

فصل اول

مقدمه‌ای بر علم جنین شناسی

هدف این کتاب آشنایی دانشجویان با مفاهیم پایه و مسائل علم جنین شناسی می‌باشد. کلمه **جنین شناسی** اغلب گمراه کننده می‌باشد چرا که از نظر لغوی به معنی علم مطالعه **جنین** می‌باشد و واژه جنین حاکی از مرحله‌ای از زندگی یک حیوان است که یا در داخل تخم قرار دارد یا در داخل بدن مادر می‌باشد. پس بنا بر تعریف مذکور زمانی که یک حیوان از تخم بیرون می‌آید یا متولد می‌شود چون دیگر جنین نیست از محدوده علم جنین شناسی خارج می‌شود. درست است که تولد یا بیرون آمدن از تخم یک مرحله مهم از زندگی یک حیوان است لیکن باید پذیرفت که فرآیندهایی که در داخل بدن حیوان متولد شده در حال انجام است با آن‌هایی که قبل از تولد در آن صورت می‌گرفت تفاوت چندانی ندارد. با توجه به این، محدود نمودن و مرز بندی کردن مطالعه تکوین حیوان به دوره قبل از بیرون آمدن از تخم یا تولد امری غیر واقعی و مصنوعی خواهد بود. بنابراین مرسوم است که تاریخ زندگی یک حیوان را به عنوان یک موضوع کلی در نظر بگیریم و با توجه به آن قلمرو علم جنین شناسی را به عنوان **مطالعه تکوین موجودات** تفسیر کنیم.

اصطلاح **تکوین** (development) یا رشد و نمو نیز بایستی بنوبه خود تفسیر گردد. در محدوده علم زیست شناسی واژه تکوین با دو معنی مختلف تعریف می‌شود. یکی از این معانی به فرآیندهایی اشاره می‌کند که در تبدیل تخم لقاح یافته به یک موجود بالغ جدید دخیل هستند. معنی دیگر آن شامل تغییرات تاریخی و تدریجی اشکال حیات از حالت ساده به صورتی که در جهان معاصر ما دیده می‌شوند می‌باشد. تعریف اول به تکوین فردی یا **تکوین اونتوژنتیک** (ontogenetic development) اشاره می‌کند در حالی که تعریف دوم به تکوین تاریخی گونه‌ها یا **تکوین فیلوژنتیک** (phylogenetic development) می‌پردازد. تکوین فیلوژنتیک اغلب به عنوان **تکوین تکاملی** یا به عبارت ساده‌تر **تکامل** در نظر گرفته می‌شود. بنابراین ما جنین شناسی را به عنوان **مطالعه تکوین فردی موجودات** تعریف می‌کنیم.

در حیوانات پسرلولی، رایج‌ترین و گسترده‌ترین شکل تکوین فردی، حالتی است که در تولید مثل جنسی رخ می‌دهد. در تولید مثل جنسی افراد جدید به وسیله سلول‌های زاینده خاصی بنام **گامت** به وجود می‌آیند. این سلول‌ها اساساً با دیگر سلول‌های بدن حیوان فرق می‌کنند چرا که آن‌ها از یک مرحله رسیدگی یا بالغ شدن بنام **میوز** عبور می‌کنند و در نتیجه نصف کروموزم‌هایشان را از دست داده و **هاپلوئید** می‌شوند، حال آن که سایر سلول‌های فرد والد یا **سلول‌های سوماتیک** از نظر کروموزومی **دیپلوئید** هستند. هرگاه یک سلول فرآیند میوز را

پشت سر گذراند بعد از آن دیگر نمی تواند به عنوان عضو جدائی ناپذیر بدن والد عمل کند بلکه دیر یا زود از بدن فرد والد خارج می شود تا در ایجاد یک فرد جدید به کار گرفته شود. در حیوانات پرسلولی دو نوع سلول جنسی وجود دارد: سلول جنسی مؤنث یا **تخمک** (ovum) و سلول جنسی مذکر یا **اسپرماتوزوئید** (spermatozoid). به طور معمول قبل از اینکه فرآیند تکوین شروع گردد دو سلول جنسی مذکور بایستی در طی فرآیند **لقاح** با هم متحد شوند. هنگامی که این دو سلول (تخمک و اسپرماتوزوئید) بهم ملحق شدند سلول واحدی بنام **زیگوت** (zygote) یا تخم لقاح یافته را تشکیل می دهند که در آن تعداد کروموزوم ها دوباره به حالت دیپلوئید بر می گردد. تخم لقاح یافته سپس به تکوین خود ادامه می دهد تا اینکه سرانجام به یک حیوان بالغ جدید تبدیل می گردد.

در کنار تولید مثل جنسی، در بسیاری از گونه های حیوانات از یک شیوه متفاوتی برای تولید زاده های جدید استفاده می شود که به آن **تولید مثل غیر جنسی** میگویند. در تولید مثل غیر جنسی فرد جدید از گامت ها به وجود نمی آید بلکه از بخش هایی از بدن والد که حاوی سلول های سوماتیک است ایجاد می گردد. اندازه این بخش ممکن است بزرگ یا کوچک باشد اما در هر حال حاوی بیش از یک سلول می باشد. تکوین یک حیوان با روش تولید مثل غیر جنسی از نظر تقسیم بندی در همان گروهی قرار می گیرد که تکوین از طریق تخم لقاح یافته قرار دارد، به عبارتی آن نیز شکلی از تکوین فردی بشمار می رود. برای اینکه این دو شکل تکوین فردی را از هم متمایز کنیم از واژه **جنین زایی** (embryogenesis) برای تعریف تکوین از طریق تخم و از اصطلاح **بلاستوژنز** (blastogenesis) برای تکوین فرد جدید از طریق تولید مثل غیر جنسی استفاده می شود.

۱-۱) مراحل تکوین اوتوژنتیک

از آنچه که در بالا گفته شد مشخص می شود که فرآیندهایی که منجر به تکوین یک فرد جدید می شوند در حقیقت قبل از لقاح تخم آغاز می گردند زیرا رسیده شدن تخم و تشکیل اسپرم که مرحله **گامتوژنز** (gametogenesis) را می سازند شرایطی را مهیا می نماید که در نتیجه آن جنین زایی شروع می گردد. در هر دو فرآیند اووژنز و اسپرماتوژنز، میوز با خارج کردن نیمی از کروموزوم ها، فقط یک سری واحد از ژن ها را در هر سلول جنسی باقی می گذارد که این ژن ها برای تولید فرد جدید مورد استفاده قرار می گیرند. در هر دو جنس (نر و ماده) سلول های اولیه ای که منشاء گامت ها هستند بسیار با هم مشابه می باشند و به طور کلی از نظر ساختاری فرقی با سایر سلول های بدن فرد والد ندارند فقط اینکه در کیفیت زندگی فرد والد نقشی ندارند. در هر دو جنس مذکر و مونث اولین مرحله تولید سلول های جنسی تکثیر کم و بیش سریع این سلول ها از طریق تقسیم میتوز است. در بیضه سلول های در حال تکثیر **اسپرماتوگوننی** (spermatogonium) نامیده می شوند در حالی که در مورد تخمدان به این سلول ها **اووگوننی** (oogonium) گفته می شود. به سلول هایی که فرآیند تکثیر شدن را پشت سر گذرانده اند در جنس مذکر **اسپرماتوسیت** (spermatocyte) و در جنس مؤنث **اووسیت** (oocyte) میگویند. این سلول ها سپس وارد مرحله رشد و سپس بلوغ می گردند.

