

چشم اندازی به عدد طلایی فی (φ)

فائزه موسوی موحدی^{*}

چکیده

عدد فی یا نسبت طلایی که عددی معادل $1/618$ است، از دوران باستان به عنوان زیباترین عدد برای انسان شناخته شده و مورد توجه بسیاری از دانشمندان و هنرمندان بوده است؛ نام فی از حرف اول نام فیدئاس، هنرمند و مجسمه ساز یونانی گرفته شده است. ساختارهای هندسی از جمله مستطیل، مثلث و مارپیچ طلایی دارای نسبت و یا زاویه ی طلایی ($137/5$) هستند، علاوه بر داشتن تناسبی که در نظر انسان زیبایی می آفریند، خشت اول تقارن در طبیعت می باشد. همچنین توالی اعداد فیبوناچی که نسبت جملات آن به هم نزدیک به فی است، در طبیعت بسیار تکرار می شود. فی را می توان در عالم از کهکشان ها تا ساختار کریستالی مولکول ها یافت؛ این عدد موجب تقارن، بهترین چیدمان هندسی و زیبایی است. در فضا چرخش مارپیچ کهکشان ها از مارپیچ لوگاریتمی الگو می گیرد و با کوچک کردن مقیاس دید به منظومه ی شمسی مشاهده می شود که میانگین مسافت مدار سیارات به هم و ساختار خود سیارات و ماه های آنها، همه از نسبت طلایی تبعیت می-کند. این نسبت در فیلوتاکسی و ساختار گیاهان برای بهترین جایگزینی و دریافت نور مفید؛ در الگوی رشد و شجرنامه ی حیوانات؛ همچنین در زیبایی ساختار و سلامتی بدن انسان نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. عدد فی در هنر و معماری به عنوان یک اصل شناخته می شود. این نسبت در معماری اهرام بزرگ مصر، پارتنون یونان و پرسپولیس ایران نقش کلیدی را بازی می کند؛ در هنر رنسانس بسیار مورد توجه بوده است. در معماری اسلامی برای مثال ساختار عالی قاپو، گنبد تاج الملوک مسجد جامع اصفهان و همچنین در طرح ها و کاشی کاری ها از نسبت طلایی بهره ی زیادی برده اند. در این مقاله با توضیح ریاضیات مربوط به عدد فی و تعریف آن، گزیده ای از اثر عدد فی در طبیعت و هنر تشریح می شود.

واژگان کلیدی: نسبت طلایی، عدد فی، اعداد فیبوناچی، زیبایی، سلامت، تعادل، تقارن، هندسه.

* عهده دار مکاتبات، مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران. پست الکترونیکی: fmoosavi@ut.ac.ir

در تمام مجسمه های پارتنون این نسبت را بکار برد. اقلیدس (۳۲۵ الی ۲۶۵ پیش از میلاد) عدد دقیق ۱/۶۱۸۰۳۹۹ را در کتاب اصول اقلیدس ثبت کرد و اصطلاح تعادل طلایی^۲ را برای آن بکار برد؛ همچنین ارتباط این عدد را با ساختار پنتاگرام یا ستاره ی پنج پر اثبات نمود. در قرون وسطی و همچنین در طول رنسانس نسبت طلایی در ریاضیات چنان همه گیر شد که بیشتر ریاضیدانان را به سوی خود جذب کرد؛ تا جایی که در اوایل قرن ۱۹ پیشنهاد شد تا نسبت طلایی را با حرف یونانی (فی) که اول نام فیدياس است، به نمایش گذارند. توالی فیبوناچی در حیطه ی ۱۲۰۰ میلادی توسط لئوناردو فیبوناچی^۳ (۱۱۷۰ الی ۱۲۵۰ میلادی)، ریاضیدان ایتالیایی، کشف شد. او به یافتن ویژگی های شگفت آور و مرموز این توالی پرداخت و بعداً متوجه ارتباط عمیق آن با عدد فی شد. این نسبت اولین بار در اوایل ۱۵۰۰ میلادی با نام نسبت الهی^۴ خوانده شد، زمانی که داوینچی^۵ بیاناتش را در یک رساله فراهم آورد که بعد توسط دوستش لوکا پاچولی در سال ۱۵۰۹ در کتابی به نام نسبت الهی منتشر شد؛ در این کتاب پنج جسم افلاطونی کشیده شده است [۳-۶]. هنرمندان رنسانس از نسبت طلایی به وفور در نقاشی ها و در مجسمه ها استفاده کرده اند تا به تعادل و زیبایی دست پیدا کنند. این نسبت در نقاشی های داوینچی به شدت مشهود است، از آن جمله می توان نقاشی شام آخر، مرد ویتورین، مونالیزا را نام برد. دانشمندانی مانند یوهانس کپلر، مارتین اهم، مارک بار و ... از جمله کسانی هستند که مفهوم نسبت طلایی را در کارهایشان منعکس می کنند. به بیان یوهانس کپلر ریاضیدان بزرگ آلمانی (۱۵۷۹-۱۶۳۰)، هندسه دو گنجه ی بزرگ دارد؛ یکی قضیه ی فیثاغورث و دیگری نسبت طلایی. این عدد در علوم نوین و مخصوصاً در فیزیک تئوری کاربرد بسیار دارد [۴]. فیزیکدانان آن را در رفتار نور و اتم مطالعه کرده، ریاضیدانان در بررسی پنتاگرام و تحلیل گران اقتصادی آن را در بالا و پایین شدن بورس می یابند. این مقاله در صدد معرفی عدد فی، در سه بخش عمده جای گرفته است. پس از فهم

طبیعت یک تصویر هلوگرافیکی فوق العاده ای است که هر جزء آن، آینه ای از کل است؛ به گفته ی فیزیک دان بزرگ دیوید بوهم «این ویژگی اساسی ارتباطات متقابل کوانتومی است که کل عالم در همه چیز نهفته و همه چیز در کل عالم، پیچیده باشد». این پیوند بین جز و کل از طریق تقارنی بر مبنای «نسبت» شکل گرفته و نیرویی برای نظم دادن به پریشانی عالم است. در این راستا به طور خاص عددی با نام عدد فی (Φ) مطرح می شود؛ این نسبت به ظاهر ساده و اعداد فیبوناچی با تکرار خود در ابعاد همگرا، یکی از عوامل پیش برنده در روند رشد طبیعت هستند [۱، ۲].

عدد فی که با نام های نسبت طلایی، بخش طلایی، برش طلایی، نسبت الهی، عدد فیبوناچی و نیز نسبت فیدياس مطرح می شود، از دوران باستان مورد توجه ریاضی دانان، فیزیک دانان، فیلسوفان، مهندسان و اساس کار بسیاری از هنرمندان و موسیقی دانان قرار گرفته است [۳]. ویژگی های خاص این عدد، دروازه ای به سوی فهم عمیق زیبایی، روح جهان واقعی و عالم می گشاید؛ به همین دلیل آن را با نسبت طلایی^۱ می خوانند.

نسبت طلایی از گذشته های دور توجه بشر را به خود جلب کرده و یک مسیر طولانی را در زمین گذران کرده است؛ اما اینکه این ایده اولین بار توسط چه کسی و کجا مطرح شد، دارای گذشته ای نامعلوم است. مطالعات نشان می دهد که مهندسان بدوی از وجود هر دو عدد پی (π) و فی (Φ) مطلع بودند و برای مثال در اهرام بزرگ مصر و همچنین در طراحی پارتنون (معبد الهه ی آتنا که پیش از ۴۰۰ سال قبل از میلاد در یونان ساخته شده است)، از آن استفاده شده است. افلاطون (۴۲۷ الی ۳۴۷ قبل از میلاد) در اثر تیمائوس خود که نظراتش را در حیطه ی کیهان شناسی و علوم طبیعی بیان کرده، نسبت طلایی را مهمترین اتصال روابط ریاضی و کلید فیزیک جهان هستی می داند. فیدياس پیکرتراش بزرگ، نقاش، معمار و ریاضی دان یونانی (۴۳۰ تا ۴۸۰ قبل از میلاد)، به مطالعه ی عدد فی پرداخت و

1. Golden Ratio
2. Golden Mean
3. Leonardo Fibonacci

4. Devine Proportion (De Divina Proportione)
5. Leonardo da Vinci

می شود و در شکل c۲ نمایش داده شده است.

