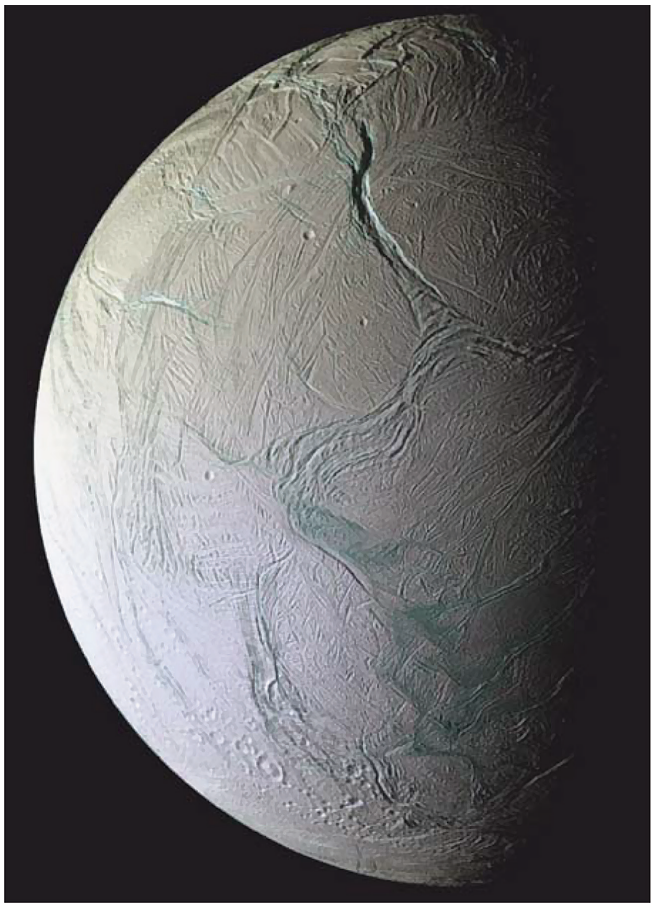
بر اســـاس چنین ملاحظاتی و برخی عوامل مؤثر دیگر، این امکان وجـــود دارد که تخمینـــی از تعداد تمدن‌هایی در راه کاهکشـــان به دســـت آورد که احتمالاً می‌توانند تبادل سیگنال انجام دهند. چنین محاســـباتی را اخترشناســـی به نام فرانک دریک در دهه ۶۰ میلادی انجام داد و عددی که به دســـت آورد باورنکردنی است: ۱۰۰۰۰! البته این فقط یک محاســـبه نظری اســـت. ولی آن چه اشاره شد حکایت از آن دارد کـــه احتمالِ وجود حیات فرازمینی صفر نیســـت؛ و حتی شـــاید به تعبیری زیاد هم هســـت. از این روست که اخترشناسان به طور جدی در جســـتجوی حیات در عالم هســـتند. اخترشناسان در سه حوزه مشـــخص این جســـتجو را ادامه می‌دهند: کاوش سیارات و اقمار منظومه شمســـی، جو ســـیارات فراخورشیدی؛ و آشکارسازی سیگنال‌های موجودات بیگانه!

حیات در منظومه شمسی

دانشمندان دریافته‌اند که اجرام موجود در منظومه شمسی بسیار متنوع هستند. از ســـیارک‌ها گرفته تا سیارات و اقمارشان. آیا ممکن اســـت گونه‌ای از حیات، حتی به صورت بســـیار ابتدایی در جایی از منظومه شمسی وجود داشته باشـــد؟ این پرسش یکی از انگیزه‌های مهم برخی از مهم‌ترین مأموریت‌های فضایی طی چند دهه اخیر بوده است. برای مثال، مدت‌ها این تصور وجود داشت که شاید سیاره سرخ، مریخ، میزبان حیات اســـت. بر اساس مأموریت‌های متعدد فضایی که تاکنون انجام شـــده‌اند و یا در جریان هســـتند هیچ شاهدی مبنی بر وجود حیات در مریخ به دست نیامده است.

شاید در گذشـــته در این سیاره حیات وجود داشته است. در این صورت باید شـــواهدی وجود داشته باشند که البته هنوز هیچ مدرکی به دســـت نیامده است. شواهدی هست که شاید در گذشته در سطح این ســـیاره رودخانه‌ها عظیمی جریان داشـــته‌اند. این ایده ناشی از رویت کانال‌های بزرگی اســـت که در ســـطح مریخ وجود دارند. ولی حتی در این مورد نیز قطعیتی وجود ندارد. دانشمندان معتقدند مریخ گذشته‌ای پر تلاطم داشته است؛ گذشته‌ای دوران‌ساز که به وضعیت فعلی این سیاره منجر شده است. تلاش‌های گسترده‌ای برای شناخت پیشینه اسرارآمیز سیاره مریخ در جریان هستند.

اما به غیر از مریخ آیا بقیه ســـیارات منظومه شمســـی می‌توانند میزبان حیات باشند؟ سیاره عطارد که نزدیک‌ترین سیاره به خورشید اســـت دمای بسیار زیادی دارد. بسیار بعید که در این سیاره با چنین دما بالا و در فقدان جو حیات وجود داشـــته باشد. سیاره بعدی، زهره اســـت. البته دمای سطحی این ســـیاره هم زیاد است. ولی این سیاره دارای جو بسیار غلیظ اســـت. چندی پیش ترکیب شیمیایی فُسفین در این ســـیاره شناسایی شـــد. این اعتقاد وجود داشت که فسفین به دنبال فرایندهای زیســـتی به وجود می‌آید. کشـــف فسفین در زهره موجی از شـــگفتی ایجاد کرد. تحقیقات گسترده بعدی نشان داد که فسفین فقط به دلیل فرایندهای زیستی تولید نمی‌شود و فرایندهای



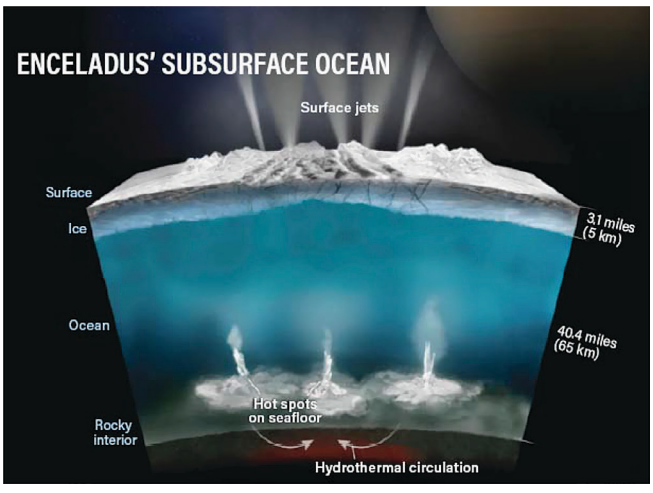
انسلادوس، یکی از قمرهای سیاره زحل

طبیعی نیز می‌تواند منجر به تولید این مولکول شـــود. به نظر می‌رسد باید تحقیقات بیشتری درباره سیاره زهره انجام شوند.

اما وضعیت بقیه ســـیارات منظومه شمســـی از نظر حیات بسیار نامناسب هســـتند. سیارات مشتری و زحل، در واقع، غول‌هایی گازی هســـتند. سیارات اورانوس و نپتون هم دنیاهایی سرد و منجمد بسیار دوری هســـتند. حیات به صورتی که می‌شناســـیم بعید است در این سیارات با توجه به شرایطی دارند وجود داشته باشد. ولی جستجو به دنبال حیات در منظومه شمســـی به همین‌جا ختم نمی‌شود. اگر چه این سیارات میزبان گونه‌ای از حیات نیستند، این سیارات دارای تعداد زیادی قمر هستند که برخی از آن‌ها شرایط شایان توجهی دارند.

برخی از این قمرها دارای ســـطحی یخی هســـتند؛ ولی شـــواهد مختلف حکایت از آن دارند که در زیر این لایه‌های یخی اقیانوس‌های عظیمی وجود دارند. در منظومه شمســـی تعداد این دنیاهای یخی با اقیانوس درونی بین ۱۲ تا ۱۵ قمر برآورد می‌شـــود. اِنسلادوس، قمر سیاره زحل، یکی از این قمرهای شگفت‌انگیز است.

یک لایه یخی به ضخامت تقریبی ۵ کیلومتر سطح انسلادوس را پوشـــانده است. شواهد متعدد حکایت از آن دارند که در زیر این لایه یخی اقیانوسی به عمق بیش از ۶۰ کیلومتر وجود دارد. در این صورت این احتمال وجود دارد که گونه‌های ســـاده حیـــات در این اقیانوس عظیم وجود داشـــته باشند. عامل گرمایش درونی انسلادوس و ایجاد اقیانوس فعالیت‌های درونی این قمر است. جاذبه گرانشی سیاره زحل سبب می‌شـــود لایه‌های درونی انســـلادوس بر روی یکدیگر حرکت کنند. گرمایش ناشـــی از اصطکاک لایه‌ها باعث شده اقیانوس درونی انســـلادوس ایجاد شود. این امکان وجود دارد که این اقیانوس میزبان گونه‌های بسیار ساده حیات باشد. البته هنوز این را نمی‌دانیم؛ اما یک مأموریت فضایی اختصاصی برای مطالعه انســـلادوس می‌تواند نقش



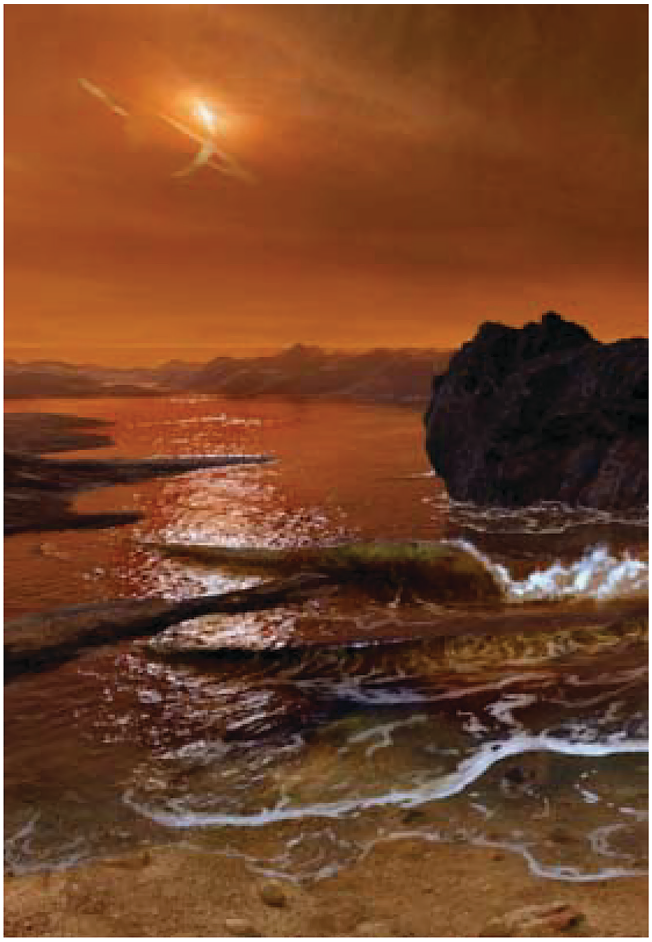
لایه‌های درونی انسلادوس

تعیین کننده‌ای داشته باشد.

زحل دارای قمرهای متعددی اســـت. "تایتـــان" یکی از قمرهای حیرت‌انگیز این سیاره اســـت. این قمر در احاطه ابرهای بسیار غلیظ است به طوری که سطح آن قابل رویت نیست. شواهد رصدی مختلف نشـــان می‌دهند که در ســـطح تایتان دریاهای عظیمـــی از ترکیبات هیدروکربنی نظیر متان و اتان مایع وجود دارند. اخترشناسان بر این باورند که تایتان شـــرایطی را دارد که زمین در گذشته‌ای دور داشته است؛ بنابراین، با مطالعه این قمر نه تنها درباره وجود و یا عدم وجود حیات در تایتان به نتیجه می‌رسیم، بلکه تایتان به نوعی گذشته زمین جوان را در برابر دانشمندان قرار داده است.

بیش از دو دهه پیش، فضاپیمای کاســـینی برای مطالعه زحل و قمرهایش به فضا پرتاب شـــد. این فضاپیما پـــس از نزدیک به هفت سال به ســـیاره زحل رســـید و در مداری پیرامون زحل قرار گرفت. ســـپس بخشی از کاســـینی برای مطالعه تایتان جدا شد. این قسمت جدا شده هویگنس نام داشـــت. مأموریت هویگنس بسیار کوتاه بود. هویگنس وارد جو تایتان شـــد و با نمونه‌برداری ترکیبات شـــیمیایی آن را تعییـــن کرد. ســـپس هویگنس بر روی تایتان فـــرود آمد. این پایان مأموریت هویگنس بود؛ ولی این فضاپیما موفق شـــد تصاویری

این تصویری است که کاسینی از تایتان به دست آورد. البته این تصویر به طور کاذب رنگ‌آمیزی شده است. جو غلیظ و ضخیم تایتان با رنگ آبی مشخص شده است. ضخامت جو تایتان به صدها کیلومتر می‌رسد.