اگرچه در مرحله تکثیر تفاوت اساسی بین جنس مذکر و مونث وجود ندارد، ولی مراحل رشد و رسیدگی سلول های جنسی در والد مونث و مذکر تا حد زیادی با هم فرق می کنند. تغییراتی که در سیتوپلاسم اسپرم رخ می -

دهد آن را قادر می‌سازد که با حرکات فعال خود را به تخم برساند و آن را لقاح دهد. از طرف دیگر تخمک در مراحل رشد و تکثیر موادی در سیتوپلاسم خود ذخیره می‌کند که در خلال تکوین به طور مستقیم (از طریق تبدیل آن‌ها به انواعی از ساختارهای سازنده بدن جنین) و یا غیر مستقیم (به عنوان منبع تأمین کننده انرژی مورد نیاز برای رشد و نمو) مورد استفاده قرار می‌گیرند. ساخت این ترکیبات سیتوپلاسمی و قرار دادن آن‌ها در مکان‌های صحیح برای انجام مراحل ابتدایی رشد و نمو بسیار حیاتی می‌باشد.

دومین مرحله تکوین **لقاح** (fertilization) می‌باشد که مشتمل بر چندین فرآیند بیولوژیکی و فیزیولوژیکی نسبتاً مستقل از هم است. اول، اگر قرار است لقاح رخ دهد پس ابتدا لازم است که اسپرماتوزوئید در مجاورت با تخمک قرار گیرد. این هدف با نزدیک شدن والدین در فصل تولید مثل و آزاد کردن همزمان سلول‌های تناسلی خود به محیط اطراف (در مورد لقاح خارجی) یا جفت گیری آن‌ها (در مورد لقاح داخلی) میسر می‌شود. دوم، اسپرماتوزوئید بایستی تخمک را پیدا کرده و با آن ملحق شود. الحاق اسپرماتوزوئید و تخمک طی یک فرآیند بسیار دقیق و پیچیده متشکل از برهم‌کنش‌های متقابلی که بین دو سلول جنسی رخ می‌دهد به انجام می‌رسد. سوم، تخمک توسط اسپرماتوزوئید فعال می‌شود و رشد و نمو را شروع می‌کند. یکی از اولین تغییراتی که بعد از لقاح در تخم صورت می‌گیرد این است که تشکیلات سیتوپلاسمی در آن آرایش جدیدی به خود می‌گیرند.

سومین مرحله از تکوین مرحله **تسهیم** (cleavage) می‌باشد. تخم بعد از لقاح هنوز یک سلول واحد است چرا که هسته و سیتوپلاسم اسپرم با هسته و سیتوپلاسم تخم ادغام می‌شوند. بنابراین برای تشکیل یک موجود پرسلولی، تخم بایستی ابتدا تعداد بسیار زیادی سلول تولید کند. این کار به وسیله تعدادی از تقسیمات سلولی سریع و پشت سرهم انجام می‌گیرد. در طی این مرحله اندازه جنین تغییر نمی‌کند و سلول‌های حاصل از تسهیم یا **بلاستومرها** با هر تقسیم کوچک و کوچک‌تر می‌شوند. کل فرآیند تسهیم تحت نفوذ اندامکها و تشکیلات سیتوپلاسمی از جمله سانترومها می‌باشد و هر چند که هسته در طی تسهیم تکثیر می‌یابد ولی در فرآیندهایی که در داخل سیتوپلاسم در حال انجام است دخالتی ندارد. نتیجه تسهیم تشکیل یک توده سلولی توخالی بنام **بلاستولا** می‌باشد که در آن سلول‌های **بلاستودرم** به صورت لایه ای اطراف یک حفره ای بنام **بلاستوسل** را در بر می‌گیرند.

چهارمین مرحله رشد و نمو **گاسترولاسیون** (gastrulation) می‌باشد که طی آن لایه سلولی واحد بلاستودرم به دو یا تعداد بیشتری لایه‌های سلولی مجزا که بنام **لایه‌های زاینده** (germinative layers) نامیده می‌شوند تبدیل می‌گردد. از این لایه‌های زاینده است که اندام‌های مختلف بدن جنین منشاء می‌گیرد. در حیوانات عالی‌تر، بدن حیوان شامل چندین لایه از بافت‌ها و اندام‌ها یا اعضای مختلف از قبیل پوست، بافت همبند زیر پوستی، لایه ماهیچه‌ای، دیواره روده و غیره می‌باشد. تمام این بافت‌ها و اعضاء از سه لایه زاینده که در جریان گاسترولاسیون به وجود می‌آیند مشتق می‌گردند. خارجی‌ترین این لایه‌ها **اکتودرم** می‌باشد که اپیدرم پوست و سیستم عصبی از آن منشاء می‌گیرند. لایه بعدی **مزودرم** است که منشاء ماهیچه‌ها، سیستم عروق خونی، لایه مفروش کننده حفره ثانویه بدن (**سلوم**)، البته در جانورانی که دارای چنین حفره‌ای هستند) و اندام‌های تناسلی می‌باشد. در بسیاری از حیوانات به

ویژه در مهره داران، سیستم دفعی و بیشتر اسکلت داخلی از مشتقات مزودرم می باشند. سومین و داخلی ترین لایه زاینده **آندودرم** است که لوله گوارشی و غدد ضمیمه دستگاه گوارشی را به وجود می آورد.

لایه های زاینده از فرورفتن بخشی از بلاستودرم سطحی به داخل جنین و احاطه شدن آن توسط باقیمانده بلاستودرم سطحی ایجاد می شوند. بخشی از بلاستودرم که در سطح باقی می ماند به اکتودرم تبدیل می شود و بخشی که به داخل فرو می رود مزودرم و آندودرم را به وجود می آورد. فرورفتن مزودرم و آندودرم از سطح به داخل جنین در اثر چین خوردگی رو به داخل بلاستودرم صورت می گیرد بطوریکه در اثر این چین خوردگی جنین کروی و تک لایه ابتدایی به یک ساختار فنجان مانند دو لایه ای تبدیل می شود. به این فرآیند به داخل چین خوردن و یا به داخل فرو رفتن، **فرورفتگی** (invagination) می گویند و به جنین حاصله **گاسترولا** (gastrula) گفته می شود. روشی که به وسیله آن مزودرم و آندودرم از همدیگر جدا می شوند در موجودات مختلف متفاوت است و ما جزئیات آن را در فصل مربوطه توضیح خواهیم داد.