توالی فیوناچی

لئوناردو فیوناچی (۱۲۵۰-۱۱۷۰ میلادی) ریاضیدان بزرگ ایتالیایی در قرن ۱۲ است. یکی از مهمترین تحقیقات او در مورد رشد جمعیت خرگوش ها در شرایط ایده آل بود؛ بدین صورت که اگر یک جفت خرگوش (ماده و نر) را ۱۲ ماه با وجود آب و غذای کافی، بدون اینکه صید شوند یا فرار کنند و یا بمیرند و با در نظر گرفتن اینکه تمام خرگوش های ماده توانایی تولیدمثل داشته باشند، در یک باغ با محیط بسته قرار دهند، روند رشد جمعیت در نسل های متوالی چگونه خواهد بود. پاسخ این آزمایش (شکل ۳) او را به یک توالی مشخصی از اعداد رساند، که بعد به نام توالی فیوناچی نامیده شد [۴، ۷].

یک جفت خرگوش را در نظر بگیرید. خرگوش ها یک ماه طول می کشد تا بعد از تولد به بلوغ برسند و بتوانند تولیدمثل کنند. همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده، ماه اول هیچ جفتی متولد نمی شود؛ در ماه دوم این جفت به بلوغ رسیده و جفتی دیگر را بوجود می آورند. فرزندان نیز با همین روند در طی ماه های آینده جفت های دیگری را بوجود می آورند. تعداد جفت ها در هر نسل شمارش شده و ثبت می گردد و توالی خاصی تکرار می شود [۷، ۸].

توالی عددی ۰، ۱، ۱، ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۳، ۲۱، ۳۴، ۵۵، ۸۹، ۱۴۴، ۲۳۳، ۳۷۷، ۶۱۰، ۹۸۷، و ... را ریاضیدان فرانسوی، ادروارد لوکاس حدود سال ۱۸۷۶، به نام «توالی فیوناچی» نام گذاری نمود [۹]. در این تصاعد هر جمله برابر مجموع دو جمله ی پیشین خود است (به جز دو جمله ی اول)؛ همچنین خارج قسمت دو جمله ی کنار هم نزدیک به عدد اعجاب انگیز $\frac{1}{618}$ می باشد [۷، ۸]. جالب است بدانیم که φ در الفبای یونانی در جایگاه ۲۱مین حرف قرار دارد که نه تنها خود این عدد بلکه جمع الجمع آن یعنی عدد ۳ (۳=۱+۲) عضو توالی فیوناچی هستند [۴].

اعداد فیوناچی یکی از سیستم های عددی طبیعت است که نه تنها جمعیت رشد خرگوش ها از آن تبعیت می کند بلکه ردپای آن را

بهرتر ریاضیات مربوط به عدد فی، گزیده ای از کاربرد آن در طبیعت و معماری بیان شده است.

عدد فی و توالی فیوناچی

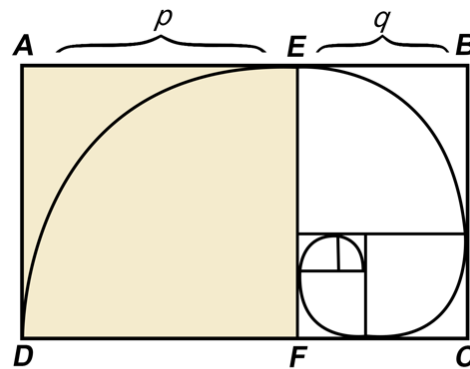
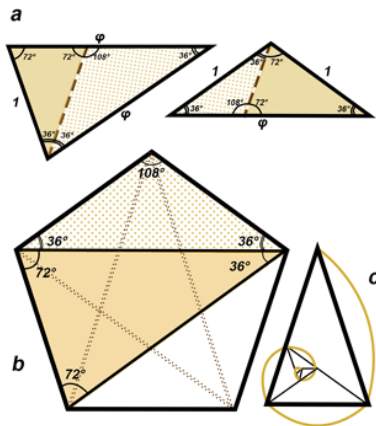
مفهوم نسبت طلایی

در ریاضیات دو کمیت وقتی دارای نسبت طلایی هستند که نسبت جمع آن دو، بر کمیت بزرگ تر (p) و یا نسبت کمیت بزرگ تر به کمیت کوچک تر (q) برابر با عدد گنگ فی یعنی $\frac{1}{618.0339887}$ باشد؛ که به صورت شکل ۱ نمایش داده شده است.

به مستطیلی که نسبت طول به عرض آن برابر با عدد فی باشد، مستطیل طلایی گفته می شود. همانطور که در شکل ۱ مشخص است، مستطیل ABCD یک مستطیل طلایی است؛ خط EF این مستطیل را به دو قسمت (یک مربع و یک مستطیل) تقسیم کرده که نسبت مساحت آنها برابر با عدد فی است. همینطور این روند با تقسیم مستطیل کوچک ادامه می یابد و یک شکل مارپیچی به خود می گیرد که حاصل آن یک مارپیچ طلایی است. مارپیچ طلایی مارپیچی است که از نقطه اولیه با زاویه ای می چرخد که اگر از نقطه ی وسط آن یک خط رسم کنیم، نسبت هر بخش به بخش قبلی معادل عدد فی باشد [۱].

مثلث طلایی یک مثلث متساوی الساقین است که به صورت شکل a۲ رسم می شود. در یکی از آنها دو زاویه ی روبه روی رأس 72° بوده و رأس 36° است؛ در دیگری دو زاویه ی روبه روی رأس 36° و خود رأس 108° باشد. در این مثلث ها هر یک از اضلاع به قاعده دارای نسبت طلایی هستند. همچنین عدد فی در زاویه ی مثلث های طلایی پنهان شده است؛ به طوری که میزان مطلق کوسینوس هر یک از زاویه ها برابر با $\frac{\phi}{2}$ است [۱، ۴].

در جهان طبیعی نمونه های بسیاری از اشکال پنج ضلعی منظم یا ده ضلعی وجود دارد که رابطه ی تنگاتنگی با عدد φ دارد. مثلث طلایی از این جهت که پایه ی ساخت اشکال پنج و ده ضلعی است اهمیت شایانی دارد (شکل b۲). از تقسیم بندی مثلث طلایی بر قسمت های کوچک تر طلایی آن، مارپیچ طلایی رسم می گردد که به آن مارپیچ لوگاریتمی نیز گفته



$$\varphi = \frac{p}{q} = \frac{p+q}{p} = 1.61803$$

شکل ۲: (a) نشان دهنده ی دو نوع مثلث طلایی است. نسبت اضلاع به قاعده نشان داده شده است و همچنین خطی هر کدام را به دو قسمت طلایی تقسیم کرده است. (b) پنج ضلعی و ستاره ی پنج رأس از مثلث هایی که طلایی هستند شکل گرفته اند. (c) مارپیچ طلایی از بهم وصل کردن نقاط اتصال مثلث های طلایی شکل می گیرد.

شکل ۱: خط AB بر روی طول مستطیل به دو قسمت با کمیت های p و q تقسیم شده که نسبت این دو معادل عدد فی می باشد. مستطیل ABCD نشان دهنده ی یک مستطیل طلایی است و نسبت طول به عرض آن معادل عدد فی می باشد. خط EF آن را به دو قسمت با نسبت طلایی تقسیم نموده و به همین صورت تقسیم بندی مستطیل به قسمت های کوچک تر مارپیچ طلایی بدست می آید.

است؛ در فرایندهای طبیعی انرژی از مرکز در یک تناسب لوگاریتمی و دقیقاً به شکل مارپیچ طلایی پخش می شود. این مارپیچ را می توان در الگوی چرخش عاج فیل، شاخ گوزن، ناخن قناری، طرح روی آناناس تا شکل کهکشان مشاهده کرد. طرح روی اثر انگشت تا پیچ و تاب مژگان از مارپیچ طلایی تبعیت می کنند. سیارات منظومه شمسی طبق الگوی مارپیچ طلایی در فضا قرار گرفته، انگار از خورشید متشعشع می شوند؛ کهکشان ها بر این ریتم شکل می گیرند [۱۰].

هر جایی در طبیعت از آرایش های برگگی و گلبرگی در گیاهان تا ساختار فضا می بینید.