نمایی تخیلی از سطح تایتان

بی‌همتا از سطح هویگنس تهیه کند. بر اساس داده‌های هویگنس به نظر می‌رسد امکان شکل‌گیری مولکول‌های پیچیده در تایتان وجود دارد. البته هنوز هیچ تأییدی مبنی بر وجود حیات به دست نیامده است، ولی احتمالاً مأموریت‌های فضایی بعدی بتوانند در این راستا راهگشا باشند.

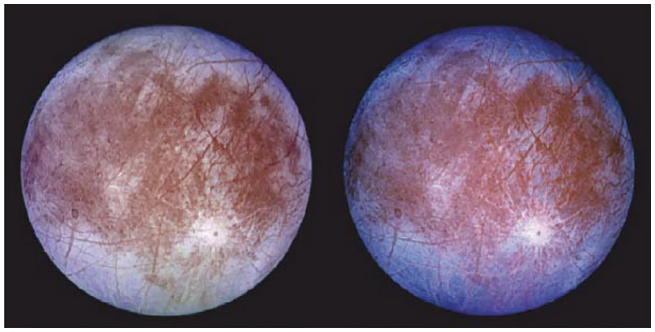
سیاره مشتری نیز دارای قمرهای متنوعی است. یکی از قمرهای این سیاره گازی و غول‌پیکر "اروپا" نام دارد. این قمر هم یک دنیای یخی است. برآوردها حکایت از آن دارند که ضخامت لایه سطحی اروپا حدود ۱۰ کیلومتر است؛ و در زیر این لایه یخی، اقیانوس وجود دارد. کم‌تر از یک دهه پیش محققین تلسکوپ فضایی هابل فوران‌هایی را در سطح اروپا کشف کردند. در آن زمان مشخص نبود جنس سیال در حال فوران چیست. حدود دو سال پیش اخترشناسان دریافتند که در این فوران‌های عظیم آب وجود دارد. این یک دلیل جدی است که در زیر لایه یخی اروپا آب وجود دارد. در این قمر نیز جاذبه گرانشی سیاره مشتری و سایر قمرهای آن باعث می‌شوند لایه‌های درونی اروپا به روی یکدیگر بلغزند. گرمایش ناشی از این لغزش لایه‌های درونی عامل اصلی ذوب یخ‌ها و ایجاد اقیانوس در زیر لایه سطحی یخی اروپاست.

به این ترتیب به نظر می‌رسد دنیاهای یخی منظومه شمسی که دارای اقیانوس درونی هستند شاید میزبان حیات باشند. ولی تاکنون هیچ نشانی در حیات در منظومه شمسی یافت نشده است. فعلاً تا جایی که می‌دانیم این سیاره زمین است که زیستگاه گونه‌های پرشمار حیات است. آیا ممکن است در خارج منظومه شمسی سیاراتی مشابه زمین وجود داشته باشند؟ و آیا ممکن است سامانه‌های سیاره‌ای همانند منظومه شمسی وجود داشته باشند؟

آیا منظومه شمسی بی‌همتاست؟

با توجه به تعداد زیاد سیارات فراخورشیدی کشف شده و البته تنوع ویژگی‌های آن‌ها، امروزه اخترشناسان معتقدند که فرایندهای پیدایش سیارات منحصر به فرد نیستند. در واقع، قرص‌های گازی و گرد و غباری اطراف ستاره‌های جوان می‌توانند میزبان تولد رشد و تکوین سیارات باشند. هر چند چگونگی فرایند تولد سیارات معمایی است که هر چه بیشتر می‌گذرد بر ناشناخته‌های آن افزوده می‌شود؛ اما پس از موجی از هیجان به دنبال کشف نخستین سیاره فراخورشیدی به‌تدریج این باور در میان اخترشناسان شکل گرفت که احتمالاً سامانه‌هایی همانند منظومه شمسی یافت خواهند شد. این انتظاری است طبیعی برای یافتن سیاره‌ای همانند زمین!

به این ترتیب مدل‌های نظری مختلفی ارائه شدند. وضعیت فعلی منظومه شمسی چنین است: سیارات خاکی در مقایسه با غول‌های گازی در مدارهایی نزدیک‌تر پیرامون خورشید در گردش هستند. زمین هم که البته سومین سیاره از خورشید است. آیا ممکن است همانند چنین پیکربندی در خارج منظومه شمسی وجود داشته باشد؟ اگر چنین باشد، شاید سیاره زمین گونه‌ای هم وجود داشته باشد. ولی در کمال شگفتی آن چه تاکنون مشخص شده بر خلاف



زیر لایه‌های سطحی یخزده اروپا احتمالاً اقیانوس‌های عظیمی وجود دارند.

همه انتظارهاست.

طـی یک دهه اخیر اخترشناسـان دریافتند که از بین سـیارات فراخورشـیدی کشف شـده حدود ۴ درصد سـیارات خاکی؛ تقریباً ۳۰ درصد غـول گازی، ۳۱ درصد اَبَر زمین و ۳۵ درصد همان اندازه نپتون هسـتند. بر خلاف انتظار تعداد سیارات خاکی کم است، حال آن که سـیارات گازی غول‌پیکر بسیار زیادند. سـیاراتی که کمی از زمین بزرگ‌تر هسـتند "اَبَر زمین" نامیده می‌شـوند. تعداد سیارات فراخورشـیدی ابر زمین هم نسبتاً زیاد است. البته توجه داریم که در منظومه شمسی سیاره ابر زمین نداریم. از سوی دیگر تعداد پرشماری از سـیارات فراخورشـیدی هم‌اندازه نپتون هسـتند. این یافته‌ها با انتظارات اولیه اخترشناسـان سازگار نیسـتند؛ و بعلاوه نظریه‌هایی که برای تولد و پیدایش سـیارات ارائه شده‌اند هنوز نمی‌توانند وجود چنین سیارات فراخورشیدی را توضیح دهند.

از نظر فاصله مداری سـیارات فراخورشیدی از ستاره میزبانشان نیز تنوع شگفت‌انگیزی دیده می‌شود. بیشتر سیارات فراخورشیدی به سـتاره میزبان خیلی نزدیک هستند؛ یعنی فاصله‌شان کم‌تر از فاصله عطارد از خورشید است؛ و عجیب‌تر آن که بیشتر این سیاراتِ نزدیک به ستاره میزبان "غول گازی" هستند. پرسشی که مطرح می‌شود این اسـت که این غول‌های گازی چگونه در چنین فاصله‌های نزدیکی به وجود آمدند؟ در منظومه شمسـی سیارات گازی در فاصله‌های بسیار دورتری قرار دارند.

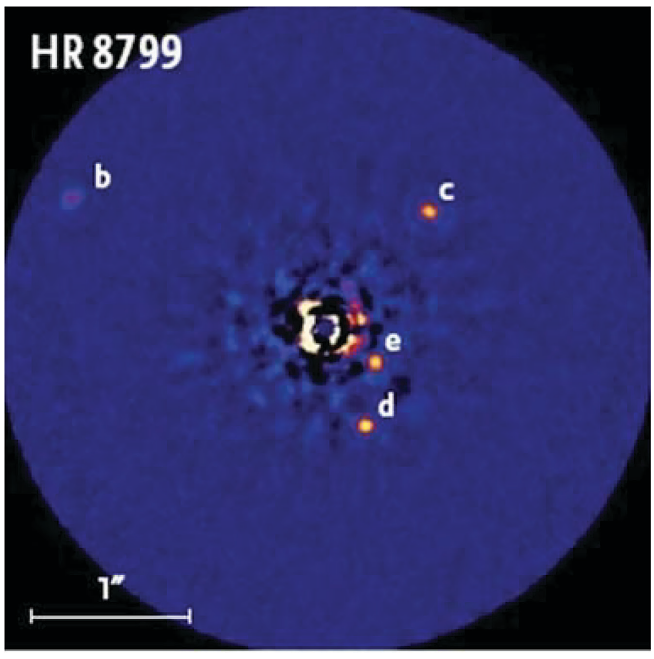
جالب اینجاست که مدار این سیارات نزدیک به ستاره میزبان هم معمولاً بیضی‌های کشیده هسـتند. حتی صفحه مداری آن‌ها ممکن اسـت در راستای عمود بر محور دوران ستاره نباشد. هیچ‌کدام از این خصوصیات را نمی‌توان بر اساس نظریه‌های رایج تولد سیارات به طور کامل توضیح داد. نخسـتین سیاره فراخورشیدی کشف شده هم یک غول گازی است. نام آن چنین است: " ۵۱ اسب بالدار بی ". اندازه آن نصف سیاره مشتری اسـت و آن‌قدر به ستاره میزبانش نزدیک است که هر ۴ روز یک بار به دور آن می‌چرخد؛ یعنی طول سال این سیاره فقط ۴ روز است!

دمای سیارات غول‌پیکر گازی نزدیک به ستاره میزبان معمولاً زیاد اسـت. اخترشناسان آن‌ها را "سیارات مشـتری گونه داغ " می‌نامند. فاصله مداری این سـیارات فراخورشیدی از سـتاره میزبانشان کم‌تر از ۰٫۱ فاصله زمین تا خورشـید اسـت. جالب است که تعداد چنین سیاراتی زیاد است. جرم سیارات مشتری داغ می‌تواند تا ۱۰ برابر جرم سیاره مشتری باشد. البته سیارات غول‌پیکر گازی هم وجود دارند که فاصله‌شان از ستاره میزبان بین ۰٫۱ تا ۱ برابر فاصله زمین تا خورشید اسـت. چنین سیاراتی را "سیارات مشـتری گونه گرم " می‌نامند. در نهایت سیارات غول‌پیکری که در فاصله بیش از ۱ برابر فاصله زمین تا خورشید قرار دارند دمای کم‌تری خواهند داشت؛ و از این رو به عنوان سیارات مشتری گونه سرد شناخته می‌شوند.

آیا این بدان معناسـت که منظومه شمسی منحصر به فرد است؟ در واقع آن چه می‌دانیم این اسـت که سـیارات فراخورشیدی بسیار متنوعند؛ هم از نظر مداری، اندازه و جرم و هم احتمالاً از نظر ساختار درونی‌شان. امروزه اخترشناسان در تلاشند سرشت این گستره متنوع و خاسـتگاه آن‌ها را درک کنند. پس به نظر می‌رسد منظومه شمسی با بقیه سیارات فراخورشیدی فرق دارد. شاید با مطالعه بیشتر سیارات فراخورشیدی بتوان از نحوه پیدایش منظومه شمسی رمزگشایی کرد.

چگونگی مطالعه حیات در سیارات فراخورشیدی

در حالی که به نظر می‌رسـد پیکربندی سـامانه‌های سـیاره‌ای فراخورشیدی همانند منظومه شمسی نیستند، اخترشناسان معتقدند شـاید با مطالعه جو سـیارات فراخورشـیدی بتوان به نشـانه‌ای از گونه‌های حیات دسـت یافت. ممکن است این پرسش پیش آید که چرا فقط جو سـیارات فراخورشیدی؟ مگر امکان رصد مستقیم سطح سیارات فراخورشیدی وجود ندارد؟ نکته اینجاست که بیشتر سیارات فراخورشـیدی با روش‌های غیرمسـتقیم کشف شـده‌اند. به دلیل فاصله‌های زیاد و درخشش ستاره میزبان امکان تصویربرداری مستقیم به سختی میسـر می‌شود. البته اخترشناسـان موفق شدند به یاری روش‌های پیشـرفته اپتیکی تعداد محدودی از سیارات فراخورشیدی را به طور مسـتقیم رصد کنند؛ اما حتی در چنین تصاویری سـیاره



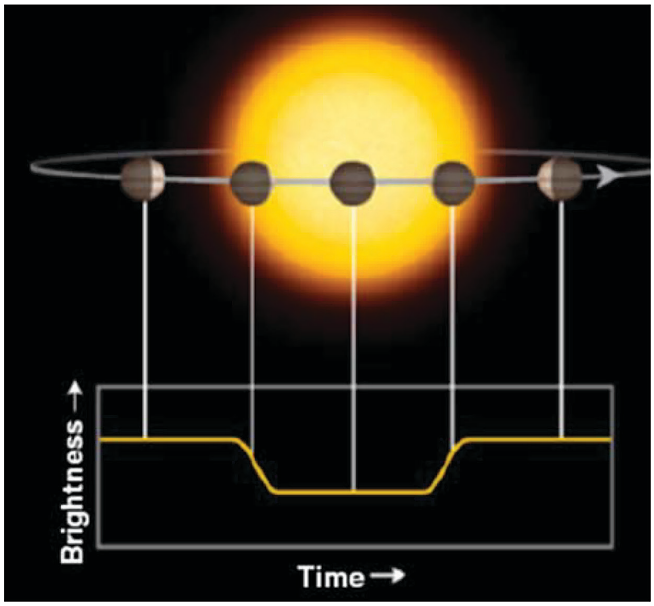
نمونه‌ای از تصاویر به دست آمده از سیارات فراخورشیدی. نام ستاره مرکزی HR 8799 است و پیرامون آن سه سیاره دیده می‌شوند.