اگر گاسترولا به طریق فرورفتگی ایجاد شود به حفره ای که در داخل فنجان دو لایه ای به وجود می آید **آرکترون** (archentron) یا روده اولیه گفته می شود و منفذی که این حفره را به خارج مرتبط می کند **بلاستوپور** (blastopore) خوانده می شود. در موجوداتی که در آن ها گاسترولاسیون به شیوه دیگری صورت می گیرد آرکترون و بلاستوپور در مراحل پیشرفته تر ظاهر می شوند.

در مراحل بعدی رشد و نمو آرکترون یا بخشی از آن سرانجام به دستگاه گوارش جنین تبدیل می شود. سرنوشت بلاستوپور در بین سه گروه اصلی متازوآ (جانوران پرسلولی) با هم فرق می کند: در کیسه تنان بلاستوپور به منفذ دهانی تبدیل می شود. در **پروتوستومیا** (protostomia) یا تک منفذی ها (شامل کرم های حلقوی، نرم تنان، بندپایان و گروه های وابسته) بلاستوپور به دو منفذ تقسیم می شود که یکی دهان را به وجود می آورد و دیگری به مخرج تبدیل می شود. در **دوتروستومیا** (deutrostomia) یا دو منفذی ها (متشکل از خارپوستان و طنابداران) بلاستوپور در طی تکوین جنین فقط با مخرج در ارتباط است و دهان بعداً به طور مستقل از یک منفذ دیگری سرچشمه می گیرد.

این طور نیست که کل دستگاه گوارش توسط آندودرم مفروش گردد بلکه در تمام گروه های جانوری اکتودرم بعدها در دو جایگاه منفذ دهانی و مخرجی فرورفتگی حاصل کرده و به بخشی از کانال گوارشی تبدیل می شود. بخش هایی از لوله گوارش که توسط اکتودرم مفروش می گردد در ناحیه دهان بنام شیار یا **چال دهانی** (stomodeum) و در ناحیه مخرج شیار یا **چال مخرجی** (proctodeum) نامیده می شوند.

با تشکیل سه لایه زاینده فرآیند تقسیم بندی جزئی تر جنین به بخش های با سرنوشت معین شروع می شود. این تقسیم بندی در پنجمین مرحله تکوین که بنام مرحله **اندام زایی** (organogenesis) خوانده می شود ادامه می یابد. توده های بهم پیوسته ای از سلول های سه لایه زاینده به گروه های سلولی کوچک تری تقسیم شده و هر کدام از این گروه ها برای تولید یک عضو معین یا بخش مشخصی از بدن جنین تعیین سرنوشت می شوند. هر عضو تکوین خود را به صورت گروهی از سلول ها که از سایر سلول ها متمایز است شروع می کند. به این گروه های سلولی **طرح های**

اولیه اعضا (primary organ rudiments) می گویند. تعدادی از این گروه‌ها خود ساختار پیچیده‌ای دارند و از سلول‌هایی تشکیل می‌شوند که می‌توانند کل اعضا یک دستگاه بدن (مثل دستگاه عصبی یا دستگاه گوارش) را بسازند. این طرح‌های پیچیده اولیه متعاقباً به **طرح‌های ثانویه اعضا** (secondary organ rudiments) متمایز می‌شوند که پایه و اساس اعضا ساده‌تر را می‌سازند. با ظاهر شدن طرح‌های اولیه و ثانویه اعضا، جنین کم‌کم به حیوان بالغ یا لارو (اگر حیوان در طی تکوین خود از مرحله لاروی عبور می‌کند) شباهت پیدا می‌کند.

ششمین مرحله تکوین، دوره **رشد** (growth) و **تمایز بافتی** (histological differentiation) است. بعد از اینکه طرح اولیه اعضا تشکیل شد آن‌ها شروع به رشد می‌کنند و به تدریج اندازه آن‌ها افزایش می‌یابد. به این طریق حیوان به تدریج به اندازه والدین خود نزدیک می‌گردد. دیر یا زود سلول‌های موجود در طرح‌های اولیه اعضا از لحاظ بافت شناسی تمایز پیدا می‌کنند یعنی اینکه یکسری ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و ساختاری کسب می‌کنند که آن‌ها را قادر می‌سازد وظایف فیزیولوژیک خود را به انجام برسانند. وقتی سلول‌های موجود در تمام اندام‌ها، یا حداقل اندام‌های حیاتی و مهم بدن، قادر شدند که اعمال فیزیولوژیک خود را انجام دهند حیوان جوان قادر خواهد بود به طور مستقل به زندگی خود ادامه دهد.

در مواردی (برای مثال نماتودها) حیوان جوانی که از تخم بیرون می‌آید یک کپی کوچک‌تر از حیوان بالغ است و فقط از نظر جثه و میزان تمایز اندام‌های تناسلی با حیوان بالغ متفاوت است. در این حالت مرحله بعدی تکوین حیوان فقط شامل رشد و بالغ شدن غدد جنسی در آن است. اما بیشتر معمول است که حیوانی که از تخم خارج می‌شود تا حد زیادی با موجود بالغ فرق می‌کند، بدین ترتیب که نه تنها غدد جنسی بلکه اندام‌های دیگر نیز هنوز به طور کامل تمایز پیدا نکرده‌اند یا اینکه ممکن است این اندام‌ها اصلاً وجود نداشته باشند. بعضی اوقات حیوانی که از تخم خارج می‌شود واجد اندام‌هایی است که در حیوان بالغ وجود ندارد ولی این اندام‌ها برای مرحله‌ای از زندگی حیوان ضروری است. در این حالت حیوان جوان **لارو** (larva) نامیده می‌شود. لارو ممکن است شکل متفاوتی از زندگی موجود باشد ولی پس از **دگردیسی** (metamorphosis) به موجود بالغ تبدیل می‌شود. در دوران دگردیسی ممکن است اعضای جدیدی ساخته شوند بطوریکه فرآیندهای ریخت‌زایی پس از مدتی طولانی که موجود در حالت لاروی به سر می‌برد دوباره از سر گرفته می‌شود.