نسبت طلایی و توالی فیبوناچی در زیبایی طبیعت

در فضا

شاید بهتر باشد سفرمان را برای شناخت عدد فی در طبیعت از کهکشان شروع کنیم. ستاره شناسان کهکشان ها را به سه دسته اصلی تقسیم می کنند: کهکشان های مارپیچی، کهکشان های بیضوی و کهکشان هایی که نه بیضوی و نه مارپیچی هستند و کهکشان های نامنظم نامیده می شوند. کهکشان های مارپیچی معمولاً از سه بخش تشکیل شده است: یک دیسک چرخان که از چند بازو تشکیل شده و اغلب ستارگان آن در اینجا

نسبت طلایی در الگوی رشد بسیاری از سیستم های بیولوژیکی نقش کلیدی دارد و به دلیل خاصیت ریاضی و هندسی آن، به صورت های گوناگون در طبیعت متجلی می شود. در واقع این عدد تقارن اول طبیعت است. گیاهان، حیوانات و حتی انسان همگی با دقتی بسیار بالا جوهری از ضرایب فی به یک هستند. نسبت طلایی به دلیل تطابق با قوانین طبیعی، انتخاب خوبی به شمار می آید که در این راستا سه جایگاه قابل ذکر است: تقارن، چیدمان هندسی در مطلوب ترین فضا و الگوی رشد مارپیچی [۱].

نسبت طلایی در سراسر جهان هستی دیده می شود. از گرداب ها و موج های دریا تا سه حلقه ی سیاره ی زحل، کهکشان راه شیری و فاصله ی نسبی سیارات در منظومه ی شمسی از نسبت طلایی تبعیت می کنند. مارپیچ طلایی قانون روند تشعشع انرژی در طبیعت

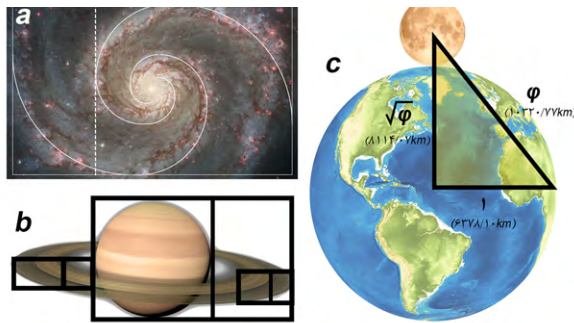
1. Optimal spacing

واقعه؛ مرکز آن یک برآمدگی کره مانند است که معمولاً شامل ستارگان پیر بوده و همچنین سیاه چاله ای که در مرکز قرار دارد. ستاره ها و گازها در قسمت دیسک همه به صورت هم جهت به دور مرکز کهکشانی با سرعت صدها کیلومتر بر ثانیه به شکل مارپیچی می چرخند. مرکز یک سری از این کهکشان ها میله ای شکل است و بعضی دیگر گرد هستند که بر همین اساس کهکشان ها نامگذاری می شوند. کهکشان M51 یا کهکشان گرداب (شکل a) برای مثال یک کهکشان مارپیچی است که در فاصله ی ۳۱ میلیون سال نوری از زمین قرار دارد. فرم چرخش مارپیچ این کهکشان ها از مارپیچ لوگاریتمی تبعیت می کند که با افزایش مسافت از مرکز، زاویه ی چرخش افزایش می یابد. این کهکشان دارای دو مارپیچ طلایی است که هر دو به یک سو می چرخند؛ کهکشان راه شیری نیز از این داستان پیروی می کند [۴، ۱۱].

در منظومه ی شمسی طول مسافتی که سیارات به دور خورشید می چرخند (مدار) برای عطارد ۵۷/۹۱، زهره ۱۰۸/۲۱، زمین ۱۴۹/۶۰، مریخ ۲۲۷/۹۲، سرس ۴۱۳/۷۹، مشتری ۷۷۸/۵۷، زحل ۱۴۳۳/۵۳، اورانوس ۲۸۷۲/۴۶، نپتون ۴۴۹۵/۰۶ و پلوتو ۵۸۶۹/۶۶ میلیون کیلومتر (بر طبق ناسا) است. نسبت هر سیاره به سیاره ی قبلی به ترتیب اعداد ۱/۰۰ (نسبت عطارد به خودش)، ۱/۸۶، ۱/۳۸، ۱/۵۲، ۱/۸۱، ۱/۸۸، ۱/۸۴، ۲/۰۰، ۱/۵۶ و ۱/۳۰ محاسبه می شود. جمع کل این اعداد برابر ۱۶/۱۸۷۳۶ و میانگین آنها برابر عدد

۱/۶۱۸۷۴ می شود که بسیار به عدد نسبت طلایی یعنی ۱/۶۱۸۰۳ نزدیک است [۴]. همچنین بوینز با بررسی نسبت میانگین فاصله ی سیارات از خورشید، به این نتیجه رسید که همه ی سیارات منظومه ی شمسی بر روی یک مارپیچ طلایی قرار می گیرد [۱۱]. با عوض کردن مقیاس دید به سطح سیاره ای می رسیم؛ هر سیاره و ماه های آن به نوبه ی خود بر این نسبتند، برای مثال نسبت طول سیاره ی ساتورن به طول حلقه های آن یا نسبت خود حلقه ها به هم بر همین اساس است (شکل b). مقیاس را به زمین و ماه محدودتر می کنیم. شعاع زمین ۶۳۷۸/۱۰ کیلومتر است که آن را معادل ۱ می گیریم؛ شعاع ماه ۱۷۳۵/۹۷ کیلومتر (معادل ۰/۲۷۲) است؛ جمع این دو شعاع (بر اساس معادل ها) ۱/۲۷۲ است. حال بر اساس شکل c یک مثلث می کشیم که یک ضلع آن جمع این دو، ضلع دیگر شعاع استوایی زمین و دیگری وتر است. بر اساس معادله ی فیثاغورث وتر معادل ۱/۶۱۸ است. این مثلث را مثلث کپلر می نامند که در طبیعت نقش مهمی دارد و مصریان باستان نیز اهرام خود را بر همین اساس ساخته اند [۱۲، ۱۳]. پس در این راستا متوجه نسبتی می شویم که تمام مقیاس ها را در بر می گیرد و هر سیستم سیاره ای میناتوری از منظومه شمسی و هر سیستم منظومه ی شمسی میناتوری از کهکشان مارپیچی است.

شکل ۴: (a) کهکشان گرداب در ۳۱ میلیون سال نوری از زمین قرار دارد و با دو مارپیچ طلایی نشان داده شده است [۱۱]. (b) سیاره ی کیوان؛ نسبت سیاره به حلقه ی گازی دور آن و همچنین نسبت لایه های حلقه به هم با مستطیل طلایی نشان داده شده است. (c) نسبت شعاع زمین و ماه به هم سازنده ی مثلث کپلر است که اساس ساخت اهرام مصر می باشد.



برج	تعداد کل	تعداد بالغ
۰	۱	۱
۱	۱	۰
۲	۲	۱
۳	۳	۱
۴	۵	۲
۵	۸	۳
۶	۱۳	۵
	۲۱	۸
	۳۴	۱۳
	۵۵	۲۱
	۸۹	۳۴
	۱۴۴	۵۵

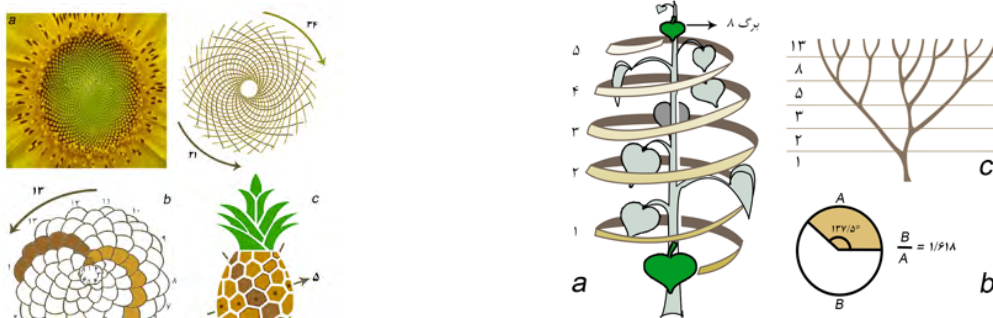
شکل ۳: جدول رشد خرگوش ها در هر برج از اعداد فیبوناچی تبعیت می کند.

در گیاهان

گونه های مختلف مطالعات بی شماری صورت گرفته است؛ تعداد بسیار زیادی از دانشمندان در زاویه ی طلایی معادل $137/5^\circ$ درجه به اشتراک رسیدند [۱۶، ۱۷]. اگر یک دایره را به صورتی تقسیم کنیم که نسبت دو قوس بر هم معادل عدد فی باشد، زاویه ی بدست آمده برابر با $137/5^\circ$ درجه بوده که در شکل ۵b به خوبی نشان داده شده است. توالی فیوناچی رابطه ی مستقیمی با رشد شاخه ها و همچنین برگ ها دارد. در شکل ۵c بهترین فرارگیری فیزیکی شاخه ها را که بهترین دریافت نور را داشته باشد نشان می دهد.