همانند یک نقطه نورانی دیده می‌شـود و امـکان مطالعه پدیده‌های سطحی و وضعیت آن وجود ندارد. در چنین شرایطی است که بررسی جو سیارات فراخورشیدی هم می‌تواند مفید باشد؛ اما چرا؟!

دانشـمندان معتقدند که فعالیت‌های زیستی می‌توانند به تولید ترکیبات شـیمیایی منجر شـوند که بدون گونه‌هـای حیات ایجاد نمی‌شـدند. ایـن مولکول‌های "مشـخصه حیات" در جـو پراکنده می‌شـوند. در نتیجه، چنانچه بتوانیم ترکیبات شیمیایی جو سیارات فراخورشـیدی را تعیین کنیم شـاید مولکول‌های مشخصه حیات را پیدا کنیم. البته برخی از دانشـمندان نیز این نظر را مطرح کردند که شاید ساز و کارهای تولید مولکول‌هایی که می‌پنداریم مشخصه حیات هستند منحصر به فرد نباشد. به بیان دیگر، شاید فرایندهای طبیعی نیز بتوانند چنین مولکول‌هایی را تولید کنند. اینجاسـت که محققین عرصه‌های اخترشـیمی و اختر زیست در تلاشـند به درک دقیق و مناسـبی از مولکول‌های مشخصه حیات دست یابند. ولی به هر حال تعیین ترکیبات جو سـیارات فراخورشیدی قطعاً می‌تواند اطلاعات با ارزشی درباره پیدایش سیارات، ویژگی‌های کنونی‌شان و البته حیات احتمالی به دسـت دهـد. اهمیت این موضوع آن‌قدر زیاد اسـت که در میان نخسـتین تصاویر منتشر شده از تلسکوپ فضایی جیمز وب طیف جو یک سیاره فراخورشیدی دیده می‌شود. هر چند برای عموم شـاید چنین نموداری در مقایسـه با سـایر تصاویر رنگی و با شکوه چندان جلوه‌ای نداشته باشد؛ از نظر متخصصان یک دستاورد بی‌همتا و ارزشمند است.

جو سیارات فراخورشیدی

برای آن که ببینیم چگونه جو سـیارات فراخورشیدی را مطالعه می‌کنند باید یکی از روش‌های آشکارسازی و کشف فراخورشیدی‌ها را مرور کنیم. همان‌طور که پیش‌تر اشـاره شـد معمولاً بر اسـاس داده‌های غیر مستقیم حضور سیارات فراخورشیدی مشخص می‌شود. یکـی از روش‌های متداول مبتنی بر تغییر نور سـتاره میزبان هنگام عبور سیاره از مقابل آن است. این روش به عنوان روش گذر شناخته می‌شود. فرض کنید ستاره‌ای دارای سیاره نباشد. در این صورت مقدار تابندگی سـتاره با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. اخترشناسان منحنی تابندگی یک سـتاره بر حسب زمان را "منحنی نوری" می‌نامند. حال اگر چنین سـتاره‌ای بنا به فرض دارای سـیاره می‌بود آنگاه هنگامی که سیاره از مقابل سـتاره عبور می‌کند تابندگی ستاره کم می‌شود؛ یعنی منحنی نوری سـتاره افت می‌کند. با گذشت زمان این افت در منحنی نوری ستاره به تناوب ظاهر می‌شود. به بیان دیگر، در حرکت مداری سـیاره به دور ستاره میزبان، هر بار از مقابل آن عبور می‌کند در منحنی نوری یک افت اتفاق می‌افتد. بر اسـاس مشخصات افت در منحنی نوری می‌توان نه تنها به حضور سـیاره پی برد بلکه برخی از خصوصیـات کلیدی آن مثل جرم، اندازه و یـا فاصله مداری‌اش نیز



روش گذر برای کشف سیارات فراخورشیدی مبتنی بر منحنی نوری ستاره است. زمانی که سیاره از مقابل ستاره عبور می‌کند در تابش دریافتی از ستاره یک افت به وجود می‌آید.

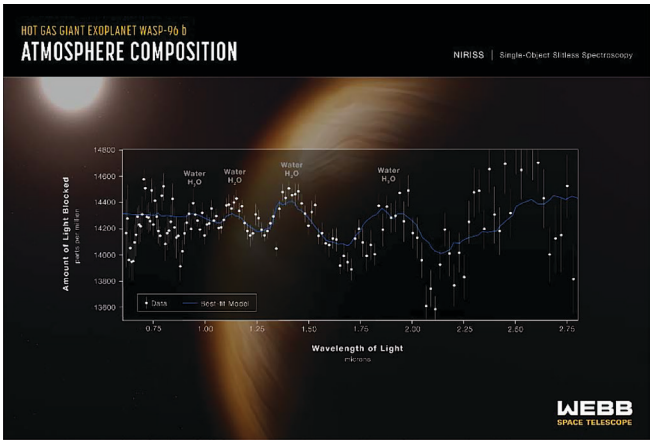
مشخص می‌شوند.

البته توجه داریم که از ابتدا مشـخص نیسـت که آیا یک ستاره دارای سیاره هست یا نه. اخترشناسان منحنی نوری ستاره را با دقت فوق‌العاده‌ای که مبتنی بر روش‌های پیشـرفته اپتیکی است به دست می‌آورند. سپس چنانچه در منحنی نوری به تناوب افت تابندگی دیده شود بدان معناست که ستاره دارای سیاره است. البته اگر دارای چند سیاره باشد، افت در منحنی نوری بسیار پیچیده‌تر خواهد بود. ولی به هر حال این حالت هم قابل بررسی و مطالعه است.

بر اساس روش گذر امکان مطالعه طیف جو سیاره فراخورشیدی نیز می‌تواند فراهم باشـد. فرض کنیم سیاره دارای جو باشد. بخشی از نور سـتاره در راه رسـیدن به ما از میان جو سـیاره عبور می‌کند. اخترشناسـان می‌تواننـد این تابش عبـوری از میان جو سـیاره را آشکارسازی کنند. بسـته به ترکیبات شیمیایی موجود در جو ستاره در تابـش عبوری از میان جو طیف جذبی به وجود می‌آید. با مطالعه این طیف جذبی می‌توان ترکیبات شیمیایی جو سیاره را تعیین کرد. اخترشناسـان به کمک این روش موفق شدند ترکیبات شیمیایی جو برخی از سـیارات فراخورشـیدی را با دقت بالایی تعیین کنند. البته برای این که این روش کارایی داشـته باشد ضروری است جهت‌گیری مداری سـیاره نسـبت به ما به گونه‌ای باشد که از مقابل ستاره عبور کند. بعلاوه، هر چه جو سـیاره ضخیم‌تر باشد امکان تعیین ترکیبات آن بهتر فراهم است.

از جمله ترکیبات شیمیایی که به کمک این روش در جو سیارات فراخورشیدی شناسایی شده‌اند می‌توان به آب، مونواکسید کربن، آهن، منیزیم، سدیم، پتاسیم، اسکاندیوم و ایتریوم اشاره کرد. البته برخی از این ترکیبات مثل مولکول آب از اهمیت بسیار بیشتری برخوردارند. نخستین سیاره فراخورشیدی که در آن مولکول آب شناسایی شد WASP-121b نام دارد. این سیاره در فاصله ۸۵۰ سال نوری قرار دارد و اندازه‌اش حدود ۱٫۸۱ برابر سیاره مشتری است. این سیاره به ستاره میزبانش بسیار نزدیک است به طوری که هر ۳۱ ساعت یک بار به دور آن می‌گردد. اخترشناسان موفق شدند در جو این سیاره مولکول آب را شناسایی کنند؛ اما پس از آن که این سیاره را برای مدت یک دور کامل پیرامونِ ستاره میزبانش زیر نظر گرفتند به کشف حیرت‌انگیز دیگری هم دست یافتند. آن‌ها دریافتند دما در قسمت روز سیاره (یعنی رو به ستاره) بسیار زیاد است؛ آن‌قدر که مولکول آب از هم می‌پاشد و هیدروژن، اکسیژن و هیدروکسیل به وجود می‌آید. این گرمایش شدید بادهای مهیب را به وجود می‌آورد که سبب می‌شود این مولکول‌ها به سمت شب سیاره که دما کم‌تر است رانده شوند. در قسمت شب دوباره مولکول آب به وجود می‌آید. به این ترتیب سیاره فراخورشیدی WASP-121b نخستین سیاره در بیرون منظومه شمسی بود که در آن الگوهای آب و هوایی شناسایی شدند. این دستاورد در سال ۲۰۱۷ میلادی حاصل شد.

اما امروزه که تلسکوپ فضایی جیمز وب با موفقیت در حال رمزگشایی از اسرار عالم است می‌تواند نقش بسیار تعیین کننده‌ای داشته باشد. به‌ویژه آن که این تلسکوپ در محدوده طول موجهی فروسرخ است؛ و این دقیقاً همان بازه طول موجی است که می‌توان طیف جذبی مولکول‌ها را با دقت بالا مطالعه کرد. یکی از نخستین دستاوردهای جیمز وب هم تعیین ترکیبات شیمیایی یک سیاره فراخورشید به نام WASP-96b بود.



دانشمندان به کمک تلسکوپ جیمز وب موفق شدند ترکیبات شیمیایی جو سیاره فراخورشیدی WASP-96b را تعیین کنند.

اخترشناسان به ویژه به دنبال سیارات فراخورشیدی هستند که در منطقه حیات قرار دارند. منطقه حیات بنا به تعریف گستره‌ای از فاصله‌های مداری پیرامون یک ستاره است که آب به صورت مایع بتواند روی سیاره وجود داشته باشد. اخترشناسان امیدوارند بتوانند سیارات خاکی را در منطقه حیات مورد بررسی قرار دهند و ترکیبات شیمیایی جو آن‌ها را تعیین کنند. شاید چنین سیارات خاکی فراخورشیدی میزبان حیات باشند. بر این اساس اخترشناسان تعداد سیاره فراخورشیدی را به عنوان هدف‌های بعدی تلسکوپ جیمز وب مشخص کرده‌اند.

چند سیاره فراخورشیدی مورد توجه!

یک سامانه فراخورشیدی بسیار شگفت‌انگیز موسوم به تراپیست (TRAPPIST) وجود دارد. ستاره مرکزی این سامانه یک کوتوله قرمز است که در فاصله ۴۰ سال نوری قرار دارد. تاکنون هفت سیاره خاکی پیرامون این ستاره کشف شده‌اند. البته دمای ستاره مرکزی این سامانه کم‌تر از نصف دمای خورشید است. در نتیجه، منطقه حیات بسیار به ستاره مرکزی نزدیک است. اخترشناسان معتقدند سه یا چهار سیاره از مجموعه تراپیست در منطقه حیات قرار دارند. هر چند به درستی معلوم نیست که این سیارات آیا دارای جو هستند یا خیر. البته توجه داریم که هر چه جرم ستاره کم‌تر باشد کُندتر سیر تحولی‌اش را طی می‌کند. بدین ترتیب طی دوران زندگی مجموعه تراپیست، سیاراتش مدت طولانی‌تری در معرض تابش‌های ستاره مرکزی بوده‌اند؛ بنابراین، شاید سیارات نزدیک به ستاره به دلیل همین تابش‌ها جو خود را از دست داده باشند.

از بین سه سیارات سامانه تراپیست سه سیاره آن بیش از بقیه مورد توجه هستند. سیاره تراپیست ۱-دی (TRAPPIST-1d) با جرمی معادل ۰٫۳ برابر جرم زمین است. شعاع آن نیز حدود ۰٫۷۸ برابر زمین برآورد می‌شود؛ اما سیاره تراپیست ۱-ای (TRAPPIST-1e) می‌تواند بسیار شبیه زمین باشد. جرم و شعاع آن، به ترتیب، ۰٫۷۷ و ۰٫۹۱ برابر زمین هستند. اخترشناسان معتقدند چنانچه این سیاره دارای جو باشد، دمای سطحی سیاره احتمالاً همانند زمین خواهد بود. سیاره تراپیست ۱-اف (TRAPPIST-1f) در لبه بیرونی منطقه حیات قرار دارد. اگر جو احتمالی این سیاره دارای گازهای گلخانه‌ای باشد، دمایش می‌تواند به دمای سطحی زمین برسد. اخترشناسان امیدوارند با توجه به این ملاحظات و به کمک تلسکوپ فضایی جیمز وب بتوانند سیارات تراپیست در منطقه حیات را مطالعه کنند.