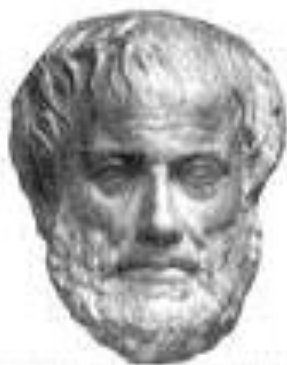
فعال شدن مجدد فرآیندهای ریخت‌زایی ممکن است به صورت دیگری نیز در موجود رخ دهد. بسیاری از حیوانات واجد توانایی قابل ملاحظه‌ای برای بهبود آسیب‌های وارده بر بدن خود می‌باشند. در این جانوران بخش‌های آسیب دیده یا از دست رفته **ترمیم** (regeneration) می‌شوند و این بدان معنی است که فرآیندهایی تکوینی ممکن است گاهی اوقات در یک موجود بالغ یا پیر نیز تکرار گردند.

تمام فرآیندهای ریخت‌زایی که در مراحل بعدی زندگی یک موجود (بعد از مرحله لاروی یا حتی بعد از رسیدن به مرحله بلوغ) رخ می‌دهد هفتمین و آخرین مرحله تکوین را تشکیل می‌دهد.

۱-۲) مروری بر تاریخچه علم جنین شناسی

جنین شناسی توصیفی و مقایسه‌ای

هرچند که یک درک صحیح از چگونگی تکوین فردی فقط پس از اثبات تئوری سلولی حاصل شد ولی از زمان‌های قدیم نیز اطلاعات پراکنده ای در باره تکوین موجودات وجود داشت. ارسطو (شکل ۱-۱) در ۳۴۰ سال پیش از میلاد مسیح چگونگی تکوین جنین را در تخم مرغ توصیف کرد ولی بیشتر مشاهدات و تجربیاتی که روی تکوین جانوران مختلف (به ویژه حشرات و مهره داران) صورت گرفت در قرن‌های هفدهم و هجدهم انجام شد.



شکل ۱-۱) ارسطو (۳۲۲-۳۸۴ قبل از میلاد) اولین کسی است که به طور سیستماتیک مشاهداتی روی جنین جوجه انجام داد.

اولین کسی که اطلاعات جنین شناسی را به صورت مدون ارائه کرد کارل ارنست وون بائر (شکل ۲-۱) (Karl Ernst von Baer) در سال ۱۸۲۸ بود. او در کتاب خود نه تنها اطلاعات جنین شناسی زمان خود را جمع آوری کرد و با اطلاعاتی که از تحقیقات خویش بدست آورده بود در هم آمیخت بلکه چند قانون و فرضیه مهم نیز ارائه کرد. یکی از مهم‌ترین این قانون‌ها، **قانون بائر** (Baer's law) می‌باشد. این قانون را می‌توان بدین صورت بیان کرد که: در طی دوران جنینی ویژگی‌های عمومی که در تمام اعضای یک گروه از جانوران مشترک است زودتر از ویژگی‌هایی که مخصوص اعضای مختلف آن گروه است ظاهر می‌شوند. به عنوان مثال، ویژگی‌هایی که در تمام حیوانات مهره‌دار مشترک است (از قبیل مغز و طناب عصبی، نوتوکورد، عضلات بندبندی و کمان‌های آئورتی) زودتر از ویژگی‌های مشخص کننده رده‌های مختلف مهره‌داران (اندام حرکتی در چهارپایان، مو در پستانداران، پر در پرندگان و غیره) تشکیل می‌شوند. ویژگی‌هایی که خانواده‌ها را مشخص می‌کنند زودتر از ویژگی‌هایی که جنس‌های درون یک خانواده را متمایز می‌سازند ظاهر می‌شوند و به همین ترتیب ویژگی‌های که جنس‌ها را مشخص می‌کنند زودتر از خصوصیات که گونه‌های داخل یک جنس را از هم متمایز می‌کنند ظاهر می‌گردند. بنابراین، جنین ابتدایی دارای یک ساختاری است که ویژگی‌های آن در تمام اعضای یک گروه بزرگ‌تر از سلسله جانوری مشترک است و در این موقع الگوی بنیادی و اساسی سازمان‌بندی آن گروه خاص را بنمایش می‌گذارد. گروه‌هایی که این الگوی بنیادی در آن‌ها مشابه است در یک **شاخه** (phylum) از سلسله جانوری قرار می‌گیرند.



شکل ۱-۲) کارل ارنست وون بائر (۱۸۷۶-۱۷۹۲) سهم بسیار مهمی در جنین شناسی توصیفی و نیروی حیات بخش دارد. او اولین کسی است که به وجود شباهت‌هایی بین جنین مهره داران به ویژه آمیون داران پی برد.

قانون بائر زمانی مطرح شد که هنوز تئوری تکامل توسط زیست شناسان شناخته نشده بود. اما در پرتو شناخت این تئوری، قانون بائر توسط مولر-هکل (شکل ۳-۱، Muller-Haeckel) باز نگری شد و بنام **قانون بیوژنتیک** (biogenetic law) شناخته شد. مولر با مطالعات گسترده‌ای که روی تکوین سخت پوستان انجام داد توانست قانون بیوژنتیک را تایید کند.

بر طبق قانون بائر ویژگی‌های مشترک گروه‌های عمده جانوران در طی اونتوژنی زودتر تکوین می‌یابند. اما در پرتو تئوری تکامل این ویژگی‌ها، ویژگی‌های هستند که از یک جد مشترک که شناخته نیست به ارث رسیده است. خصوصیتی که جانوران مختلف را از همدیگر متمایز می‌کند بعدها در طی تکامل آن‌ها به وجود آمده‌اند و بر مبنای قانون بائر این ویژگی‌ها هستند که در طی تکوین در مراحل دیرتری ظاهر می‌شوند. به عبارت دیگر در طی رشد و نمو جنینی ویژگی‌هایی که منشاء قدیمی‌تری دارند زودتر و ویژگی‌های جدیدتر دیرتر ظاهر می‌گردند. از این رو در تکوین فردی ویژگی‌های مختلف یک حیوان در یک روند مشابه با آنچه در طی تکوین فیلوژنتیک (تکامل) آن صورت گرفته ظاهر می‌شوند. به عبارتی **اونتوژنی تکرار فیلوژنی** است. البته این موضوع آشکار است که اونتوژنی یک تکرار کامل از فیلوژنی نیست و همان‌طور که قانون بیوژنتیک می‌گوید اونتوژنی تکرار کوتاه و تغییر یافته فیلوژنی است. کوتاه شدن فرآیند در این واقعیت آشکار است که چیزی که در طی هزاران میلیون سال (فیلوژنی) انجام گرفته است اکنون در طی چند روز یا چند هفته (اونتوژنی) تکرار می‌گردد. تغییرات به این دلیل ایجاد شده که جنین یک سیستم زنده است و نیاز به آن دارد که خود را با شرایط محیط اطرافش سازگار نماید و این سازگاری‌ها با تغییر ویژگی‌های به ارث رسیده میسر شده است. یک مثال خوب از چنین سازگاری‌هایی جفت پستانداران است. جفت ساختاری است که توسط جنین ایجاد می‌شود تا از طریق آن با دیواره رحم مادر ارتباط برقرار کند و مواد غذایی مورد نیاز خود را کسب نماید. این ساختار هرچند که در مراحل نسبتاً اولیه زندگی جنین ایجاد می‌شود ولی در حالت بلوغ اجداد پستانداران نمی‌توانسته است وجود داشته باشد. بنابراین جفت در پستانداران یک سازگاری به شرایط خاصی است که جنین در آن قرار دارد.