گیاهان با فشار تکاملی به سمت ساختاری می روند تا بتوانند بیشترین جذب نور خورشید را داشته و به بهینه ی میزان فتوسنتز برسند و بدین وسیله بهترین دریافت کربن را داشته باشند. مزیت این فیلوتاکسی علاوه بر بهینه سازی فضای برگ ها، این است که هیچ برگی موازی برگ بالایی قرار نمی گیرد و چیدمانی صورت می گیرد که همزمان همه ی برگ ها بیشینه جذب نورشان را داشته باشند [۱۶]. ویژگی دیگر این چیدمان این است که در هنگام باران آب را به صورت مستقیم به سمت ریشه راهنمایی می کنند که این باعث جذب حداکثر میزان آب برای گیاه می شود [۴]. اگر تعداد گلبرگ ها را مورد بررسی قرار دهیم متوجه می شویم که این عدد معمولاً منطبق بر

واژه ی فیلوتاکسی در یونانی به معنای آرایش برگ است و در واقع نشان می دهد که چگونه برگ ها بر روی ساقه مرتب می شوند؛ بسیاری از آنها دارای آرایش برگی متناوبی هستند که به صورت مارپیچی بر روی ساقه قرار می گیرند. در اوایل قرن ۱۹، اسکیمر [۱۴] و بران [۱۵] بیان کردند که فیلوتاکسی گیاهان از کسری پیروی می کند که تابع اعداد فیوناچی است. برای مثال در فیلوتاکسی $5/8$ ، فاصله ی بین هر برگ با برگ بالایی خودش که دقیقاً هم راستای اوست، هشت برگ است که در پنج دور اتفاق می افتد (شکل ۵a). در بسیاری از گیاهان فیلوتاکسی هایی مثل $1/3$ ، $2/5$ ، $3/8$ ، $5/13$ و ... دیده می شود که همه از سری فیوناچی هستند (با در نظر گرفتن استثناءها). البته فیلوتاکسی را نمی توان به عنوان یک قانون برای یک گونه تعریف کرد؛ همچنین الزاماً در یک گیاه خاص فقط یک فیلوتاکسی نداریم و ممکن است در قسمت های گیاه کسر آن تغییر کند که به این پدیده تحول فیلوتاکسی گفته می شود. معمولاً برگ های جوان در رأس ساقه ها بسیار مرتب تر شکل گرفته اند، بنابراین این کسر را بهتر نمایان می سازند و برای محاسبات زاویه ای در اولویت هستند. برای بدست آوردن زاویه ی چرخش برگها یا زاویه ی واگرایی بین برگ های متوالی بر روی



شکل ۵: a) فیلوتاکسی $5/8$ به صورت شماتیک طراحی شده است. بعد از هشت برگ در 5° گردش، برگ در راستای برگی که مورد نظر است رشد خواهد کرد. b) با تقسیم دایره به دو قسمت با نسبت طلایی، به طوری که قوس قسمت بزرگ به کوچک برابر عدد فی باشد، زاویه ی بخش کوچک برابر $137/5^\circ$ خواهد بود. برگ های مجاور در آرایش مارپیچی با این زاویه دور تا دور ساقه چیده می شوند. c) روند رشد فیزیکی شاخه ها برای دریافت بیشترین نور از اعداد فیوناچی پیروی می کند.

شکل ۶: a) چیدمان دانه ها در گل آفتاب گردان به صورت دو مارپیچ ساعت گرد و پادساعت گرد است که به شکل دوبعدی در هم پیچیده اند. b) میوه ی کاج دارای مارپیچ دوتایی است که به صورت سه بعدی و یکی با 8 مارپیچ (ساعتگرد) و یکی با 13 مارپیچ (پادساعتگرد) هستند. c) شش ضلعی های آناناس با سه جهت مارپیچ کنار هم قرار می گیرند.

در قلمروی حیوانات تقارن پنج ضلعی در خارپوستان به وفور دیده می شود. این شاخه شامل جانورانی مانند ستاره ی دریایی، توتیای دریایی و سکه ی دریایی است [۱]. ساختار ستاره ی دریایی که دارای پنج بازو است، بر پنج ضلعی طلائی تطابق دارد [۲۰]. در یک مطالعه راندمان عملکرد ستاره دریایی با چهار، پنج و شش بازو در اموری همانند چسبیدن به بستر دریا، یافتن غذا، غلت زدن و جابه جا شدن و همچنین اتوتومی^۱ (یعنی در شرایط خطر بازوی خود را قطع کرده تا بتوانند فرار کنند و آن عضو دوباره می تواند رشد کند) مقایسه شد. ستاره ی دریایی پنج بازویی در اتوتومی ۲۰۸٪ نسبت به چهار بازویی مزیت دارد؛ در مقایسه ی با نوع شش بازویی آن، ۳/۵٪ در غلت زدن و جابه جا شدن، ۶/۲٪ در اتوتومی و ۲/۱۳٪ در چسبیدن به بستر دارای برتری است در حالی که در یافتن غذا شش بازویی ۳/۵٪ در صد بهتر می باشد. در نتیجه ستاره ی دریایی پنج رأس که دارای نسبت طلائی است، در کل بر اشکال دیگر مزیت دارد. مزیت رفتاری جانوران در طبیعت باعث می شود تا بیشتر زنده بمانند؛ در نتیجه گزینش طبیعی می شوند و گونه ی غالب را شکل می دهند.

توالی فیوناچی در زنبورها

یکی از جذابیت های اعداد فیوناچی در الگوی رشد سیستم های دینامیک طبیعی است که از آن جمله مدل باروری زنبورها را می توان نام برد. بیش از ۳۰۰۰۰ گونه زنبور وجود دارد و در بیشتر آنها زندگی فردی به چشم می خورد. زنبور عسل یکی از گونه هایی است که به صورت کلنی زندگی می کند و دلیل خاص بودن شجره نامه ی آنها این است که همه ی آنها دارای پدر و مادر نیستند.

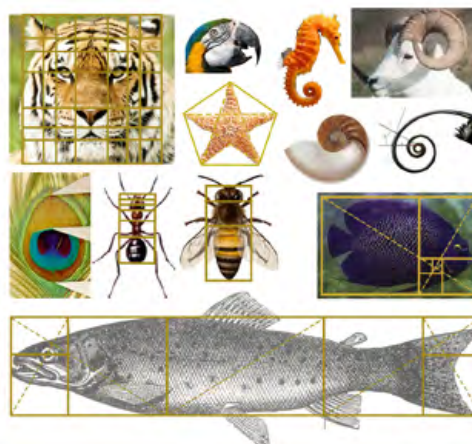
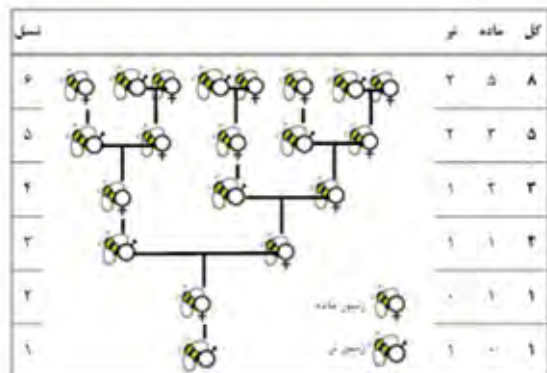
بهتر است برای شناخت بیشتر زنبورها، اعضای این کلنی معرفی شوند. در بین زنبورهای ماده، زنبور خاصی که دارای قابلیت تخم گذاری است را ملکه می نامند. زنبور نر زنبوری است که فقط وظیفه ی بارور نمودن ملکه را دارند و کار نمی کند. زنبوران کارگر می توانند هم نر باشند و هم ماده؛ ولی زنبورهای ماده ی کارگر دارای قابلیت تخم گذاری نیستند. نکته ی مهمی که وجود دارد