ایده کلیدی این است که اختلاف دمای بین قسمت‌های روز و شب یک سیاره مشخص شود. پاسخ به این سؤال می‌تواند تکلیف وجود یا عدم وجود جو را روشن نماید. زمانی که یک سیاره دارای جو است، به دلیل جریان‌های جوی، اختلاف دمای خیلی زیاد بین

قسمت‌های روز و شب وجود ندارد. در واقع جو نقش اساسی در توزیع گرما در بخش‌های مختلف یک سیاره دارد. سپس اگر سیاره‌ای دارای جو باشد، اخترشناسان می‌توانند در جستجو به دنبال مولکول‌های مشخصه حیات طیف جذبی جو سیاره را به دست آورند. به‌ویژه کشف اکسیژن و متان می‌تواند خیلی مهم باشد. به نظر می‌رسد همه گونه‌های حیات به این دو ترکیب شیمیایی احتیاج دارند.

به عنوان مثال دانشمندان بر این باورند که میکروب‌های موجود در زمین جوان از طریق نوعی فرایند سنتز انرژی به دست می‌آوردند و در پی آن اکسیژن تولید می‌کردند. در مورد زمین حضور دو گاز اکسیژن و متان نتیجه فرایندهای زیستی بوده است. در غیاب گونه‌های زیستی بعید بوده که این دو گاز بتوانند همزمان وجود داشته باشند. در واقع، فرایندهای زیستی باید همواره این دو گاز را تولید کنند وگرنه پس از مدتی به دلیل واکنش‌های شیمیایی از جو سیاره محو خواهند شد. اخترشناسان بر این باورند که احتمالاً سیاره تراپیست ۱-ای همه را شگفت زده خواهد کرد.

اما همان‌طور که قبلاً اشاره شد آن چه دانشمندان به دنبالش هستند بر پایه حیات به گونه‌ای است که روی زمین می‌شناسیم. اگر حیاتی غیر منتظره در یکی از این سیارات فراخورشیدی کشف شود، آنگاه چه خواهد شد؟ شاید سیاره میزبانِ حیات هم‌اندازه نپتون باشد. اندازه نپتون تقریباً پنج برابر زمین است. تاکنون چندین سیاره نپتون‌گونه کشف شده‌اند. این سیارات می‌توانند سطحی مملو از ترکیبات یخی داشته باشند؛ اما این امکان هست که به‌تدریج به سمت ستاره میزبان‌شان مهاجرت کنند. در این صورت دمای‌شان بیشتر می‌شود به طوری که اقیانوس‌هایی عظیم امکان شکل‌گیری پیدا می‌کنند. آیا حیات تحت چنین شرایطی می‌تواند شکل گیرد؟ به نظر می‌رسد دانشمندان می‌توانند به کمک تلسکوپ فضایی وب به دنبال چنین سیارات فراخورشیدی هم باشند.

در جستجوی سیگنال‌های موجودات بیگانه

دهه‌هاست که این ایده مطرح شده است: شاید در جایی از کیهان موجودات هوشمندی وجود داشته باشند که با سیگنال‌های رادیویی پیام می‌فرستند. اگر چنین باشد باید بتوانیم این سیگنال‌ها را ثبت و آشکارسازی کنیم. هر چند این ایده بسیار عجیب و دور از انتظار به نظر می‌رسد، دانشمندان از چند دهه پیش بر آن شدند تا این سیگنال‌های احتمالی را دریافت کنند.

یکی از این پروژه‌های قدیمی SETI نام دارد که کوتاه‌نوشت "جستجو به دنبال هوش فرازمینی " است. در این پروژه در محدوده طول موجهی رادیویی، تابش‌های دریافتی ثبت می‌شوند. شاید منبع این تابش‌ها فرایندهای طبیعی نباشند و موجودات هوشمند آن را ارسال کرده باشند. در پروژه دیگری تحت عنوان The Breakthrough Listen Project همین هدف منتها با امکانات آشکارسازی پیشرفته دنبال می‌شود. تاکنون نتیجه مأیوس کننده بوده است. هیچ تابش دریافت نشده است که شاید منبع آن هوش فرازمینی باشد. اخترشناسان از این واقعیت به عنوان "سکوت بزرگ" یاد می‌کنند!

سخن آخر

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد با توجه به ابعاد عالم، تعداد بی‌شمار سیارات و البته سن عالم؛ به نظر می‌رسد احتمال وجودِ گونه‌های حیات فرازمینی کم نیست. از این روست که تلاش‌های گسترده برای یافتن حیات در جریان هستند. از کاوش سیارات و اقمار منظومه شمسی گرفته تا سیارات فراخورشیدی. اگر چه هیچ نشانی از حیات تاکنون یافت نشده است، نمی‌توان گفت که این تلاش‌ها ناکام بوده‌اند. به نظر می‌رسد در عالمی بسیار بزرگ و شگفت‌انگیز زندگی می‌کنیم. آدمی هنوز در ابتدا راه شناخت گیتی است؛ بنابراین، تعجبی ندارد اگر معماها و ناشناخته‌ها این چنین پرشمار هستند. تردیدی نیست که جستجو به دنبال حیات فرازمینی یکی از چالش‌های اساسی است و تحقیقات در این عرصه همچنان به طور گسترده ادامه خواهد یافت.

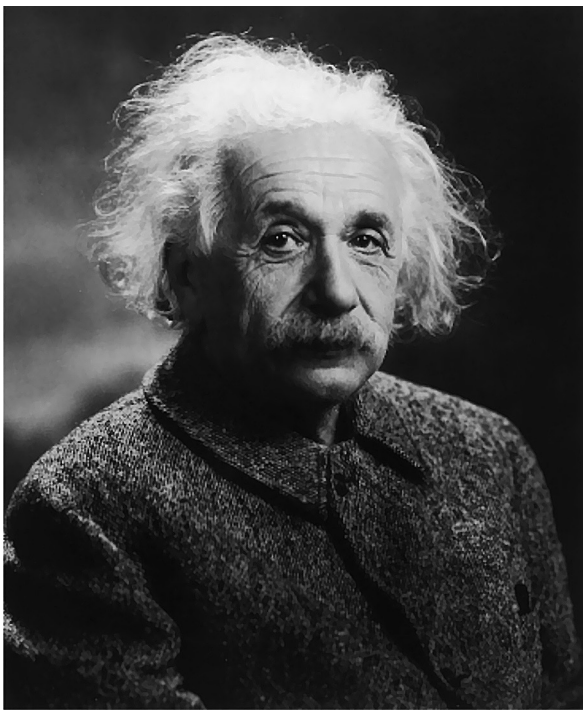
حکایت خلقت عالم

مؤلف: دکتر محسن شادمهری
دانشیار گروه فیزیک دانشگاه گلستان

ذهن بشـــر همواره با یک پرسش ساده و البته کلیدی درگیر بوده است: "چگونه عالم هستی به وجود آمده است؟!" این پرسش همواره در فلسفه مطرح بوده است؛ ولی این که علم تجربی نیز بتواند پاسخگوی چنین ســـوالی باشد بسیار دور از ذهن بود. طی یک قرن گذشته، علم و بویژه فیزیک تحولات شگرفی را تجربه کرده‌اند به گونه‌ای که امروزه پرســـش درباره ســـرآغاز گیتی در کانون توجه دانشمندان قرار دارد. دستاوردهای پرشماری حاصل شـــده‌اند. صد البته معماهای بسیاری هم جلوه‌نمایی می‌کنند. حکایت خلقت عالم ماجرایی اســـت پر فراز و نشـــیب که آدمی را به حیرت وا داشـــته است. علم نیز همانند خودِ عالم هستی همواره در حالِ تحول و دگرگونی است. حکایت پیدایش عالم، آن چنان که امروزه روایت می‌شـــود ممکن است فردایی نزدیک کاملاً دگرگون شود.

ابتـــدای قرن بیســـتم حوادث مهمی رخ دادنـــد. دو جنگ بزرگ جهانی مناســـبات سیاســـی، اقتصادی و فرهنگی کشـــورها دگرگون ســـاخت. جالب اینجاست که در همین دوران پر حادثه شاهد ظهور و تکوین دو رکن اساسی فیزیک معاصر هستیم: نظریه نسبیت اینشتین و فیزیک کوانتومی. نظریه نســـبیت عام اینشـــتین در ســـال ۱۹۱۵ میلادی برای توصیف گرانش ارائه شـــد؛ و در سال‌های بین ۱۹۰۰ تا ۱۹۳۰ مهم‌ترین مفاهیم بنیادی فیزیک کوانتومی پایه‌ریزی شـــدند. تلاش آدمی برای شـــناخت سرشـــت ماده به ظهور فیزیک کوانتومی منجر شـــد. اکنون که بیش از یک قرن از آن زمان می‌گذرد شناخت ما از گیتی مبتنی بر همین دو نظریه کلیدی اســـت. جالب اینجاست که برای درک "سرآغاز" عالم هســـتی (در صورت وجود!) این نظریه نســـبیت عام اینشتین اســـت که به کار می‌آید؛ و عجیب آن که برای لحظاتِ آغازینِ پیدایش هســـتی، بویژه فیزیک کوانتومی است که به یاری می‌آید. تلاشـــی ســـترگ و ســـتودنی که منجر به پیدایش یک شاخه نوین علمی شد: کیهان‌شناسی!

در واقع، کیهان‌شناســـی عرصه پاســـخگویی به سوالات بنیادی درباره عالم در مقیاس بزرگ اســـت. از نحوه پیدایش کیهان و هر چه در آن هست گرفته تا سیرِ تحولی، ساختار، اندازه و حتی سرنوشتش؛ جملگی در کیهان‌شناسی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. این در حالی اســـت که در عرصه اخترشناسی نه خودِ عالم در مقیاس بزرگ، بلکه اجزا آن نظیر ستاره‌ها و کهکشان‌ها موردِ مطالعه قرار می‌گیرند. البتـــه این دو عرصه علمی، امروزه بســـیار در هم تنیده شـــده‌اند. اما چگونه کیهان‌شناســـی نوین زاده شد؟ امروزه مقبول‌ترین نظریه برای



اینشتین در سال ۱۹۱۵ میلادی نظریه نسبیت عام را ارائه کرد.

پیدایـــش عالم نظریه "مِهبانگ" یا همـــان انفجار بزرگ نام دارد. این نظریه چگونه بســـط و تکوین یافت؟ آیا داده‌های رصدی آن را تأیید می‌کنند؟ نظریه‌ای که می‌گوید عالم حدود ۱۳/۸ میلیارد سال پیش به دنبال انفجاری بزرگ متولد شد. برای درک بهتر این نظریه ناگزیر از مرور چند تحول بنیادی هســـتیم؛ یافته‌هایـــی که در ابتدای قرن بیستم حاصل شدند به ظهور کیهان‌شناسی نوین انجامید.

در ابتدای قرن بیســـتم، اخترشناسان هر آن چه در آسمان رصد می‌کردند از ســـتاره و سیاره گرفته تا سحابی متعلق به یک مجموعه می‌دانســـتند. از نظر آن‌ها این مجموعه عالم بود. البته نیروی گرانش را می‌شـــناختند. به نظر می‌رسید این نیرو اســـت که اجرام سماوی را پایدار نگه می‌دارد و شـــاید همه اجـــزا عالم را در کنار یکدیگر نگه می‌دارد. اما توصیفی که برای نیـــروی گرانش به کار می‌رفت همانی بود که نیوتن پیشـــتر ارائه داده بود: قانـــون گرانش نیوتن. این قانون به خوبی می‌توانست نحوه حرکت سیارات منظومه شمسی را توضیح دهد. هر چند در مدار ســـیاره عُطارِد اختلال‌هایی دیده می‌شـــد که بر اســـاس نظریه گرانش نیوتنی قابل توضیح نبود. در ســـال ۱۹۱۵ میلادی، اینشـــتین نظریه نســـبیت عالم را برای گرانش ارائه داد. بر اســـاس این نظریه هر جرمی می‌تواند هندســـه فضا-زمان اطرافش را تغییر دهد. در نتیجه، آن چه به عنوان نیروی گرانش شناخته می‌شود در واقع ناشـــی از خمیدگی هندســـه فضا-زمان است. به بیان دیگر، نظریه اینشـــتین گرانش را به یک مسأله هندســـی تبدیل کرد. این یـــک انقلاب بزرگ علمی بود. این نظریه از آزمون‌های متعدد رصدی سربلند بیرون آمد. این نظریه موفق شد مدار سیاره عطارد را به خوبی توضیح دهد. این نظریه نشـــان می‌داد که مســـیر نور هنگام عبور از کنار اجرام می‌تواند منحرف شـــود. این یافته نیز به طور رصدی تأیید شـــد. البته نظریه نسبیت عام اینشـــتین وجود اجرامی عجیب نظیر ســـیاه‌چاله‌ها و یا پدیده‌ای مثل امواج گرانشی را نیز پیش کشید که در زمان خودش چندان مورد توجه قرار نگرفتند. اما امروزه هم وجودِ ســـیاه‌چاله‌ها تأیید شدند و هم امواج گرانشی به طور مستقیم ثبت و آشکارسازی شدند.