شکل ۱-۳) ارنست هکل (۱۸۳۴-۱۹۱۹) مطالعات وون بائر را دنبال کرد و با همکاری مولر فرضیه اونتوژنی- تکرار فیلوژنی را مطرح نمود، به این معنی که هر موجود زنده در طی رشد و نمو فردی خود از مراحل می گذرد که اجداد او در مرحله بلوغ از آن گذشته اند.

حتی اگر ویژگی های اجدادی در تکوین فردی حیوانات معاصر به طور کامل تکرار نگردد ولی تکرار جزئی و ناقص بعضی از مشخصات اجدادی نیز برای آشکار کردن ارتباط و خویشاوندی جانوران مفید می باشد. به عنوان مثال، شکاف های آبششی (gill clefts) یا حداقل کیسه های حلقی (pharyngeal pouches) در طی تکوین فردی تمام مهره داران ایجاد می گردد. در مهره داران آبزی همچون دهان گردان و ماهی ها شکاف های آبششی به عنوان اندام های تنفسی عمل می کنند در مهره داران خشکی زی بالغ، شکاف های مذکور به طور کامل ناپدید شده یا اینکه به نحوی تغییر یافته که قابل شناسایی نمی باشد و عمل تنفس به اندام های دیگری (شش ها) واگذار گردیده است. با این وجود، کیسه های حلقی در جنین تمام مهره داران ظاهر می گردد. در دوزیستان که دارای لارو آبزی هستند، کیسه های حلقی جنین به هیچ وجه وظیفه تنفسی ندارند. تشکیل آن ها را در این گروه می توان چنین توضیح داد که مهره داران خشکی زی از اشکال آبزی واجد آبشش های کارآمد منشاء گرفته اند.

موقعیت سیستماتیک بعضی از گونه های جانوری را نمی توان از روی ویژگی های ساختاری موجود بالغ مشخص کرد چرا که در نتیجه سازگاری به شرایط بسیار ویژه تغییرات شگرفی در آن ها رخ داده است. برای مثال یک اسیدی بالغ حیوانی است بی تحرک، ثابت و فاقد هر گونه اندام حرکتی، و سیستم عصبی آن بسیار ابتدایی است. با توجه به این مشخصات تا قبل از سال ۱۸۶۶ اسیدی ها را جزء خویشاوندان نزدیک نرم تنان رده بندی می کردند تا اینکه در آن سال کوالسکی (Kowalevsky) کشف کرد که لارو اسیدی ها واجد مغز و طناب عصبی به خوبی توسعه یافته پشته، نوتوکورد مشخص و دستجات عضلات جانبی (به طور خلاصه اندام هایی که در مهره داران دیده می شوند) می باشد. بنابراین او اسیدی ها را در گروه مهره داران قرار داد.

در ساکولینا (sacculina) حیوان بالغ انگل است و دارای ساختمان بسیار ساده ای است که مناسب نوع زندگی آن است بطوریکه فقط شامل یک کیسه بی شکل تولید کننده تخم و یک سیستم منشعب از ریزوئیدهایی می باشد که توسط آن ها به بدن میزبان (خرچنگ) می چسبد و مایعات بدن میزبان را به بدن خود می کشد. اگر ما چگونگی تکوین این جانور را ندانیم نمی توانیم آن را در هیچ شاخه ای از سلسله جانوری قرار دهیم اما لارو این حیوان دارای ویژگی هایی بندپایان می باشد و بسیار مشابه لارو سخت پوستان Entomostraca است.

یک لارو نسبتاً مشابه در بارناکل های cirripedia دیده می شود که دارای پاهای مفصل دار شبیه دیگر بندپایان است ولی در حالت بلوغ این ویژگی را از دست می دهد. اتصال لارو ستاره دریایی brachiolaria به بستر در حالی

که فرآیند دگرپسندی و تبدیل شدن به فرم بالغ را می گذرانند نشانه ای از این است که خارپوستان آزادی از اشکال ثابت و بدون تحرک منشاء می گیرند.

در پرتو قانون بائر و قانون بیورنتیک جنین شناسان به شکل سازمان یافته نحوه تکوین حیوانات متعلق به تمام گروه های عمده سلسله جانوری را مطالعه نموده اند. در نتیجه این تحقیقات و مطالعات گسترده و وقت گیر شاخه مهمی از علم جنین شناسی بنام **جنین شناسی مقایسه ای** (comparative embryology) شکل گرفته است.

تکوین توضیحی: تئوری های از پیش ساختگی و اپی ژنز

جنین شناسان توصیفی و مقایسه ای نمی توانند به تمام سوالاتی که در تکوین فردی مطرح می شود پاسخ دهند. سوالات اساسی که در این فرآیند مطرح بوده این بوده است که: اصولاً چرا اونتوژنی اتفاق می افتد؟ نیروهایی که سبب ایجاد تغییرات در جریان انتوژنی می شوند کدامند؟ و چگونه یک سلول ساده کروی در طی تکوین به یک موجود پیچیده و با شکل معین تبدیل می شود؟

بشر از زمان های خیلی دور برای یافتن پاسخی به سوالات مذکور تلاش هایی انجام داده است. ارسطو اولین کسی بود که سعی کرد با توجه به تجربه و دانش فلسفی خود برای این سوالات جوابی پیدا کند. او عقیده داشت که موجودات از دو بخش **ماده** (substance) و **شکل** یا **خلق** (form) تشکیل می شوند. در استدلال او شکل به عنوان مایه آفریدگر (creative principle) یا قوه خلاقه در نظر گرفته می شد. ارسطو چنین تصور می کرد که ماده لازم برای تکوین یک بچه توسط مادر فراهم می شود (به صورت مواد غذایی) اما مایه آفریدگر به وسیله پدر عرضه می گردد. بنابراین او برای تشکیل یک فرد جدید لقاح را ضروری می دانست. اگرچه این برداشت با دیدگاهی که بشر امروزه از نحوه تکوین موجودات دارد در تضاد است ولی مفهوم مایه آفریدگر تا قرن بیستم به طور مکرر در آموزه های جنین شناسان مطرح می شد.