اعداد فیوناچی است؛ برای مثال در بسیاری از گل ها در خانواده کاسنیان ۳۴ گلبرگی و بعضی از آنها دارای ۵۵ یا ۸۹ گلبرگ می باشند. علاوه بر این در شکل کلی گیاهان و یا میوه ها نسبت طلائی رعایت شده است. برای مثال در کلم رومی یک بخش کوچک به صورت ماریچی تکرار شده و به صورت قله مانند در آمده است؛ گل کلمی که کاملاً رشد کرده، دارای شکل پنج ضلعی می باشد و یا آرایش دانه های سیب به شکل پنج ضلعی است که از هندسه ی طلائی تبعیت می کند [۸]. میوه ی مخروطی کاج دارای دو ردیف ماریچی است که همان طوری که در شکل ۶ نشان داده شده، یکی به صورت راستگرد با ۸ برش و دیگری چپگرد با ۱۳ تا در هم پیچیده اند؛ این دو عدد از توالی فیوناچی تبعیت می کنند. در آفتابگردان نیز رابطه مستقیمی بین آرایش های ماریچ دو سویه و اعداد فیوناچی وجود دارد. در این گیاه دانه ها به صورت دو ردیف دو بعدی در هم داخل می شوند که اگر ساعتگرد آن ۳۴ ماریچ باشد، پادساعتگرد ۲۱ یا ۵۵ ماریچ است؛ علاوه بر وجود اعداد فیوناچی، این ماریچ ها بر الگوی ماریچ طلائی منطبق است (شکل ۶). آناناس از بخش های شش ضلعی تشکیل شده است که در سه ردیف ماریچی حرکت می کند؛ در شکل ۶ این ردیف ها و اعداد آنها نشان داده شده است [۶-۸، ۱۸].

در حیوانات

الگوی رشد بسیاری از جانوران از ماریچ طلائی تبعیت می کند. برای مثال پوسته ی بعضی سخت پوستان، ساختار و اشکال بال پروانه، قسمت بندی بدن حشرات و ماهی ها از آن جمله است (شکل ۷) نمایانگر خلاصه ای از ساختار جانوران در طبیعت می باشد).

بدن ماهی قزال آلالی رنگین کمان را سه مستطیل طلائی می پوشاند و دلیل جایگاه چشم که در راستای باله ی دمی است، همچنین ساختار خاص خود باله ی دمی را توضیح می دهد. فرشته ماهی آبی در یک مستطیل طلائی جا می گیرد و جایگاه دهان و باله ی این ماهی بر روی مستطیل های کوچک تر مستطیل طلائی مشخص می شود [۱۹]. در قلمروی حیوانات تقارن پنج ضلعی در



شکل ۷: الگوی رشد بسیاری از جانوران در طبیعت بر پایه ی عدد فی است.

شکل ۸: شجره نامه ی زنبور عسل در شش نسل نشان داده شده است. چه توالی تعداد ماده ها یا نرها به تنهایی و چه تعداد کلی آنها از اعداد فیبوناچی است.

این است که زنبورهای نر از تخم های غیرلقاح یافته ی ملکه بوجود می آیند، بنابراین این زنبورها برعکس زنبورهای ماده تک والدی بوده و فقط مادر دارند. این در حالی است که تمام زنبورهای ماده دو والدی هستند، بعضی با ژل رویال تغذیه شده و به ملکه تبدیل می شوند، بعضی به کارگر مبدل می گردند [۷، ۲۱]. شکل ۸ شجره نامه ی زنبور عسل را در شش نسل نشان می دهد و همانطور که واضح است، تعداد زنبورها در هر نسل از اعداد فیبوناچی تبعیت می کند [۷، ۸].

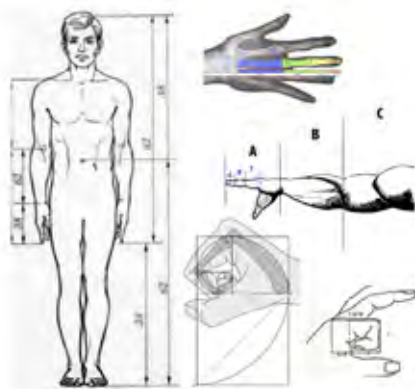
متصل می شوند و کف دست را می سازند. ۵ انگشت به ۵ استخوان کف دستی متصل هستند. صورت، گوش میانی و گلوبه طور کلی دارای ۲۱ استخوان هستند. ستون فقرات به همراه جمجمه دارای ۳۴ استخوان (۸ تا مربوط به جمجمه، ۲۴ مهره، یک دنبالچه و یک خاجی) استخوان های به هم جوش خورده) است. کل این دو (۲۱ و ۳۴) برابر با ۵۵ استخوان، پایه ی بدن را تشکیل می دهند. همه ی این اعداد مربوط به توالی فیبوناچی است. همینطور عدد ۵ در ۵ حس، ۵ انگشت، ۵ حفره ی ورودی در سر و ... از توالی فیبوناچی تبعیت می کند و بسیاری از محققان انسان را یک ستاره ی پنج رأس می دانند که آن را داوینچی به خوبی به تصویر کشیده است (نقاشی مرد ویتورین). هیچ کس بهتر از داوینچی تناسبات طلایی بدن انسان را درک نکرد. او اجساد را از قبر بیرون می آورد تا بتواند نسبت دقیق استخوان ها را اندازه گیری کند و ثابت کرد آنها تناسبی از عدد فی می باشند. در واقع این عدد را دلیل زیبایی شناسی کالبد انسان می دانند.

در انسان

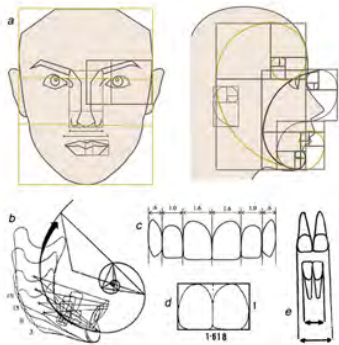
رشد و تکوین سلولی در انسان به عنوان نقطه ای درون طبیعت از ریاضیاتی تبعیت می کند تا بتواند علاوه بر داشتن هارمونی در زیبایی و نظم، دارای یک سازماندهی خاصی باشد تا بیشترین عملکرد را در ازای کمترین مصرف ماده و انرژی داشته باشد [۲۲]. عدد فی در طراحی ساختار و شکل بدن انسان جایگاه خاصی دارد. ناف در خط طلایی بدن واقع شده؛ نسبت طول قد و مسافت سر تا نوک انگشتان، فاصله ی استخوان ها در انگشتان و ... همه از نسبت طلایی تبعیت می کند (شکل ۹). پاها و دستان هر دو دارای سه قسمت هستند که این سه نسبت به هم تناسب طلایی دارند. دست انسان به همراه انگشتان دارای ۸ بخش است. ۸ استخوان مچ دست با پنج استخوان کف دستی

همانطور که در قران سوره ی التین و آیه ی ۴ گفته شده که «که ما انسان را در بهترین صورت و نظام آفریدیم»:

لَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ فِي أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ ﴿٤﴾



شکل ۹: تناسب طلایی در کل بدن و دست. حتی حرکات بدن از این تناسب تبعیت می کند [۴، ۲۳].



شکل ۱۰a: نسبت طلایی در اجزای صورت به صورت تمام رخ و نیمرخ؛ (b) رشد دندان بر روی آرکی است که چرخش آن نزدیک به ماریچ لوگاریتمی است [۲۲]. (c) نسبت دندان-های جلویی به هم و (d) ارتفاع دندان سانتال به عرض دو دندان و همچنین (e) اندازه عرض سانتال بالا و پایین نسبت به هم طلایی است [۲۲].

مقاله ی منبع شماره [۲۲] رجوع شود).

قلب

قلب انسان با نسبت طلایی و زاویه ی طلایی در ارتباط است. در مطالعاتی که بر روی ابعاد قلب صورت گرفته، متوجه شدند که سلامت قلب به نسبت ابعاد آن وابسته است، نه به ابعاد مطلق آنها (زیرا در قومیت های متفاوت اندازه ها متفاوت است ولی نسبت آنها برابر نسبت طلایی می باشد). در نارسایی خفیف قلبی، نسبت ۱/۶۱۸ حفظ شده اما در مرحله ی آخر نارسایی

شگفت انگیز است اگر بدانیم که در همین آیه با ۲۶ حرف، برای واژه ی «انسان»، نسبت طلایی رعایت شده است. اگر بخواهیم آیه را به دو قسمت p و q تقسیم کنیم، از اول آیه تا «انسان» دارای ۱۰ حرف و از اول انسان تا آخر آیه ۱۶ حرف می باشد که دارای نسبت طلایی است [۴].