برگردیم بـــه حکایت پیدایش کیهان‌شناســـی نوین. طبیعی بود که کوتاه زمانی پیش از ارائه نظریه نســـبیت عام، دانشـــمندان از آن برای توصیف کل پیکره عالم اســـتفاده کنند. در دهه ۱۹۲۰ میلادی یـــک ریاضیدان روس به نام الکســـاندر فریدمان و مســـتقل از او یک اخترشـــناس بلژیکی به نام جورج لمایتر بر پایه نســـبیت عام مدلی برای عالم در حالِ انبساط ارائه دادند. این در حالی بود که حتی خودِ اینشـــتین در ابتدا با ایده جهان در حال انبســـاط موافق نبود. اما یک یافته رصدی جالب وجود داشت: در سال ۱۹۱۲ میلادی، اخترشناسی به نام وســـتو اسلایفر با مطالعه طیف کهکشان‌ها دریافت که آن‌ها در حال دور شـــدن در ما هســـتند. البته در آن زمان هنوز تصور درستی از کهکشـــان وجود نداشت. در واقع، همانند توده‌هایی ابری به نظری

الکساندر فریدمان نشان داد که در بر خلاف نظر اینشتین عالم در حالِ انبساط است.

می‌رسیدند و تصور نمی‌شد این‌ها خود کهکشان‌هایی مستقل باشند. اما این که مشخص شد آن‌ها در حال دور شدن از ما هستند در توافق با مدل نظری فریدمان و لمایتر بود. هر چند فاصله این "کهکشان‌ها" هنوز مشخص نشده بود.

در آن روزگار تصور رایج این بود که عالم در یک وضعیت ایســـتا و ماناســـت. بسیاری از دانشمندان می‌پنداشـــتند همه آن چه که در عالم می‌بینیم همواره وجود داشـــته‌اند؛ و بعلاوه، کل پیکره هســـتی ایستاســـت. اما یک کشف انقلابی در ســـال ۱۹۲۹ میلادی همه این باورها را دگرگون ســـاخت! ادوین هابل موفق شد فاصله و سرعت دور شدن توده‌های ابری در آسمان را به دست آورد. فاصله این توده‌های ابری بســـیار بیش‌تر از آن بود که بتوانند به مجموعه کهکشـــانی که خورشـــید عضوی از آن است تعلق داشته باشـــند. برای مثال، فاصله آندرومـــدا حدود ۲/۵ میلیون ســـال نوری به دســـت آمـــد. در واقع، مشخص شـــد این توده‌های ابری هر کدام کهکشانی هستند متشکل از میلیاردها ســـتاره! ولی این همه ماجـــرا نبود. هابل دریافت که این کهکشان‌ها در حالِ دور شدن از ما هستند. جالب اینجاست که هر چه دورتر باشـــند، سرعت دور شدنشان نیز بیش‌تر است. امروزه این یافته را به عنوان قانون هابل می‌شناسیم. این کشف حکایت از آن دارد که

خوشه کهکشانی گیسو که از هزاران کهکشان در محدوده‌ای به ابعاد ۲۰ میلیون سال نوری تشکیل شده است.

عالم در حالِ انبســاط است. بدین ســان آن چه فریدمان و لمایتر بر اساس نظریه نسبیت عام به دســت آورده بودند با کشف هابل تأیید شد. این یک سرآغاز نوینی بود برای تحولات دوران‌ساز بعدی!

این که کهکشــان‌ها در حالِ دور شــدن از یکدیگر هستند بدان معناست که در گذشــته به هم نزدیکتر بودند. یعنی اگر همانند یک فیلم به عقب برگردیم، آنگاه این کهکشــان‌ها به هم نزدیک می‌شوند. پس یعنی سرآغاز وجود داشته اســت. لحظه‌ای که آن را "مهبانگ" می‌نامیــم؛ یک تکینگی آغازین. فضا و زمان و البته ماده و انرژی پس از مهبانگ به وجود آمدند. آیا واقعاً مهبانگ رخ داده اســت؟! انبساط عالم این ســناریو را تأیید می‌کند. ولی آیا شواهد رصدی دیگری هم وجود دارند؟

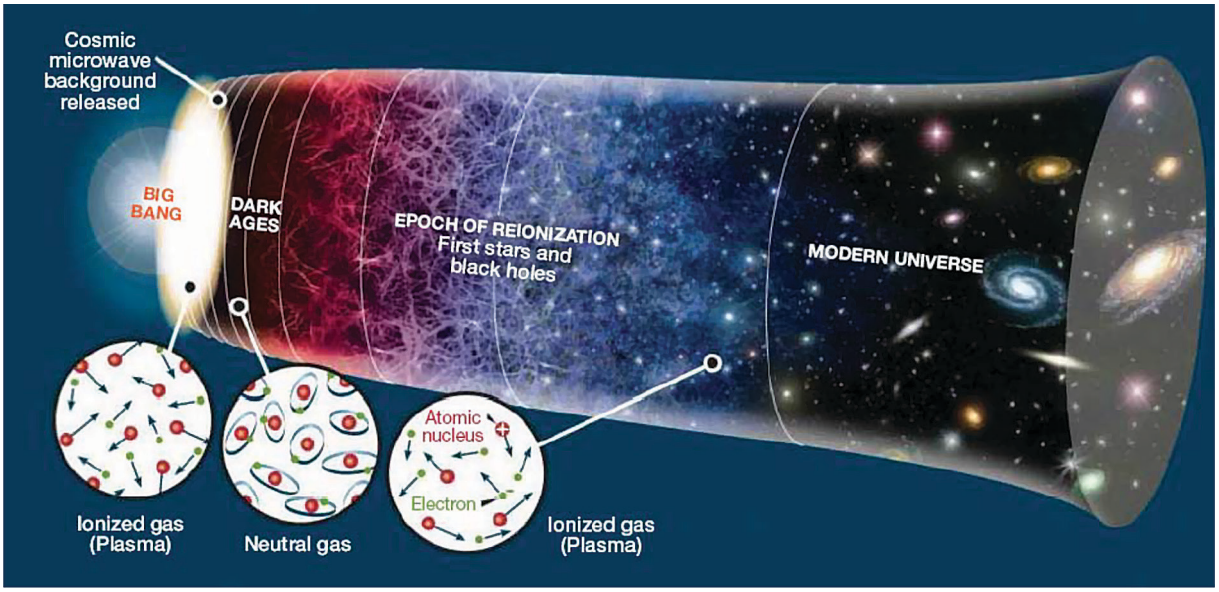
در ســال ۱۹۴۸ میلادی دو کیهان‌شناس به نام‌های رالف آلفر و رابــرت هرمان پیش‌بینی کردند که اگر مهبانگ واقعاً رخ داده باشــد امروزه باید یک تابش فراگیر همه پیکره عالم را پُر کرده باشــد. آرنو پنزیاس و رابرت ویلســون این تابش زمینه کیهانی را ۱۴ سال بعدتر به طور اتفاقی کشف کردند. در ابتدا می‌پنداشتند این تابش رادیویی که از همه ســو دریافت می‌شــود ناشی از اِشــکالی در آنتن و یا ابزار آشکارسازی است. اما خیلی زود معلوم شد که چنین نیست. در واقع، یک تابش ریزموج کل پیکره هســتی را پر کرده است. تابشی بر جای مانده از آتش‌گــوی آغازین؛ یا همان مهبانگ. بدین ســان به دنبال کارهای اســلایفر، مدل‌های نظری فریدمان و لمایتر، کشــف هابل و بعد هم کشــف تابش زمینه کیهانی، اخترشناسان دریافتند که عالم هستی ســرآغازی داشته است. این ســرآغاز یک تکینگی اولیه بوده است. سپس به دنبال مهبانگ، انرژی، فضا و زمان و ماده طی مراحلی به وجود آمدند. کیهان‌شناسی استاندارد مبتنی بر ایده مهبانگ است. طی دهه‌های اخیر مطالعات گســترده‌ای در این عرصه انجام شده‌اند که سیر تحول پیدایش هستی را چنین روایت می‌کنند.

در ابتــدا عالم یک تکینگی بوده اســت. اندازه‌اش در حد یک اتم و یا کوچک‌تر؛ بســیار فشــرده و مملو از انرژی خالــص. اگر چه این وضعیت اولیه را بر اســاس مدل‌های ریاضی به عنوان یک نقطه تکین آغازین توصیف می‌کنیم از تصور ذهنی آن عاجز هستیم. دانشمندان معتقدند که این تکینگی آغازین، بی‌زمان و بی‌بُعد بوده است. صحبت درباره خارج از آن بی‌معناســت. ناگهان این تکینگی آغازین با آهنگی باورنکردنی منبسط شد. این همان مهبانگ یا انفجار بزرگ است. اگر عبارت انفجار برای توصیف این رویداد بی‌همتا اســتفاده می‌شود، این گونه نبوده اســت که در یک فضا خالی چیزی منفجر شده باشد. در واقع، فضا و زمان به یکباره خلق شــدند. طبیعی است که نمی‌توانیم هیچ تصوری از آن داشــته باشــیم؛ و بعلاوه، هیچ واژه‌ای هم نداریم که بتواند چنین رویدادی را به درســتی توصیف کند. واژه مهبانگ را اخترشناس نامدار فرد هویل در یک مصاحبه رادیویی در سال ۱۹۴۹ میلادی به کار برد. جالب اســت که خودِ هویل ایده مهبانگ را قبول نداشت. هر چند شواهد رصدی جدی در تأیید نظریه مهبانگ بتدریج به دست آمدند.

اما در دهه ۸۰ میلادی این ایده مطرح شــد که آهنگ انبســاط عالم در ابتدای پیدایش هستی بسیار شتابان بوده است. به بیان دیگر، یک تورم کیهانی رخ داده است. این نظریه برای رفع برخی مشکلات کیهان‌شناسی استاندارد ارائه شد. این آهنگ شدید انبساط اولیه عالم طی مدت $۱۰^{-۳۲}$ ثانیه بوده اســت. یعنی برای مدت بســیار کوتاهی عالم یک دوره تورمی را تجربه کرده است. اما بسیاری از ساختارهایی که امروزه در گیتی می‌بینیم بــه نوعی طی همان دوره مراحل اولیه شــکل‌گیری را تجربه کردند. پس از این دوره تورمی، عالم به انبساط خود مطابق نظریه استاندارد مهبانگ ادامه داد.

طبیعی اســت که بعد از مهبانگ، عالم بسیار داغ بوده است. هنوز ماده شــکل نگرفته بود. بتدریج که عالم بزرگ‌تر می‌شد، دمایش نیز کاهش می‌یافت و این امکان فراهم می‌شد که بخشی از انرژی موجود در عالم به ماده تبدیل شــود. تجســم کنید عالم آغازین سوپ داغی از تابش، انرژی، الکترون‌ها و کوارک‌ها بوده اســت. کوارک‌ها در واقع بلوک سازنده ماده، یعنی مثلاً پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند. در دنیای امروز کوارک‌ها نمی‌توانند به صورت آزاد وجود داشــته باشند. تعداد مشخصی از این ذرات بنیادی که کنار هم قرار می‌گیرند ذراتِ آشنایی مثــل پروتون و نوترون را ایجاد می‌کنند. اما در عالم آغازین شــرایط به گونه‌ای بود که کوارک‌ها می‌توانســتند آزادانه وجود داشته باشند. بتدریج که انبساط عالم و البته سرمایش آن ادامه می‌یافت سایر ذرات اتمی شــکل گرفتند. البته توجه داریم که به دلیل دمای بســیار زیاد هنوز الکترون‌ها نمی‌توانســتند به هسته‌ای مقید شوند تا اتم‌ها شکل گیرند.

محاســبات نشــان می‌دهند که حــدود ۳۸۰۰۰۰ ســال بعد از



نظریه مهبانگ و مراحل تحولی عالم در این طرح‌واره نشان داده می‌شوند.