در قرون هفدهم و هجدهم موقعی که علم زیست شناسی در تمام عرصه ها به طور سریع در حال پیشرفت بود، زیست شناسان با همکاری علوم فیزیکی و شیمیایی فرضیه ای را به طور گسترده در زمینه نحوه تکوین فردی حیوانات مطرح کردند. این فرضیه بنام **تئوری از پیش ساختگی** (preformation theory) معروف شد. این تئوری ادعا می کرد که اگر ما می بینیم که چیزی در تخم به وجود می آید به این دلیل است که در حقیقت از قبل چیزی در داخل آن وجود داشته ولی به شکلی که ما قادر به دیدن آن نیستیم. به عنوان مثال اگر جوانه برگ یک درخت یا غنچه یک گل را در نظر بگیریم می توان مشاهده کرد که در داخل هر یک از برگچه ها و گلبرگهای خارجی یک برگچه و گلبرک کوچکتری وجود دارد یا پاها، بال ها و قسمت های بندبندی بدن پروانه از خیلی قبل در زیر غشاء کوتیکولی آن وجود دارد و اگر این پوشش برداشته شود آن ها قابل مشاهده خواهند بود. بنابراین طرفداران این تئوری عقیده داشتند که تمام بخش های جنین از قبل در داخل تخم وجود دارد ولی چون اندازه آن ها بسیار کوچک است ما قادر به دیدن آن ها نیستیم. اما موقعی که جنین شروع به رشد و نمو می کند این بخش ها نیز رشد کرده و بزرگ می شوند و مانند گلبرگهای داخل غنچه گل به تدریج باز و گسترده می شوند و در این حالت است که ما قادر خواهیم بود آن ها را به سادگی ببینیم. به عبارت دیگر بر طبق این تئوری تمام زاده هایی که در آینده

به وجود خواهند آمد به صورت از پیش تشکیل شده و کوچک در داخل تخم وجود دارند و به همین دلیل به تئوری مذکور تئوری از پیش ساختگی میگویند.

هنگامی که وجود اسپرماتوزوئید در مایع منی کشف شد طرفداران این نظریه مجبور شدند در چارچوب فرضیه خود نقش تخمک و اسپرماتوزوئید را در تکوین جنین مشخص سازند. واضح است که یک موجود از پیش ساخته نمی تواند هم در تخمک و هم در اسپرماتوزوئید وجود داشته باشد. در اینجا طرفداران تئوری از پیش ساختگی به دو گروه تقسیم شدند: اوویست ها (ovists) و انیمال کولیستها (animalculists)، این نام از کلمه animalcule یا آدمک که به اسپرم لقب داده بودند گرفته شده است). اوویستها اعتقاد به این داشتند که جنین از قبل تشکیل شده در داخل تخمک وجود دارد و اسپرماتوزوئیدها سلول های زائدی هستند که به صورت انگلی در مایع منی زندگی می کنند. از طرف دیگر انیمال کولیستها معتقد بودند که جنین به صورت از پیش ساخته شده در اسپرماتوزوئید وجود دارد و تخمک فقط مواد غذایی لازم برای تکوین آنرا فراهم می آورد و در همین ارتباط کسانی از آنها که با میکروسکوپ سروکار داشتند ادعا کردند که واقعاً یک موجود کوچک (همونکولوس یا آدمک انسان) را در داخل اسپرماتوزوئید انسان دیده اند که به دور خود پیچیده است (شکل ۴-۱). در اینجا مباحثات زیادی در گرفت که در نهایت به نفع اوویستها پایان گرفت. پیروزی اوویستها ناشی از کشف پدیده بکرزایی (parthenogenesis) توسط بونت در سال ۱۷۴۵ در تعدادی از حشرات از جمله شته ها بود. استدلال اوویستها این بود که وقتی تخمک می تواند بدون لقاح تکوین پیدا کند پس مشخص می شود که اسپرماتوزوئید نمی تواند واجد جنین از پیش ساخته باشد. البته خوشحالی اوویستها نیز دیری نپایید زیرا که در سال ۱۷۸۷، لازارو اسپالانزانی (شکل ۵-۱، Lazzaro Spallanzani) با پوشاندن یک توری به قورباغه های نر در هنگام جفت گیری مشاهده کرد که تخمک های فرد ماده بارور نشدند و جنینی تشکیل نشد پس مشخص می شد که تخمک نیز واجد جنین از پیش ساخته نیست.



شکل ۴-۱) همونکولوس یا آدمک موجود در سر اسپرم با توجه به آنچه توسط انیمال کولیستها ادعا می شد.



شکل ۱-۵) لازارو اسپالانزانی (۱۷۹۹-۱۷۲۹) کسی بود که خط بطلان بر نظریهٔ اوویستها کشید. او اولین کسی است که تلقیح مصنوعی را در مورد تخمهای قورباغه انجام داد.

تئوری از پیش ساختگی با تمام مقبولیتی که در زمان خود کسب کرد نتوانست نظر همگان را به خود جلب کند و در سال ۱۷۵۹ فردی بنام کسپار ولف (Caspar Friedrich Wolf) به وجود مکانیسم دیگری در جریان تکوین اشاره کرد و آن را **اپی ژنز** (epigenesis) نامید. اپی ژنز یعنی اینکه موجود بالغ به تدریج از یک تخم نسبتاً بی شکل به وجود می آید، یعنی به همان ترتیبی که قبلاً توسط ارسطو و ویلیام هاروی (۱۶۵۷-۱۵۷۸، شکل ۶-۱) بیان شده بود. ولف مطالعات دقیقی روی تکوین جوجه انجام داد و نشان داد که جنین اولیه به طور کلی با موجود بالغ فرق می کند و اینکه تکوین فرآیندی پیشرونده است و بخش های جدید به طور پیوسته شکل می گیرند. نتایج ولف نیز با وجود قبول تعدادی از دانشمندان به وسیلهٔ بسیاری از هم دوره های او رد شد.



شکل ۱-۶) ویلیام هاروی (۱۶۵۷-۱۵۷۸) بیشتر بدلیل مطالعاتی که روی سیستم گردش خون انجام داد شهرت دارد ولی او حتی قبل از ولف به نظریهٔ اپی ژنز در مورد نحوهٔ تکوین اعتقاد داشت.