صورت و اجزای آن

راز زیبایی صورت در نسبت اجزا و نزدیک شدن آن به عدد فی پنهان شده است که امروزه حتی در جراحی های زیبایی یا اورتودنسی نقش مهمی را بازی می کند. در مطالعات آماری که بر روی چهره های زیبا صورت گرفته، به این نتیجه رسیدند که چهره دارای یک ریتم است؛ ریتم به معنای جریان است که اگر در زمان، بُعد، موسیقی یا شعر بتوان آن را یافت، برای گوش یا چشم و یا روان زیبا به نظر می آید. چهره ی زیبا نیز دارای ریتم است که آن را می توان چه به صورت عمودی و افقی و چه مورب بدست آورد که محدودی از این نسبت ها به طور خلاصه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. چشم و بینی در جایگاه طلایی صورت بوده نسبت لب به بینی و به چشم برابر عدد فی است. لب، چشم، بینی خود به تنهایی دارای تناسب طلایی هستند؛ اگر همه ی اینها دارای این نسبت باشند ریتم چهره خوشایند است [۴، ۲۲، ۲۴]. عدد فی در هارمونی کردن دندان ها با هم و با کل اسکلت صورت نقش مهمی دارد. در این حیطه چند مثال ذکر می گردد که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. چیدمان کلی دندان ها در ردیف دایره ای است که این ردیف از ماریچ لوگاریتمی که پایه ی آن مثلث طلایی است، تبعیت می کند. ارتفاع دندان سانتال به عرض دو دندان سانتال، نسبت دندان های سانتال بالایی به پایینی دارای نسبت طلایی هستند. همچنین رابطه ی عرض هشت دندان جلویی با عدد فی تعریف می شود. این دانستگی مشکلات زیادی را در حیطه ی زیبایی دندان حل کرد زیرا که این هشت دندان ارتباط مستقیمی با زیبایی لبخند هر فرد دارد [۴، ۲۲، ۲۵، ۲۶].

(برای مطالعه ی اندازه گیری های دقیق نسبت های صورت و دندان به

کلمه هم در علم هندسه و هم در معماری به کار می رود. واژه ی ژئومتری نیز از کلمات یونان باستان است که از دو قسمت «ژئو» به معنای زمین و «مترون» به معنای اندازه گیری تشکیل شده است و در لغت شناسی به معنای هنر اندازه گیری زمین است. واژه ی آرشیتهکت از واژه ی یونانی arkhitekton گرفته شده که دارای دو بخش تشکیل شده؛ بخش اول به معنای رئیس و بخش دوم به معنای سازنده است که در کل به معنی استاد سازنده یا ماهر در هنر ساختن است. اگر یک معمار با مهارت بتواند بازتابی از زیبایی الهی در نظم عالم را به منصه ظهور برساند، واژه ی آرشیتهکت به واژه ی یونانی cosmos که به معنای سیستم منظم و موزون یا گیتی و کائنات است و همچنین، زیبایی شناسی به معنای ادراک به وسیله ی حواس، نزدیک می شود.

یا گیتی و کائنات است و همچنین، زیبایی شناسی به معنای ادراک به وسیله ی حواس، نزدیک می شود.

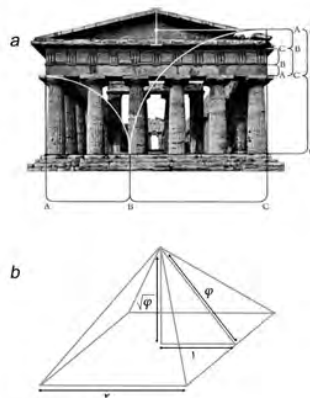
معماری باستان معماری یونانی و مصری

آکروپولیس آتن که پارتنون را در خود جای داده است مثال جالبی برای نمایش استفاده از عدد طلایی در هنر یونانی می باشد. پارتنون معبد مقدس برای نیایش آتنا ایزدبانوی عقل و خرد، راهبرد جنگ، هنر و ادبیات، عدالت، کشاورزی و صنایع دستی است که معماران پیکر تراشی چون اکتینوس، کالیکراتیس، فیدياس و دستیاران و شاگردانشان آن را با مجسمه و تندیس های بسیاری تزئین کردند؛ تا اندازه ای که این بنا با سادگی فربنده ی خود نشانی از بهترین معماری یونانی شد. البته بعد از برخورد توپ های ونیزی در سال ۱۶۸۷ این بنا که آن زمان ۲۰۰۰ ساله بود، به طور گسترده ای تخریب شد و هم اکنون پایه ی اولیه ی آن باقی مانده است. در مطالعات بسیاری که انجام شده گفته می شود که تقسیمات آذین مثلی بالای درب این سازه که هنوز باقی است، تمام مجسمه هایی که در آن به کار رفته بوده کاملاً نمادی از نسبت طلایی هستند و به همین دلیل عدد فی از حرف اول نام فیدياس گرفته شده است [۶].

قلبی (مزممن)، این نسبت به طور قابل توجهی کاهش می یابد. به طور مشابه، در قلب با بطن سالم، نسبت ابعاد دریچه ی میترال طلایی است، در حالی که در بیماران مبتلا به کاردیومیوپاتی و نارسایی میترال، به میزان قابل توجهی از این نسبت کاسته می شود. در افراد سالم، زاویه ی بین خط میانی سرخرگ ریوی و آنورت صعودی دارای میانگین ۳۹/۵ درجه است، ولی زاویه ی بین سرخرگ ریوی با ادامه ی آنورت صعودی تقریباً نزدیک به ۱۳۷/۵ درجه (زاویه ی طلایی) می باشد (همچنین مجرای ورودی و خروجی بطن راست از همین شرح تبعیت می کند)؛ اگرچه در پرفشاری ریوی (هایپرتنسیون ریوی) حاد، این زاویه افزایش می یابد. از این رو ابعاد قلب و بطن در انسان سالم با نسبت و زاویه ی طلایی سازگار است و نشانی از ساختار پمپی و بهره وری مطلوب می باشد؛ این در حالی است که با بیمار شدن قلب، این ساختار دچار انحراف می گردد [۲۷]. عدد فی در ریتم ضربان قلب انسان نیز نقش دارد؛ همچنین فواصل تغییرات پتانسیل الکتریکی در نوار قلب (الکتروکاردیوگرام) یک قلب سالم دارای نسبت طلایی است [۲۷، ۴].

نسبت طلایی در معماری و هنر

واژه ی «مهندس» در زبان فارسی و عربی از «هندسه» گرفته شده که به معنای شکل و اندازه است؛ این



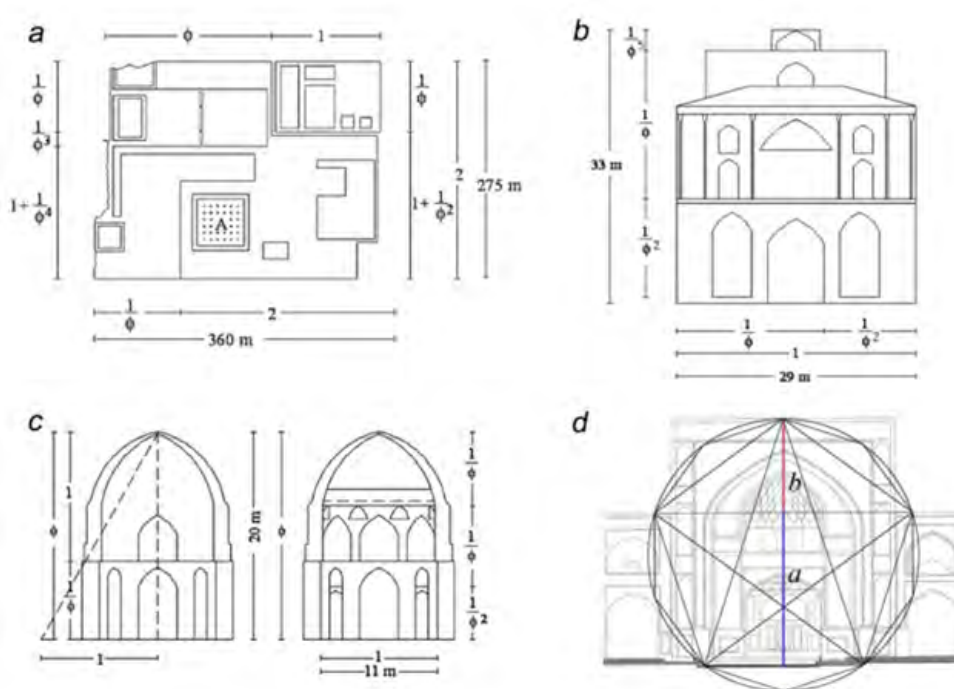
شکل ۱۱: نسبت طلایی در (a) پارتنون و (b) هرم بزرگ مصر.