مهبانگ، این عالم در حالِ انبســاط آنقدر سرد شد که اتم‌هایی مثل هیدروژن، هلیوم و مقادیر بسیار کمی لیتیوم به وجود آیند. یعنی دما به آن اندازه کاهش یافت که الکترون‌ها به ســاده‌ترین هسته‌های به وجود آمده مقید شوند. این رویداد بسیار مهمی بود. زیرا به دنبال این فرایند بازترکیب الکترون‌ها و هسته‌ها، تابشی فراگیر گسیل شد. البته ایــن تابش در ابتدا متناظر با دمــای بالایی بود؛ ولی بتدریج که عالم بزرگ‌تر می‌شد، این تابش هم سردتر شد. هر چند بر اساس محاسبات نظریه مهبانگ این تابش فراگیر باید همچنان وجود داشته باشد. این در واقع، همان تابش زمینه کیهانی است که پیشتر اشاره شد پنزیاس و ویلسون به طور اتفاقی کشف کردند. خصوصیات تابش زمینه کیهانی آشــکار شده با نتایج محاســبات نظریه مهبانگ سازگار است! به این ترتیب تابش زمینه کیهانی می‌تواند روایت‌گر حکایت‌های حیرت‌انگیز عالم آغازین باشــد. دقیقاً به همین دلیل تحقیقات گسترده‌ای درباره تابش زمینه کیهانی در جریان است.

تا زمان گسیل تابش زمینه کیهانی هنوز ساختارهایی نظیر ستاره‌ها و یا کهکشان‌ها به وجود نیامدند. پس از نشر تابش زمینه، کیهان وارد دوره‌ای می‌شــود که از آن به عنوان "عصر تاریک" یاد می‌شود. طی مدت عصر تاریکی هیچ تابشی گسیل نمی‌شود. گویی عالم در تاریکی مطلق فرو رفته اســت. البته در این دوران ماده وجود دارد و به دنبال ســاز و کارهایی که چندان شناخته شده نیستند بتدریج ستاره‌ها و یا حتی کهکشــان‌ها طی این مدت در حالِ شکل‌گیری بودند. یعنی به دلیل جاذبه گرانشی، ماده متراکم می‌شد و ساختارهای کیهانی شکل می‌گرفتند. هنوز به درســتی نمی‌دانیم کــه این دوره عجیب کیهانی چه مدت به طــول انجامید. ولی احتمالاً حدود ۴۰۰ میلیون ســال بعد از مهبانگ نخســتین ستاره‌ها و یا کهکشــان‌ها به وجود آمدند. با ظهور این نخستین ســاختارهای کیهانی پرتوافشانی آن‌ها به عصر تاریکــی خاتمه داد. پس از آن بود که بتدریج تا به امروز ســتاره‌ها و کهکشــان‌های بیش‌تری به وجود آمدند. هر چند هنوز نمی‌دانیم که آیا ابتدا ســتاره‌ها به وجود آمدند و بعد از کنارِ هم قرار گرفتنِ آن‌ها کهکشــان‌ها به وجود آمدند؛ و یا این که توده‌های عظیم ابری شکل گرفتند و بعد به دنبال تکه تکه شــدنِ آن‌ها ستاره‌ها به وجود آمدند. امروزه اخترشناسان به دنبال پاسخ این پرسش کلیدی هستند. از این روست که رصد نخستین ستاره‌های عالم هستی اهمیت کلیدی دارد. اخترشناسان زمانی را که پرتوافشانی ستاره‌ها آغاز شد به عنوان طلوع کیهانی می‌شناسند. آیا سرانجام طلوع کیهانی رصد خواهد شد؟!

آن چه توصیف شــد خلاصه‌ای اســت از نظریــه مهبانگ برای توصیف نحوه پیدایش عالم. انبســاط عالــم و تابش زمینه کیهانی دو پدیده‌ای هســتند در تأیید نظریه مهبانگ. البته فراوانی عناصر سبک نیز به عنوان معیار دیگری مطرح اســت. در واقع، همان طور که شرح داده شــد، نخستین و البته فراوان‌ترین عنصری که بعد از مهبانگ به وجــود آمد هیدروژن بود. در حال حاضر نیز فراوان‌ترین عنصر در کل پیکره عالم قابل رویت هیدروژن اَســت. با این حال در همان مراحل اولیه پیدایش عالم، دست کم برای دوره‌ای کوتاه، دما و چگالی آنقدر زیاد بود که فرایند گداخت هســته‌ای رخ دهد. عناصری مثل هلیوم و به میزانِ بســیار کم هلیوم نیز به دنبال فرایند سنتز هسته‌ای عالم آغازین به وجود آمدند. ولی میزانِ عناصر ســنگین‌تر از هیدروژن در

عالم آغازین بسیار کم بوده است. به همین دلیل اعتقاد بر این است که نخستین ستاره‌های عالم باید کاملاً هیدروژنی باشند.

ولی آیا تاکنون نخستین ستاره‌های عالم رصد شده‌اند؟ در پاسخ باید گفت خیر! در واقع، اخترشناسان به دنبال رصد دورترین اجرام عالم هستند. بر طبق نظریه مهبانگ سن عالم حدود ۱۳/۸ میلیارد سال است. از این رو، به عنوان مثال، کهکشانی که در فاصله ۱۲ میلیارد سال نوری قرار دارد، نور دریافتی از آن متعلق به دورانی است که سن عالم ۱/۸ میلیارد سال بوده است. به این ترتیب، هر چه فاصله‌های دورتر رصد شوند، اجرام جوان‌تری را می‌بینیم. ولی این کار ساده‌ای نیست! در چنین فاصله‌های زیادی، کهکشان‌های غول‌پیکر همانند توده‌هایی ابری به نظر می‌آیند. تجسم کنید که هر کهکشان احتمالاً از میلیاردها ستاره تشکیل شده است. در این صورت چگونه می‌توان یک ستاره منفرد را در فاصله‌های زیاد و متعلق به عالم آغازین شناسایی کرد؟

شگفتا که طبیعت شگردهای خاص خودش را دارد. امروزه اخترشناسان به یاری پدیده‌ای موسوم به عدسی گرانشی موفق شدند کهکشان‌ها و یا حتی ستاره‌های دوردستی را رصد کنند که بدون یاری جستن از چنین پدیده‌ای میسر نبود. این پدیده چنین عمل می‌کند: فرض کنیم یک خوشه کهکشانی غول‌پیکر در راستای دیدِ ما وجود داشته باشد. چنانچه در پشت این خوشه، ستاره‌ها و یا کهکشان‌هایی وجود داشته باشند، قاعدتاً نمی‌توانیم آن‌ها را ببینیم. اما نور این اجرام هنگام عبور از کنار خوشه کهکشانی به دلیل جاذبه گرانشی آن خمیده می‌شود. یعنی کل خوشه کهکشانی همانند یک عدسی بزرگ عمل می‌کند. در نتیجه، تصویر و یا تصاویری بزرگ‌نمایی شده از اجرام پس‌زمینه در برابر دیدگانمان قرار می‌دهد. گاهی از یک کهکشان چندین تصویر ایجاد می‌شود. به این ترتیب، پدیده عدسی گرانشی می‌توانند همانند یک تلسکوپ عظیم کیهانی عمل کند.

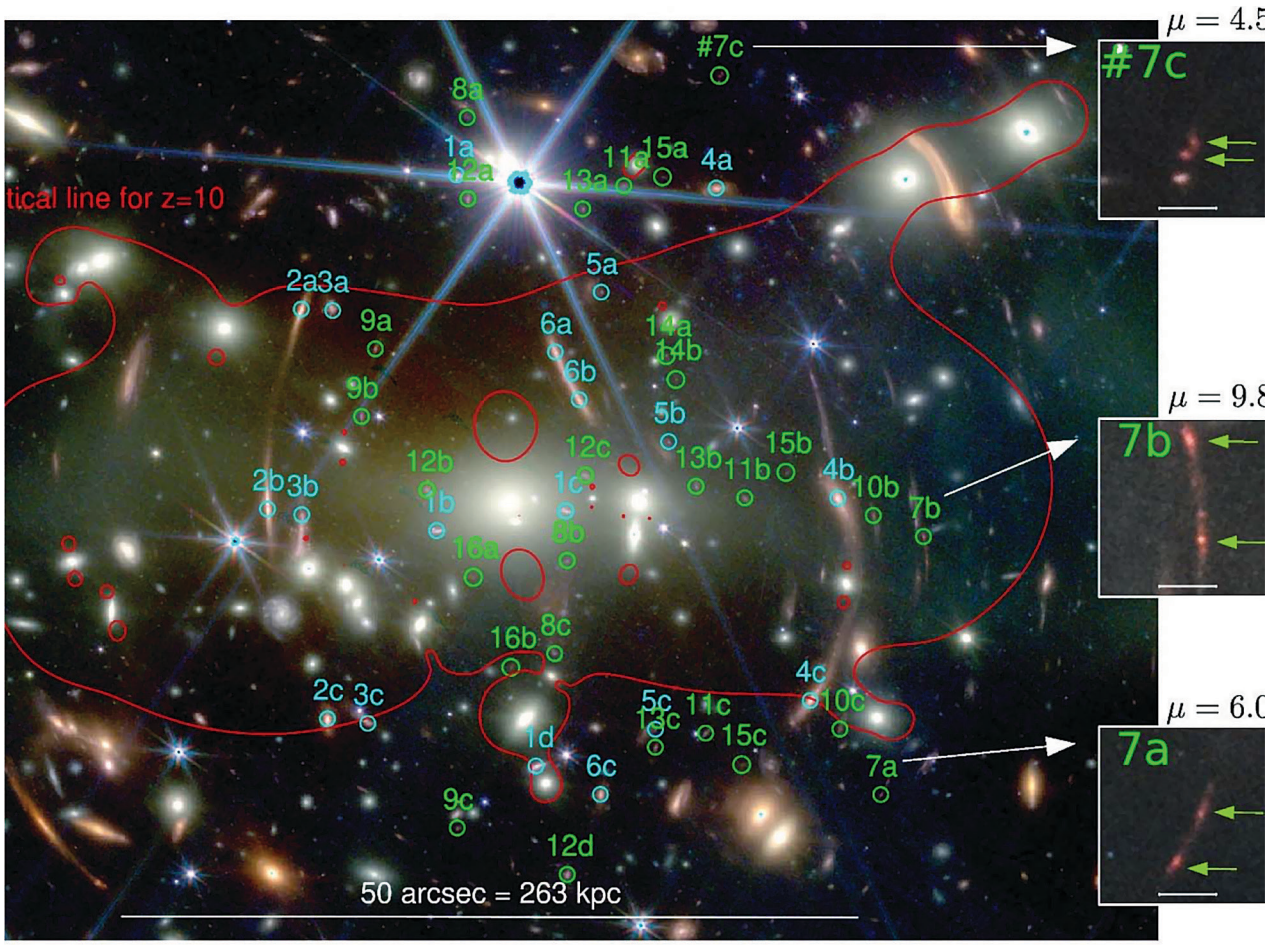
در مارس سال ۲۰۲۲ میلادی، اخترشناسان به کمک عدسی گرانشی ستاره دوردستی را رصد کردند که متعلق به ۹۰۰ میلیون سال بعد از مهبانگ است. یعنی فاصله این ستاره که اِرندل نام گرفت حدود ۱۲/۹ میلیارد سال نوری است. این دورترین ستاره منفردی است که تاکنون کشف شده است. جرم این ستاره بین ۵۰ تا ۱۰۰ برابر جرم خورشید برآورد می‌شود و دمای سطحی‌اش حدود ۲۰۰۰۰ درجه کلوین است. کشف ارندل موجی از هیجان و شگفتی آفرید. این که بتوان ستاره‌ای منفرد را در چنین فاصله زیادی رصد کرد تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسید. ولی در کمال شگفتی چنین ستاره‌ای کشف شد. آیا ارندل یک ستاره عالم آغازین است؟ هنوز مشخص نیست. زیرا همان طور که اشاره شد باید ترکیبات شیمیایی این ستاره مشخص شود.

اخترشناسان بر اساس ترکیبات شیمیایی ستاره‌ها آن‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنند. ستاره‌های جمعیت یک، ستاره‌هایی هستند همانند خورشید که فراوانی عناصری مثل آهن، منیزیم و کلیسم در آن‌ها زیاد است. اما ستاره‌های جمعیتِ دو، آن‌هایی هستند که مقدار بسیار کمی عناصر سنگین‌تر از هیدروژن دارند. هر چند چنین ستاره‌هایی بسیار کمیاب‌اند. ستاره‌های جمعیت سه هم آن‌هایی هستند که کوتاه زمانی بعد از مهبانگ به وجود آمدند و از عناصر سنگین‌تر از هیدروژن کاملاً تُهی هستند. با توجه به این تعاریف هنوز نمی‌دانیم ارندل یک ستاره جمعیت دو است یا جمعیت سه. چنانچه ستاره‌های متعلق به عالم آغازین با قطعیت کشف و شناسایی شوند می‌توان به اسرار با ارزشی درباره نحوه پیدایش و تولد ستاره‌ها دست یافت. بویژه آن که چطور ظهور چنین ستاره‌هایی به عصر تاریکی کیهانی پایان داد.