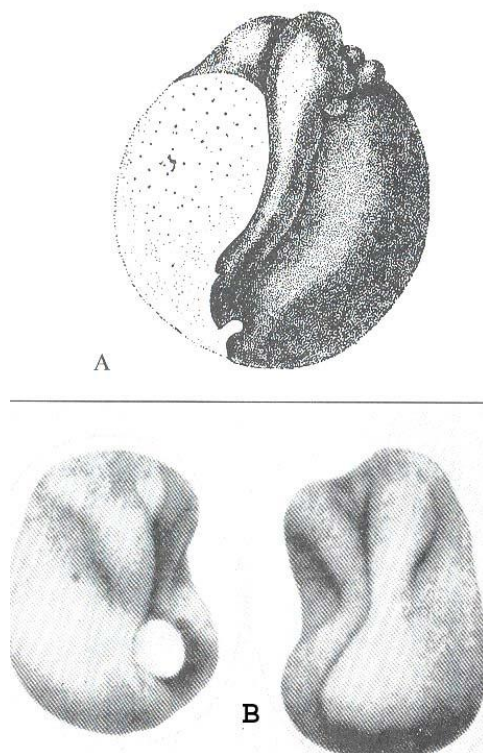
جنین شناسی تجربی

مشاهدات ولف نتوانست موجب تصمیم گیری قطعی بین دو تئوری از پیش ساختگی و اپی ژنز گردد و فقط انجام آزمایشات بود که می توانست موجب حل این مسئله شود و این آزمایشات بود که سرآغاز ایجاد علم **جنین شناسی تجربی** (experimental embryology) گردید.

اولین جنین شناسی که از آزمایش برای حل این مسئله استفاده کرد ویلهلم روکس (Wilhelm Roux, 1850-1924) بود. او سعی داشت که قابلیت دو سلول حاصل از اولین تقسیم تخم لقاح یافتهٔ قورباغه را آزمایش کند. وی پس از انتخاب یک جنین دو سلولی (بلاستومری) قورباغه با کمک سوزن داغی یکی از این دو سلول را کشت و

سپس مشاهده نمود که سلول سالم به رشد و نمو خود ادامه داد و جنینی با یک نیمه کامل و یک نیمه ناقص تشکیل داد (شکل A ۷-۱). او نتیجه گرفت که آزمایش وی با تئوری از پیش ساختگی مطابقت دارد.

هانس دریش (Hans Driesch) این مسئله را بطریقه متفاوتی در جنین‌های توتیای دریایی انجام داد. او دو بلاستومر جنین ۲- سلولی را با تکان دادن مکانیکی از هم جدا کرد. وی مشاهده نمود که هر کدام از این نیمه‌ها یک لارو کوچک ولی کاملی را ایجاد کرد (شکل B ۷-۱). متعاقباً دریش تکنیک خود را تغییر داد و سلول‌ها را در آب دریای بدون کلسیم از هم جدا کرد و دریافت که سلول‌های جدا شده در مرحله چهار سلولی نیز به طور طبیعی رشد کردند. از این رو دریش نتیجه گرفت که هر سلول تمام پتانسیل رشد و نمو سلول تخم را حفظ می‌کند. به عبارتی آزمایش دریش برخلاف روکس نظریه از پیش ساختگی را رد می‌کرد چرا که اگر جنین از پیش ساخته در داخل سلول تخم وجود داشت بلاستومرهای جدا شده چون فقط دارای بخشی از آن جنین بودند نمی‌توانستند یک لارو کامل را ایجاد کنند.



شکل ۷-۱) پتانسیل تکوین یک نیمه جنین قورباغه. A، نیمه جنین تولید شده بوسیله روکس بعد از نابود کردن یکی از بلاستومرها با کمک سوزن. B، دو جنین کامل تولید شده بوسیله دریش بعد از جدا کردن آن‌ها در مرحله دو سلولی.

نزاع بین این دو در نهایت به نفع دریش تمام شد چرا که در تمام آزمایشاتی که بر روی سایر جنین‌ها صورت گرفت مشاهده شد که سلول‌های جدا شده قادرند رشد کنند و به موجود کامل تبدیل شوند. حتی این آزمایشات روی جنین قورباغه که توسط روکس استفاده شده بود انجام گرفت و ثابت شد که هر کدام از این سلول‌ها نیز قادر است به یک جنین کامل تبدیل شود.

تکرار آزمایشی که توسط روکس انجام گرفت اهمیت طراحی درست آزمایش را نشان داد. روکس در واقع با باقی گذاشتن نیمه آسیب دیده در کنار نیمه سالم یک آرتیفکت (عامل غیرطبیعی) در آزمایش خود وارد کرد که

موجب ایجاد اختلال در رشد و نمو جنین می گردید. این مطلب بوسیله هر توئیک ثابت شد بدین ترتیب که او نشان داد اگر نیمه آسیب دیده از روی جنین برداشته شود نیمه سالم رشد کرده و به یک جنین کامل ولی با اندازه کوچک تر تبدیل خواهد شد. این عقیده که مرگ یک سلول سبب ایجاد اختلال در رشد و نمو جنین می شود برای خود روکس نیز موقتی بود چرا که او بعداً دریافت که جنین قورباغه از طریق تشکیل بخش های از دست داده قادر به تنظیم رشد و نمو خود می باشد. احتمالاً روکس متوجه شده بود که مشاهداتش با نظریه اش در تضاد است ولی وی بجای پذیرفتن اشتباه خود سعی در توجیه آن نمود و شاید این بزرگ ترین اشتباه علمی او باشد. اما کارهای روکس اثر بسیار مهم و بارزی روی زیست شناسی تکوینی بجای گذاشت. در حقیقت او اولین کسی بود که سعی نمود با تکیه بر تجربه و آزمایش به ارائه نظریه علمی در موضوع تکوین موجودات پردازد. او اولین محقق بود که به دستکاری جنین پرداخت و اثر این دستکاری ها را بر روی رشد و نمو موجود بررسی کرد. به این دلیل بسیاری از جنین شناسان روکس را به عنوان پدر علم جنین شناسی تجربی می شناسند. کارهای وی باعث شد که توجه سایر جنین شناسان را به کارهای تجربی جلب کند و دوره جدیدی از جنین شناسی تجربی پایه گذاری گردد.

جنین شناسی تجربی برخلاف جنین شناسی توصیفی یا توضیحی از آزمایش به عنوان وسیله تحقیق استفاده می کند اما استفاده از آزمایش نیز به تنهایی نمی تواند به این سوال که چه نیروهایی پشت تکوین فردی می باشند پاسخ دهد. به همین دلیل بود که دیدگاه های جدیدی در بین جنین شناسان مطرح گردید.