داخلی آن مطابق با معنا و مفهوم سازه برنامه ریزی شده است. معمار سنتی الگوهای هندسی را کنار هم می گذارد و تمام سطح را می-پوشاند. به طرح های هندسی به عنوان نماد کثرت می نگرد و با طراحی از آنها یک طرح واحد دارای وحدت می آفریند. تکرار طرح ها به معنای بی نهایت و بی زمانی است. زیبایی و هارمونی که در طرح کلی حاصل از این تکرارها به وجود می آید، نشان دهنده ی نظم هندسی و دیدن یک مرتبه ی فراتر و ژرف تر از قوانین کیهانی است. در این راستا تمام نسبت ها چه در خود الگوها و چه در طرز قرارگیری آنها محاسبه شده است که عدد فی و اعداد فیبوناچی در آنها نقش مهمی را بازی می کنند. طراحی نقشه و بلندای ساختمان ایرانی به طرز است که تمام نسبت ها رعایت شده و حتی جایگاه درها و پنجره ها و جایگاه قرارگیری کتیبه ها نسبت به هم و نسبت به کل ساختمان محاسبه شده است. بنابراین اندازه ی هر چیز، در تناسب با همه ی اجزاست و معمولاً هیچ چیز مجزا و خارج از شکل کلی وجود ندارد. در بناهای تاریخی ایرانی در نظر گرفتن ثبات و سختی ساختمان به عنوان معیار اصلی و اولیه بی معنی است. یک معمار سنتی اگرچه از نیروها و تنش های ایجاد شده و نقص های ساختاری کاملاً آگاه بود، این محاسبات را در درجه ی دوم کاری خود قرار می داد. عملکرد عناصر سازنده ی ساختار است که شکل آن بدون عملکرد مناسب معنی ندارد. در معماری سنتی ساختار و عملکرد جدایی ناپذیرند در حالی که قواعد معماری مدرن این نسبت کمتر رعایت می شود.

برای مثال آنالیز هندسی بنای پرسپولیس نشان می دهد که در آن کاملاً عدد فی محاسبه شده است (شکل ۱۲a). نسبت طلایی به طور ماهرانه ای در گنبد تاج الملک در مسجد جامع اصفهان در نظر گرفته شده است؛ شرودر [۲۹] که از هر نظر (زیبایی شناسی، هندسه و ساختار مکانیکی) آن را زیباترین ساختار در ایران می داند، با شرح کامل ویژگی های آن، کاربرد پیچیده ی نسبت طلایی را در آن بیان کرده است (شکل ۱۲b). علاوه بر این محاسبات او نشان داد که این ساختمان به صورت پنج ضلعی است، که خود نمادی از این نسبت

اهرام مصر به عنوان یکی از زیباترین آثار تاریخی شناخته شده است. ساختار آنها به دلیل عظمت در اندازه و سادگی در شکل، دارای جاذبه ی فوق العاده ای است. این اهرام هزاران سال پیش از تمدن یونان باستان، توسط مصریان باستان ساخته شده است. پاپیروس احمس که مربوط به همان دوران است و هم اکنون در موزه ی بریتانیا نگهداری می شود، شامل اطلاعات دقیقی از اعداد و ارقامی است که در ۳۰۷۰ پیش از میلاد در ساخت هرم بزرگ جیزه به کار رفته است؛ احمس از عدد فی به نام نسبت مقدس نام می برد. بلندای هرم بزرگ ۵۸۱۳ اینچ (۴۸۴/۴ فوت) است که خود معادل سه عدد فیبوناچی پی در پی است؛ ۵، ۸، ۱۳. این اهرام بر اساسی طراحی شده اند که نسبت ارتفاع ضلع شیب دار به نصف قاعده برابر با عدد فی باشد. بر اساس داده های توماس کوشی ارتفاع هرم بزرگ ۱۴۸/۲، ارتفاع ضلع شیب دار برابر ۱۸۸/۴ متر و نصف قاعده برابر ۱۱۶/۴ متر می باشد. با محاسبه ی نسبت ضلع شیب دار به نصف قاعده، به نسبت طلایی می رسیم [۷، ۲۸]. البته باید ذکر کرد که ریاضیات مصری بر پایه ی اعداد با نسبت طلایی است و این فقط در معماری کاربرد ندارد؛ برای مثال ریاضیات تقویم مصری هم بر این مبنا بوده است [۲۸].

معماری سنتی نظم گیتی را در ابعاد زمینی تجسم می بخشد. در طول قرن های متمادی علم هندسه برای مهندسان ایرانی قدرتمندترین ابزاری بوده تا بتوانند بر اساس اندازه گیری نسبت های گیتی، بر روی زمین ساختاری زیبا و موزون و در تعادل با طبیعت بسازند و در حقیقت زیبایی را به نظم درآورند. در این معماری، چه ابعاد سازه و چه طرح ها و شکل ها همه از قواعد هندسی و تناسب طبیعی تبعیت می کنند؛ در نتیجه ساختار درست باعث عملکرد درست می گردد. در واقع در ایران معماری یک زبان نمادین برای بیان ایده ی کهن الگوهای بی بوده که در آن زمان با ادراک انسان به تصویر در می آمده است. همانطور که معماری در قلمرو روح و عقل قرار می گرفت، هندسه به عنوان ابزاری بوده تا سطوح و اشکال به صورتی شکل گیرند که خود مقدس واقع شوند. در این معماری هم به طراحی ساختار بیرونی و درونی ساختمان توجه شده و هم دکوراسیون



شکل ۱۲: (a) نقشه ی پرسپولیس (۳۳۰-۵۱۸ قبل از میلاد) و ابعاد آن با نسبت طلایی؛ (b) عالی قاپو (۱۶۶۸-۱۵۹۷ بعد از میلاد)، (c) گنبد تاج الملوک مسجد جامع اصفهان (۱۰۸۸ بعد از میلاد) و محاسبات هندسی آنها [۳۰]؛ (d) رواق ضلع شمالی مسجد جامع اصفهان [۳۱].

نمای دستگاه هایی مانند موبایل، اتو و یا دوربین از این عدد به خوبی استفاده می شود چرا که شکل آن را بسیار جذاب تر می نماید [۳۲]. در انتها به سوالی که هزاران سال است ذهن انسان را درگیر کرده می پردازیم؛ آیا زیبایی یک ویژگی ذاتی وابسته به شی است و یا سلیقه ای و وابسته به بیننده است. آیا می توان با اثر بیولوژیک آن بر روی انسان به این سوال پاسخ داد؟ یک مطالعه با استفاده از تکنیک fMRI^۱ بر روی مغز انسان تا حدودی به این سوال پاسخ داد. تصاویری از شاهکارهای هنری کلاسیک مربوط به زمان رنسانس که دارای اصل تناسب طلایی است را تهیه کرده و همچنین تصاویر دستکاری شده از آنها که کمی تناسب آنها را زیاد یا کم کرده بودند فراهم آوردند، تأثیر آنها را بر روی مغز بینندگان آزمایش کردند. این آزمایش به دو

است. به همین صورت مسجد شیخ لطف الله نشان دهنده ی استفاده ی شگفت انگیز این نسبت در این امارت بوده و کاربرد پنج ضلعی طلایی را به تصویر کشیده است [۳۰]. علاوه بر طرح کلی بنا، همانطور که ذکر شد تمام قسمت ها از این هندسه تبعیت می کنند؛ در یک مطالعه بیان شد که تمام رواق های مسجد جامع اصفهان بر اساس اعداد فیبوناچی و نسبت طلایی است که در شکل ۱۲d فقط رواق شمالی به عنوان مثال ذکر شده است [۳۱]. همانطوری که ذکر شد عدد فی از زمان های قدیم معیاری برای زیبایی شناسی شناخته می شود و در هنر و معماری به عنوان یک اصل شناخته می شده است در حالی که در آثار مدرن به عنوان فاکتوری جانبی به آن می نگرند. البته هم اکنون نیز در طراحی بسیاری از محصولات از آن بهره می برند؛ برای مثال در طراحی اتوموبیل یا

1. Functional magnetic resonance imaging (functional MRI)

در اندازه گیری بر مبنای طبیعت قبل از ساخت در نظر بگیرند، شیوه نیکویی را گسترش می دهند و موجب کاهش معضلات اجتماعی و راهگشایی به سوی سلامت، محیط زیست و توسعه پایدار در بر خواهند داشت. توجه: شایان ذکر است شکل های این مقاله، به جز آنهایی که منبع آن ذکر شده، توسط نویسنده طراحی و رسم شده است.