محققین امیدوارند به کمک تلسکوپ فضایی جیمز وب بتوانند طلوع کیهانی را رصد کنند. عصر تاریکی، دوره‌ای است مرموز که تابشی از آن دریافت نمی‌کنیم؛ ولی نطفه ساختارهای کیهانی نظیر نخستین ستاره‌ها و یا کهکشان‌ها در همان دوره بسته شد. چگونگی چنین ساز و کارهایی همچنان یک معماست. برای آن که وضعیت فعلی عالم را درک کنیم ناگزیر از مطالعه عصر تاریکی هستیم. اکنون اهمیت تابش زمینه کیهانی را بهتر در می‌یابیم. زمان گسیل این تابش فراگیر سرآغاز عصر تاریکی است. هر چند خودِ این تابش نیز دارای افت و خیزهایی است که ریشه آن به مهبانگ و فرایندهای پس از آن باز می‌گردد.

بدین‌سان کشف و شناسایی دورترین ساختارهای کیهانی همانند ماشین زمان از گذشته هستی پرده‌برداری می‌کند. اگر چه به نظر می‌رسد مهبانگ سرآغاز عالم بوده است، نحوه پیدایشِ ساختارهای کیهانی چندان شناخته شده نیست. بویژه چگونگیِ شکل‌گیری کهکشان‌ها یک سوال چالشی است. تعداد کهکشان‌های عالم از شمارش خارج است. شکل و ساختارهای آن‌ها نیز بسیار متنوع و البته مسحور کننده‌اند. آیا این کهکشان‌ها از بدو تولد این گونه بوده‌اند؟ و یا این که در ابتدا ساختارهایی کوچک‌تر بودند که بعد بتدریج تحول یافتند؟ شاید دستیابی به پاسخ چنین پرسش‌هایی در گرو شناسایی و رصد دورترین کهکشان‌ها عالم باشد. یعنی زمانی که کهکشان‌های بسیار جوان در حالِ تکوین بوده‌اند. اما دورترین کهکشان‌هایی که تاکنون کشف شده‌اند در چه فاصله‌ای قرار دارند؟

نخستین تصویری که محققین تلسکوپ فضایی جیمز وب منتشر کردند تصویر میدان ژرف بود. در این تصویر تعداد پرشماری از کهکشان‌ها دیده می‌شوند. اخترشناسان بر این باورند که برخی از این اجرام در فاصله بیش از ۱۳ میلیارد سال نوری قرار دارند. اخترشناسان با مطالعه تعداد تصاویر ناشی از عدسی گرانشی می‌توانند نحوه توزیع جرم در خوشه کهکشانی را به دست آورند. محققین تلسکوپ فضایی هابل، در همین ناحیه موفق شده بودند ۱۹ تصویر از ۶ کهکشان زمینه را شناسایی کنند. یعنی خوشه کهکشانی از ۶ کهکشان



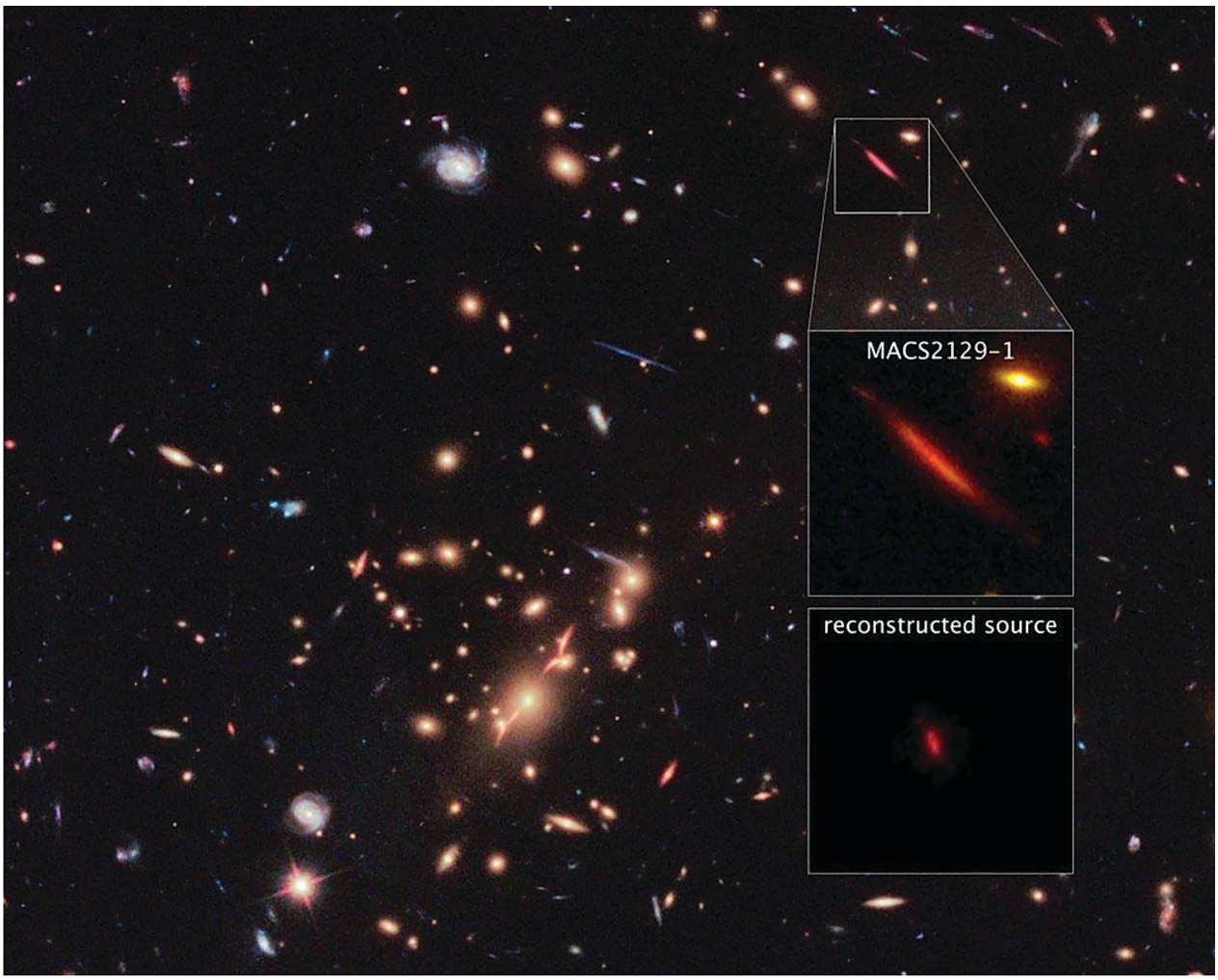
تصویر میدان ژرف تلسکوپ وب. اخترشناسان معتقدند برخی از اجرامی که در این تصویر دیده می‌شوند در فاصله بیش از ۱۳ میلیارد سال نوری قرار دارند.

دوردست زمینه به دلیل جاذبه گرانشی ۱۹ تصویر ایجاد کرده بود. اما تصویر جدید جیمز وب این امکان را فراهم کرد که تعداد بیش‌تری از تصاویر ناشی از عدسی گرانشی شناسایی شوند.

اخترشناسان موفق شدند ۲۷ تصویر دیگر ناشی از ۱۰ منبع کیهانی دیگر را شناسایی کنند. در واقع، تصویر وب با جزییاتی حیرت‌انگیز این کهکشان‌های دوردست و تصویر آن‌ها را به نمایش گذاشت. یکی از این اجرام در فاصله ۱۳ میلیارد سال نوری قرار دارد. یعنی نور آن زمانی گسیل شده بود که از عمر عالم حدود ۸۰۰ میلیون سال سپری شده بود. از این کهکشان به دلیل پدیده عدسی گرانشی سه تصویر قابل رصد به وجود آمده است. همچنین جرم خوشه کهکشانی ۸۶۰۰۰ میلیارد برابر جرم خورشید و اندازه مجموعه حدود ۱۲۸۰۰۰ پارسک به دست آمد. (هر پارسک معادل ۳/۲۶ سال نوری است.)

محاسبات مبتنی بر مدل مهبانگ نشان می‌دهند که احتمالاً کهکشان‌های عالم آغازین شبیه کهکشان‌های فعلی نیستند. این کهکشان‌ها عمدتاً از هیدروژن و هلیوم تشکیل شده‌اند. بعلاوه هنوز مرگ ستاره‌ها و حضور عناصر سنگین‌تر از هلیوم را تجربه نکرده‌اند. از همه این‌ها گذشته، کهکشان‌های عالم آغازین در مقایسه کهکشان‌های فعلی بسیار کوچک‌تر و نامنظم‌تر هستند. یکی از کهکشان‌های دوردستی که تاکنون شناسایی شده است چنین نام دارد: MACS2129-1. فاصله این کهکشان حدود ۱۰/۷ میلیارد سال نوری برآورد می‌شود.

تحقیقات نشان می‌دهند که ستاره‌زایی در کهکشان‌های عالم آغازین بسیار آهنگ بالایی دارد. یعنی در آن‌ها ستاره‌ها به سرعت در حال تکوین و رشد هستند. هنوز به درستی نمی‌دانیم که چرا نرخ ستاره‌زایی در این کهکشان‌ها این چنین بالاست. اما یکی دیگر از



تصویر یکی از کهکشان‌های دوردست؛ فاصله آن حدود ۱۰/۷ میلیارد سال نوری است.

کهکشـــان‌های دوردست GN-z11 نام دارد که فاصله‌اش حدود ۱۳/۴ میلیارد ســـال نوری اســـت. یعنی نوری که از این کهکشان می‌بینیم زمانی گسیل شده که ســـن عالم فقط ۴۰۰ میلیون سال بوده است. همان‌طور که در تصویر دیده می‌شـــود این کهکشـــان شکل منظمی ندارد. همانند یک توده ابری به نظر می‌رسد. در واقع، این کهکشان‌ها مراحل اولیه رشد و تکوین را تجربه می‌کند.

به نظر می‌رســـد اطلاعات رصدی به دست آمده بر اساس نظریه مهبانـــگ قابل توضیح دادن هســـتند. مجموعـــه اطلاعاتی که از این کهکشان‌های دوردست حاصل شـــده‌اند به نوعی تأیید کننده نظریه مهبانگ هستند. اما باید یک نکته مهم را توجه داشته باشیم. نکته‌ای که با یک پرســـش کلیدی دیگر ارتباط تنگاتنگـــی دارد: اندازه عالم چقدر است؟!

مشاهده کهکشان‌های دور وضعیت گذشته عالم را نشان می‌دهد. هر چه فاصله دورتر باشـــد، کهکشان جوان‌تر است. اما این بدان معنا نیســـت که آن چه رصد می‌کنیم همچنان در این فاصله وجود دارند. همان طور که پیشتر اشاره شد عالم در حالِ انبساط است. یعنی همه اجرام کیهانی در فاصله‌های خیلی زیاد در حالِ دور شـــدن از یکدیگر هســـتند. در نتیجه، آن چه که الان رصد می‌کنیم متعلق به گذشته اســـت؛ و اکنون قطعاً در فاصله‌های بسیار دورتری قرار دارد. البته اگر هنوز وجود داشـــته باشد! برای مثال، کهکشانی را تجسم کنید که در فاصله ۱۳ میلیارد ســـال نوری اســـت. یعنی نوری که از آن می‌بینیم متعلق به ۱۳ میلیارد ســـال قبل است. طی این مدت این کهکشان از ما دور شده است. با توجه به آهنگ انبساط عالم این کهکشان احتمالاً در فاصله ۹۰ میلیارد ســـال نوری قرار دارد! یعنی حتی اگر هم هنوز

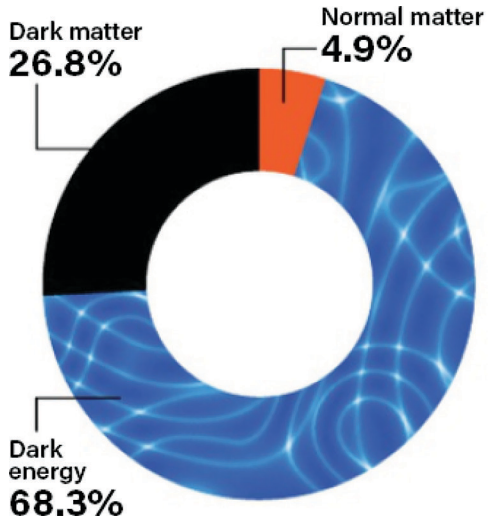
وجود داشته باشـــد، نوری که همین الان ارسال می‌کند بیش از ۹۰ میلیارد ســـال دیگر به ما می‌رسد. البته می‌دانیم که از عمر خورشید حدود ۵ میلیارد ســـال باقیمانده است. پس در آن روزگار نه خورشید هســـت و نه زمینی! این تصویر از اندازه عالم بسیار تکان‌دهنده است. ولی نظریه مهبانگ چنین ســـناریویی را در برابرمان قرار می‌دهد. اما پرســـش کلیدیِ همچنان به قوت خود باقی اســـت: آیا عالم محدود است؟ و احتمالاً چه شکلی می‌تواند داشته باشد؟!