جنین شناسی مدرن - جنین شناسی تحلیلی

در نیمه دوم قرن بیستم با توجه به اتفاقاتی که در ابتدای این قرن در دنیای زیست شناسی رخ داده بود جنین شناسی در مسیر جدیدی گام بر می داشت. در اوایل قرن مذکور (۱۹۱۹) محقق بنام مورگان (شکل ۸-۱، T. H. Morgan) ثابت کرد که عوامل وراثتی یا همان ژن ها به صورت خطی بر روی کروموزوم های سلول ها قرار دارند. آزمایشات بعدی نشان داد که کروموزوم ها خود متشکل از چند نوع مولکول می باشند: DNA، RNA و پروتئین ها.



شکل ۸-۱) مورگان (۱۸۶۶-۱۹۴۵) کسی بود که با مطالعاتی که روی مگس سرکه انجام داد بحث ژنتیک را وارد عرصه جنین شناسی کرد.

در مقاله ای که واتسون و کریک در سال ۱۹۵۳ منتشر ساختند پیشنهاد کردند که DNA موجود در کروموزوم ها شامل دو ساختار رشته ای است که این دو رشته در طول خود بدور هم می پیچند و یک مارپیچ دو گانه را به وجود می آورند. هر رشته موجود در DNA از واحدهایی بنام نوکلئوتید ساخته می شود و نوکلئوتیدهای مختلف فقط از نظر یک باز نیتروژن دار (آدنین، تیمین، گوانین و سیتوزین) با هم فرق می کنند. نوکلئوتیدهای موجود در هر رشته با نوکلئوتیدهای مکمل خود در رشته مقابل جفت می شوند بدین ترتیب که همیشه نوکلئوتید آدنین دار موجود

در یک رشته با نوکلئوتید تیمین دار موجود در رشته مقابل و نوکلئوتید سیتوزین دار با نوکلئوتید گوانین دار رشته مقابل جفت می گردند. مطالعات بعدی ثابت کرد که ترتیب قرارگیری نوکلئوتیدها در مولکول DNA سبب ایجاد کدهایی می گردد که خود تولید پروتئین های معینی را موجب می شوند. هر کد از سه نوکلئوتیدی که کنار هم قرار می گیرند تشکیل شده و معرف و مترادف یک اسید آمینه در زنجیره پلی پپتیدی (پروتئین) است. بنابراین زنجیره ای از کدهای سه نوکلئوتیدی در DNA توالی آمینو اسیدی یک مولکول پروتئینی را معین می کند و بخشی از مولکول DNA که حاوی این زنجیره است ژنتیکدانان به آن ژن میگویند.

بین کد ژنتیکی موجود در DNA کروموزوم و پروتئین های سلولی مراحل حد واسطی وجود دارد. پیام موجود در DNA ابتدا به صورت RNA کپی می شود و توالی نوکلئوتیدهای RNA حاصله مکمل DNA است بجز اینکه در ساختمان آن بجای تیمین، اوراسیل وجود دارد. به این مرحله **رونویسی** میگویند. کد به این وسیله به RNA منتقل می شود و به RNAیی که به عنوان پیامبر عمل می کند mRNA میگویند. دو نوع دیگری از RNA در سلول وجود دارد که یکی tRNA است که به همراه تعدادی از پروتئین ها در ساخت ذراتی بنام ریبوزوم مشارکت می کند. ریبوزومها ذراتی هستند که در داخل آنها اسیدهای آمینه به طور صحیح و بر طبق کدی که در داخل mRNA قرار دارند به همدیگر متصل می شوند و زنجیره پلی پپتیدی را می سازند. دیگری tRNA است که آمینواسیدهای لازم برای ساخت پروتئین را به محل ریبوزوم می آورد. به فرآیند تبدیل پیام موجود در mRNA به توالی معینی از زنجیره پلی پپتیدی **ترجمه** گفته می شود.

اهمیت این کشفیات برای جنین شناسی در توضیحات زیر مشخص می شود. این موضوع ثابت می کند که تمام ویژگی های موجودات زنده به وسیله کدهایی که بر روی DNA کروموزوم های آن قرار دارد تعیین می گردد. بعلاوه، پذیرفته می شود که توالی بازهای موجود در کدهای سه حرفی به طور مستقیم معین می کند که چه پروتئین هایی توسط یک موجود ساخته شوند. تمام مشخصات دیگری که خاص هر موجود است، چه از نظر ریخت شناسی و چه از نظر فیزیولوژی، کم و بیش به طور مستقیم به مجموعه ای از پروتئین هایی که به وسیله DNA وراثتی رمز گشایی می گردند بستگی دارد. این نگاه جدید به دنیای آلی موضوع تکوین فردی را مستقیماً به سمت ارتباطات مولکولی سوق داده است. در نتیجه این امکان وجود دارد که به تبیین یک تئوری جامع برای تکوین اقدام کنیم. یک چنین تئوری با توالی کدهای سه حرفی شروع می شود و نشان می دهد که در ابتدا این توالی ها چگونه به صورت پروتئین خوانده می شوند، و در مرحله بعد پروتئین های ساخته شده چگونه در موقعیت های زمانی و مکانی معین قرار می گیرند و همچنین نشان می دهد که در نهایت چگونه این پروتئین ها با عملکرد خود و با همکاری با سایر ترکیبات شیمیایی یک سیستم پیچیده ای که در بدن موجود بالغ دیده می شود را به وجود می آورند.

مجموعه ای از تکنیک های جدید نیز برای پاسخ دادن به سوالات مطرح شده در تکوین به کمک آمده اند. برای مثال میکروسکوپ الکترونی بعد از دهه ۱۹۵۰ پیشرفت های زیادی نموده و کمک زیادی به آشکار کردن ساختمان دقیق سلول های جنین کرده است. روش های تجزیه و تحلیل شیمیایی، از قبیل کروماتوگرافی، الکتروفورز، اولتراسانتریفوژ و استفاده از ردیاب های رادیواکتیو نیز به طور گسترده ای اکنون مورد استفاده جنین شناسان قرار دارد.

تغییراتی که در زمینه تئوری و تکنیک ایجاد شده سبب ایجاد یک تغییر ظریف در کار جنین شناسان شده است. امروزه دیگر هدف جنین شناسان مطالعه نحوه تکوین یک حیوان خاص یا گروه معینی از حیوانات نیست بلکه در پی آنند که اصول اساسی فرآیندهای تکوین را کشف کنند. این گرایش در علم جنین شناسی بنام **جنین شناسی تحلیلی** (analytical embryology) شناخته می شود و این چیزی است که جنین شناسی مدرن با آن سر و کار دارد. باید در نظر داشت که جنین شناسی تحلیلی از دانش حاصل از جنین شناسی مقایسه ای و توصیفی استفاده می کند، چرا که این جنین شناسی مقایسه ای است که برای دانستن اینکه یک پدیده معین چه اهمیتی در تکوین دارد ضروری است و این جنین شناسی توصیفی است که ارتباط سببی بسیاری از فرآیندهای تکوینی را آشکار می سازد.