منابع و مآخذ

- [1] Dunlap, R. A. (1997). The Golden Ratio and Fibonacci Numbers, World Scientific Publishing, Singapore.
- [2] Olsen, S. (2006). The Golden Section: Nature's Greatest Secret, Bloomsbury Publishing USA.
- [3] Huntley, H. (1970). The Divine Proportion: A Study in Mathematical Beauty, Dover Publications, UK.
- [4] Akhtaruzzaman, M. (2011). Geometrical Substantiation of Phi, the Golden Ratio and the Baroque of Nature, Architecture, Design and Engineering, International Journal of Arts, 1(1), p. 1-22.
- [5] Ghyka, M. C. (1946). The Geometry of Art and Life, Courier Corporation, USA.
- [6] Livio, M. (2008). The Golden Ratio: The Story of Phi, the World's most Astonishing Number, Broadway Books, USA.
- [7] Koshy, T. (2011). Fibonacci and Lucas Numbers with Applications, John Wiley & Sons.
- [8] Omotheinwa, T. (2013). Fibonacci Numbers and Golden Ratio in Mathematics and Science, International Journal of Computer and Information Technology, 2(4), p. 630-638.
- [9] Stakhov, A. (2006). The Continuous Functions for the Fibonacci and Lucas p-Numbers, Chaos, Solitons & Fractals, 28(4), p. 1014-1025.
- [10] Lawlor, R. (1982). Sacred geometry: philosophy and Practice, Crossroad Publishing.
- [11] Boeyensa, J. C. (2009). Commensurability in the Solar System, Physics Essays, 22(4), p. 1-16.
- [12] Fuller, M. (2007). Geometry-Set In Stone.
- [13] Reynolds, M. (1999). A Comparative Geometric Analysis of the Heights and Bases of the Great Pyramid of Khufu and the Pyramid of the Sun at Teotihuacan, Nexus Network Journal, 1(1-2), p. 23-42.
- [14] Schimper, K. F. (1835). Beschreibung des Symphytum Zeyheri und Seiner Zwei Deutschen Verwandten der

صورت انجام گرفت، یکی آنکه بیننده فقط بدون هیچ نقدی به تصویر نگاه کند؛ دوم اینکه بیننده باید نسبت به زیبایی یا زشتی و همچنین نسبت به تناسب آن شاهکار نظرات خود را ارائه دهد (نگاه منتقدانه). نتیجه ی قسمت اول بسیار شگفت انگیز بود؛ نظاره ی تصویر شاهکار اصلی نسبت به آنهایی که دستکاری شده بودند، به طور قابل توجه و ویژه ای سمت راست اینسولای مغز را فعال کرد و همچنین بطن های طرفی و نواحی قشری مغز (نواحی جلوی مغز، لوب پس سری شکنج مغز و بخش پیش گوه) تحریک شد؛ در لحظه ی دیدن تصویر فعالیت اینسولا در بیشترین حالت بود. نتایج عجیب تر زمانی بود که بینندگان شروع به قضاوت در مورد زیبایی شناختی تصاویر نمودند، تصاویری که به آنها زیبا می گفتند، بخش راست آمیگدالا را فعال می کرد (نسبت به آنهایی که زشت تلقی می شدند). بنابراین حس زیبایی دارای دو فرایند متقابل منحصر به فرد است، اینک خود شی هدف زیبایی باشد (با فعالسازی اینسولا) و اینکه زیبایی، احساسات فردی را تحریک نماید (زیبایی ذهنی) [۳۳].

نتیجه گیری

نسبت طلایی و اعداد فیبوناچی با وجود آوردن هندسه ی طلایی، یک نقش معماگونه را در طبیعت بازی می کنند. از اتم تا کیهان طبق قواعد الهی شکل می گیرند که این نسبت یکی از آنهاست که دانشمندان بیشتر رشته ها را درگیر خود می سازد. با چشم اندازی به عدد فی به نظر کلمه ی «زیبایی» را تا حدی فهم می کنیم. واژه هایی همچون عملکرد مناسب، تقارن، تعادل و سلامت همه در این واژه جای می گیرند در حالی که در حال حاضر این واژه معنای خود را از دست داده است. با فهم قواعد طبیعت و نزدیک کردن دست ساز بشر به این قوانین، سلامتی و زیبایی در همه ی سطوح برای ساکنان زمین فراهم می شود. انسان می تواند با الگوبرداری از اندازه و هندسه طبیعت (نسبت طلایی فی) در دست ساخت خود و برای شناخت عدم تعادل و بیماری ها از این اندازه بهره برداری نماید. مطمئناً کاربرد این تقارن و نسبت طلایی در صنعت انسان نه فقط نقش زیبایی را ایفاء می نماید تا دیگران مجذوب آن شوند، بلکه در تعادل و تنظیم امور هر ساخت نقش ایفا می کند. اگر صنعتگران و معماران و سازندگان امروز راه و روش مردمان دیروز را

- [25] Levin, E. I.(1978). Dental Esthetics and the Golden Proportion, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 40(3), p. 244-252.
- [26] Snow, S. R.(1999). Esthetic Smile Analysis of Maxillary Anterior tooth width: the Golden Percentage, *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 11(4), p. 177-184.
- [27] Henein, M. Y.(2011). The Human Heart: Application of the Golden Ratio and Angle, *International Journal of Cardiology*, 150, p. 239-242.
- [28] Stakhov, A.(2006). The golden section, secrets of the Egyptian civilization and Harmony Mathematics, *Chaos, Solitons & Fractals*, 30(2), p. 490-505.
- [29] Pope, A. U.(1938).Pre-Achaemenid, Achaemenid, Parthian and Sasanian Periods. Vol. 4 of *A Survey of Persian Art from Prehistoric Times to the Present*, London: Oxford University Press.
- [30] Hejazi, M.(2005). Geometry in Nature and Persian Architecture, *Building and Environment*, 40(10), p. 1413-1427.
- [31] Mahdipour, M.(2012). The Application of Golden Proportion in the Façades & Ornaments of Quadruple Vaulted Porticos of Jami Mosque in Isfahan, Iran, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 2(3), p. 97-101.
- [32] Page, T.(2010).Natural Sections in Product Design, *International Journal of Contents*, 6(3), p. 71-82.
- [33] Di Dio, C.(2007). The Golden Beauty: Brain Response to Classical and Renaissance Sculptures, *PloS one*, 2(11), p. e1201.
- S. Bulbosum Schimper und S. Tuberosum Jacq, Germany.
- [15] Braun, A. (1831). Vergleichende Untersuchung über die Ordnung der Schuppen an den Tannenzapfen als Einleitung Zur Untersuchung der Blattstellung überhaupt, Germany.
- [16] King, S.(2004). On the Mystery of the Golden Angle in Phyllotaxis, *Plant, Cell & Environment*, 27(6), p. 685-695.
- [17] Okabe, T.(2015). Biophysical Optimality of the Golden Angle in Phyllotaxis, *Scientific Reports*, 5, p. 1-7.
- [18] Klar, A. J.(2002).Plant Mathematics: Fibonacci's Flowers, *Nature*, 417(6889), p. 595-595.
- [19] Elam, K. (2001). *Geometry of Design: Studies in Proportion and Composition*, Princeton Architectural Press.
- [20] Brandmuller, J.(1992). Fivefold Symetry In Mathematics, Chemistry, Biology and Beyond, *Fivefold Symmetry*, World Scientific Publishing, Singapore, p. 11-13.
- [21] Basin, S.(1963). The Fibonacci Sequence as it appears in Nature, *Fibonacci Quarterly*, 1(1), p. 53-56.
- [22] Ricketts, R. M.(1982). The Biologic Significance of the Divine Proportion and Fibonacci Series, *American Journal of Orthodontics*, 81(5), p. 351-370.
- [23] Littler, J. W.(1973). On the Adaptability of Man's Hand: With Reference to the Equiangular Curve, *The Hand*, 5(3), p. 187-191.
- [24] Prokopakis, E. P.(2013). The Golden Ratio in Facial Symmetry, *Rhinology*, 51(1), p. 18-21.