نظریه مهبانگ در این زمینه نیز پاســـخ‌های جالب توجهی دارد. بر اســـاس این نظریه باید مجموعه‌ای از کمیت‌های مهم درباره عالم اندازه‌گیری شـــوند. با دانســـتن آن‌ها می‌توان به چنین پرسشـــهایی پاسخ داد. کمیت‌های نظیر چگالی عالم و یا آهنگ انبساط. بر اساس داده‌های رصدی فعلی به نظر می‌رســـد هندســـه عالـــم تخت و البته نامحدود اســـت. هر چند داده‌های رصد جدید ممکن است به یکباره این تصویر را دگرگون سازد.

نظریه مهبانگ با همه دســـتاوردهایی که تاکنون داشـــته اســـت نمی‌توانـــد برخـــی از معماهای عجیب کیهان را پاســـخ دهد. یکی از این معماها "ماده تاریک" است. در دهه ۱۹۳۰ میلادی، اخترشناسی به نام زویســـکی نحوه حرکت کهکشـــان‌ها در یک خوشه کهکشانی را مطالعه می‌کرد. ســـرعت این کهکشـــان‌ها متأثر از جاذبه گرانشی بقیه کهکشـــان‌ها و به طور کلی جرم موجود در خوشه است. آن چه زویســـکی دریافت عجیب بود: سرعت کهکشـــان‌ها بسیار بیش‌تر از مقـــداری بود که وجودِ جرم مرئـــی بتواند توضیح دهد. به بیان دیگر، گویی مقداری جرم نامرئی در این خوشـــه کهکشـــانی وجود دارد که نیروی گرانش آن‌ها عامل اصلی این مازاد سرعت کهکشان‌های رصد شده است. ولی سرشت چنین ماده‌ای چه می‌تواند باشد؟

ایده ماده تاریک و یافته زویســـکی چندان جدی گرفته نشد. در دهه ۱۹۷۰ میلادی، اخترشناســـی به نـــام ورا روبین نحوه چرخش کهکشـــان‌ها را مطالعه می‌کرد. یعنی این که بخشـــهای مختلف یک کهکشـــان چگونه حول مرکز آن می‌چرخند. انتظار این بود که با دور شـــدن از مرکز کهکشان، آهنگ چرخش کاهش یابد. اما آنچه روبین یافت حیرت‌انگیز بود: با دور شـــدن از مرکز کهکشان، آهنگ دورانی کاهش نیافت! گویی جرم نامرئی در کهکشـــان وجود دارد که نیروی گرانش وارد می‌کند ولی دیده نمی‌شود. بدین‌سان توجه اخترشناسان به ماده تاریک جلب شد. امروزه تلاش‌های بسیاری می‌شود تا سرشت و ماهیت ماده تاریک شـــناخته شـــود. جالب اینجاست که نامزدهایی هم برای ماده تاریک معرفی شـــده‌اند؛ و البته آزمایش‌هایی هم برای آشکارسازی مستقیم ذرات ماده (در صورت وجود!) در جریان هستند. ولی همه این تلاش‌ها تاکنون نـــاکام مانده‌اند. بعلاوه نظریه مهبانگ نمی‌توانـــد توضیح دهد چرا بخش بزرگی از مـــاده موجود در عالم به صورت نامرئی است. اما ماده تاریک تنها معمای حل نشده نیست.

اخترشناســـان به شواهد جدی دســـت یافتند که آهنگ انبساط



عالم از ماده معمولی، ماده تاریک و انرژی تاریک تشکیل شده است.

عالم یکنواخت نیســـت. در واقع، به نظر می‌رسد در فاصله‌های دورتر نحوه انبساط عالم شتابدار است. این بدان معناست که متناظر با فضا یک انرژی وجود دارد که باعث می‌شـــود انبساط عالم شتابدار باشد. اخترشناســـان این انرژی ناشـــناخته متناظر با فضا را "انرژی تاریک" می‌نامند. البته صفت تاریک در اینجا تأکیدی است بر ناشناخته بودن آن و با نور و یا تابش ارتباطی ندارد.

بنابراین، موجودی عالم را می‌توانیم به ســـه بخش اصلی تقسیم کنیم: ماده مرئی و تابشـــی کـــه می‌بینیم. این شـــامل همه اجرام و کهکشـــان‌ها و یا ستاره‌هایی می‌شـــوند که به نوعی در گستره طیف الکترومغناطیســـی قابل رصد و مطالعه هســـتند. مـــاده تاریک که به هیچ عنوان تابش الکترومغناطیسی از آن دریافت نمی‌کنیم، ولی این ماده نیروی گرانشـــی اِعمال می‌کند. ســـومین مؤلفه عالم نیز انرژی تاریک اســـت. اخترشناسان بر اساس مطالعات گسترده دریافته‌اند که همه آن چه بـــه عنوان ماده مرئی در عالم می‌بینیم کم‌تر از ۵ درصد موجودی کیهان اســـت! یعنی بیش از ۹۵ درصـــد موجودی عالم به صـــورت ماده تاریک و انرژی تاریک هســـتند. ایـــن یکی از معماهای جدی کیهان‌شناســـی نوین اســـت. هنوز نمی‌دانیم چرا بخش بزرگی از موجودی عالم ناشـــناخته‌اند. نظریه مهبانگ نمی‌تواند توضیح دهد که چرا چنین شده اســـت. امروزه مطالعات گسترده‌ای برای شناخت سرشت ماده تاریک و انرژی تاریک در حالِ انجام است.

طبیعی اســـت که بخواهیـــم بدانیم قبل از مهبانـــگ چه اتفاقی افتاد. سال‌هاست که کیهان‌شناســـان در پاسخ این پرسش می‌گویند ناشناخته است، غیر قابل شناختن است، یا هیچی وجود نداشت حتی زمـــان. اگر عالم در حال انبســـاط را به عقب برگردیـــم، در نهایت به

نقطه‌ای با چگالی بینهایت می‌رسیم که قوانین شناخته شده فیزیک در هم می‌شکنند. نظریه مهبانگ این امکان را رد نمی‌کند که عالمی از قبل وجود داشت و ما از آن پا به عرصه وجود گذاشتیم؛ اما اگر چنین چیزی هم وجود داشته، خارج از حیطه علم بود.

اما بعد وضع عوض شد. اکنون کیهان‌شناسان شناخته شده مطرح می‌کنند که مهبانگ داخل فضا، عالم و یا شبکه‌ای از جهان‌هایی که از قبل وجود داشتند روی داده است. البته قبل از پیدایش عالمِ قابلِ مشاهده هیچ اتفاقی نمی‌توانسته رُخ دهد، اما امروزه دانشمندان با وسعت بخشیدن به دیدگاه‌شان قادرند درباره وقایع "قبل" از مهبانگ گمانه‌زنی کنند. و برای برخی، این تلاش برای واکاوی ژرف‌ترین خاستگاه‌های کیهانی با یک جستجو بزرگ دیگر گره خورده است؛ یعنی ماهیت زمان، و این که چرا این‌گونه ما را بی‌پروا به سوی آینده سوق می‌دهد.

بنابراین قبل از مهبانگ چه شد؟ تقریباً به تعداد نظریه‌پردازان در این زمینه نظریه وجود دارد، اما این نظریه‌ها را می‌توان به چند دسته کلی تقسیم کرد. در برخی نظریه‌ها فضایی که به سرعت در انبساط است به ظهور عوالم جدید می‌انجامد، همانند حباب‌هایی که در یک ظرفِ آبِ جوشان پدیدار می‌شوند. نظریه‌های دیگر طرفدار انبساط آرام فضا هستند که گاهی عالم‌هایی نورسیده مملو از انرژی و ماده متولد می‌شوند. در یک سناریو، مهبانگ بیش‌تر یک "بازگشت بزرگ" بود، یعنی مرحله بازگشتی یک عالم در حالِ انقباض. هر چند این تصورات کیهانی بیش از علمی بودن روان‌پریشان به نظر می‌رسند، تأثیرات آن چه قبل از مهبانگ رُخ داد، نمی‌بایست غیر قابل مشاهده باشند آن چنان که زمانی می‌پنداشتیم.

آن چه از مشاهدات می‌دانیم در مقیاس بزرگ است. کهکشان‌ها که در سرتاسر گیتی پراکنده شدند در حالِ دور شدن از یکدیگر هستند. عالم در حالِ انبساط است، و اگر از نظر زمانی به عقب برگردیم، کل پیکره عالَم به یک سوپ بسیار چگال و با دمای تریلیون درجه از ذرات متراکم می‌شود. این بخشی از نظریه مهبانگ است که تأیید شده می‌ماند. زمانی که این نظریه مطرح شد، چند پیش‌بینی مشخص داشت. از جمله آن که فراوانی عناصری مثل هیدروژن، هلیوم و لیتیوم باید مقادیری مشخص باشند و بعلاوه تابش ناشی از مهبانگ، امروزه باید به صورت یک تابش زمینه کیهانی قابل آشکاری‌سازی باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد هر دو پیش‌بینی به طرز خیره‌کننده‌ای تأیید شدند.

اما تا دهه ۱۹۷۰ میلادی مشکلاتی ظاهر شد که روشن ساخت این نظریه باید اصلاح شود. نظریه مهبانگ نتوانست همگنی نسبی عالم را توضیح دهد. در مقیاس بزرگ، توزیع کهکشان‌ها در همه جهت‌ها یکسان است، گویی در سرتاسر آسمان‌ها کاملاً مخلوط شده‌اند. اما بر طبق نظریه مهبانگ اصلی، از نظر فیزیکی غیر ممکن است که کهکشان‌ها بتوانند در مدت محدود عمر عالم این چنین مخلوط و پراکنده شده باشند. زمان کافی وجود نداشته است.

در سال ۱۹۸۱ میلادی، آلن گوث ایده‌ای را مطرح کرد که به نظر می‌رسید این مشکل را حل می‌کند. او پیشنهاد کرد که در ابتدا انبساط بسیار سریع روی داد، و بعد انبساط متعارف عالم تا به امروز ادامه یافت. گوث این ایده را تورم نامید. بر پایه پیشنهاد گوث، بقیه نظریه‌پردازان نوع عجیبی از انرژی را پیش کشیدند که با خلق یک نیروی دافعه این انبساط سریع نمایی را ایجاد می‌کند. چگالی این انرژی به عوض کم شدن، همچنان ثابت می‌ماند. و همین طور که فضا رشد می‌کند، مقدار کل این انرژی هم بسیار زیاد شد تا در نهایت به ماده معمولی و تابش تبدیل شد. همین طور که به نظر می‌رسد این سناریو عجیب است، اما بخش کوچکی از فضای همین عالم قابل مشاهده و بزرگ ما را تشکیل داد. اما امروزه برخی کیهان‌شناسان معتقدند که تورم رویدادی قبل از مهبانگ بود. بر این اساس نظریه‌های مختلفی برای مراحل قبل از مهبانگ ارائه شده‌اند. اما هنوز هیچکدام از این نظریه‌ها به لحاظ رصدی تأیید نشده‌اند.

با این که معماهای بسیاری درباره نحوه پیدایش عالم وجود دارند، نظریه مهبانگ دستاوردهای بی‌نظیری داشته است. کافی است وضعیت فعلی را با ابتدای قرن حاضر مقایسه کنیم که نظریه نسبیت عام اینشتین بسط و تکوین یافت. اکنون می‌دانیم عالم در حالِ انبساط است و پس‌تاب ناشی از آتش‌گوی آغازین را کشف کرده‌ایم. می‌دانیم احتمالاً عالم حدود ۱۳/۸ میلیارد سال پیش پا به عرصه وجود نهاده است. درباره قبل از مهبانگ نظریه‌پردازی می‌کنیم. ولی هنوز پرسش‌های بی‌پاسخ بسیار داریم. باید منتظر تحولات شگرفی باشیم!

تهران،

بلوار کشاورز، خیابان جمال‌زاده شمالی،
نبش کوچه شیبانی، شماره ۳۵۹
تلفن : ۶۶۵۶۵۷۵۷
فکس: ۶۶۴۲۸۷۸۱
info@basirclinic.ir

شیراز،

بلوار پاسداران، خیابان مبعث نرسیده
به پارک حدیث
تلفن : ۰۷۱۳ ۶۴۸۴۸۱۴
۰۷۱۳ ۸۲۳۴۶۷۸
فکس: ۰۷۱۳ ۶۴۸۳۰۶۹
shirazinfo@basirclinic.ir

کرمان،

خیابان استقلال کوچه شماره ۱۰ ، پلاک ۶۴
تلفکس : ۰۳۴۳ ۲۵۲۲۶۳۰
kermaninfo@basirclinic.ir