

పరిమిత దశా యంత్రం: కృత్రిమ మేధ

పరికరాల అవగాహనకి మొదటి మెట్టు

శ్రీ కొచ్చెర్లకోట బాపారావు

“అద్భుత యంత్రాలు”, సంక్లిష్టత

ఇవాళారేపు మనం ఎటుచూసినా అద్భుత యంత్రాలమయమే. టెలివిజన్లు, జెట్ విమానాలు, కంప్యూటర్లు, ఇస్రో (ISRO) వాళ్ళు ఎగరేసే ఉపగ్రహాలు, మోబైల్ ఫోన్లు ఇలా ఎన్నో. ఈ యంత్రాలు మనకి చేసిపెట్టే పనులు – అంటే మొబైల్ ఫోన్లు దేశాంతరాలనుంచి సందేశాలు రెప్పపాటులో అందజేయడం, జెట్ విమానాలు అతివేగంగా మనుషుల్ని సుదూర గమ్యాలకి మోసుకుపోడం లాంటివి – అద్భుతాలు. వీటిని రోజూ చూడడం మామూలైపోవడంతో, ఇవన్నీ పెద్ద అద్భుతాలుగా అనిపించడం మానేస్తాయి. కానీ ఒక్క క్షణం నిదానించి, “ఫలాని యంత్రం (జెట్ విమానం అనుకుందాం) ఎలా పని చేస్తుంది? దాన్ని ఎలా తయారు చేస్తారు?” అని గనక ప్రశ్నించుకుంటే, వెంటనే బుర్రకి అందనంత సంక్లిష్టత ఎదురౌతుంది. అంతటి సంక్లిష్టతగల యంత్రాలు తయారయ్యే మన అందుబాటులోకి రావడం ఈనాటి అద్భుతం.

నేడు ప్రపంచాన్ని ఉర్రూతలూగిస్తున్న అటువంటి ఒక అద్భుతం కృత్రిమమేధ (కృమే/AI Artificial Intelligence) యంత్రాలు. ఇవి గత కొద్ది సంవత్సరాలుగా బాగా ప్రాచుర్యంలోకి వచ్చాయి. గూగుల్ వారి జెమిని, ఆంథ్రాపిక్ వారి క్లాడ్, ఓపెన్ ఏఐ వారి చాట్ జీపీటీ, మైక్రోసాఫ్ట్ వారి కోపైలట్ వంటివి. ఇవి భాషాబృహత్తంత్రాల (large language models) మీద ఆధారపడ్డ ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ (ఉకృమే Generative AI) వ్యవస్థలు. అవి మనకు మనుషులతో మాట్లాడుతున్న అనుభూతిని కలిగిస్తున్నాయి. వాటి తెలివి, అనుభవజ్ఞత నిపుణులను సైతం మించుతున్నట్లున్నాయి. వీటి శక్తులను చూస్తే అద్భుత యంత్రాలు కొత్త శిఖరాలకు ఎదిగినట్టనిపిస్తుంది. రోగనిదానం చెయ్యమన్నప్పుడు ఒక వైద్యునిలాగా, వ్యాపారపు సలహాలివ్వమన్నప్పుడు ఒక వ్యాపారిలాగా, ఒక కథ గాని వ్యాసం గాని రాయమన్నప్పుడు రచయిత లాగా, కవితవం రాయమన్నప్పుడు కవిలాగా, కంప్యూటరు ప్రోగ్రాం రాయమన్నప్పుడు ఇంజనీరులాగా, ఇలా ఏమడిగినా, బహుముఖ ప్రజ్ఞతో మంచి అనుభవజ్ఞులైన నిపుణుల తరహాలో సమాధానం చెబుతున్నాయి ఈ యంత్రాలు. స్నేహితుడిలా కబుర్లు కూడా చెబుతున్నాయి. (మీరే చూడండి అనుబంధంలో, జెమినీతో అడిగి రాయించుకున్న ఓ చిన్న పిల్లల కథను)

ఇలా మనిషిని పోలిన మేధస్సుని యాంత్రికరూపంలో కల్పించగలగడం, ఇంతటి సంక్లిష్టతను యంత్రంలో ఇమిడించగలగడం అద్భుత యంత్రాలకి ఒక మాదిరి పరాకాష్ఠగా చెప్పవచ్చు.

## సరళ పరికల్పనల నుంచి సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు ఎలా వస్తాయి ?

ఉత్పాదక కృమీ వ్యవస్థల్లాంటి సంక్లిష్ట యంత్రాలు ఉన్నపాతంగా ఎవరో ఊహించి ఏకబిగిన సృష్టి స్త్రీ ఏర్పడినవి కాదు. వీటిని కంప్యూటరు ప్రోగ్రాములతో నిర్మిస్తారు. సంక్లిష్ట ప్రోగ్రాములనేవి ఒకదానితోటి మరోటి కలిసి పనిచేసే ఉపప్రోగ్రాములుగా అమరి ఉంటాయి. ఈ ఉపప్రోగ్రాములని **అంగాలు** లేక **అవయవాలు** (components) గా వ్యవహరించవచ్చు. ఇలాంటి అంగవిభజన లేకపోయినట్లయితే అంత సంక్లిష్టతనీ ఒక్కటిగా నిర్మించడం అనేది ఊహాకి అందదు; ఎలాగోలాగా నిర్మించినా దాన్ని తప్పులూ, దోషాలూ లేకుండా నడిపించగలగడం అసలే కుదరదు. సంక్లిష్ట యంత్రపు **అంతర్గత భావన** (underlying concept) తెలుసుకోవాలంటే ముందుగా మనకు కొరుకుడు పడే **సరళమైన భావనలతో** (simple concepts) మొదలుపెట్టి, అంచెలంచెలుగా, ఒక్కొక్కమెట్టే ఎక్కుతూ, సంక్లిష్టతని పెంచుకుంటూ పోవాలి. ఈ యంత్రాలని నిర్మించాలన్నా, సజావుగా నడిపించాలన్నా, వాటినిగురించిన అవగాహన ఉండాలి; అటువంటి అవగాహనని మానవమాత్రుల ఊహాకి అందుబాటులోకి తీసుకొచ్చేవే ఈ మెట్లు.

మనుషులు కృత్రిమంగా తయారుచేసుకునే సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు ప్రకృతిలో సంభవించే వ్యవస్థలని పోలి ఉంటాయి. ప్రకృతి వ్యవస్థలూ, మనుషుల అవగాహనలోకి వచ్చేటప్పటికి అంచెలంచెల భావనలుగా అమరి ఉంటాయి. ఉదాహరణకి చీమలని తీసుకుందాం. పుట్టలు నిర్మించుకుని సామూహికంగా జీవించే చీమల సమాజాలు చాలా సంక్లిష్టతని కనబరుస్తాయి: రాణి చీమ ఏలుబడిలో బారులు తీరి కలిసికట్టుగా ఆహారం తెచ్చుకుంటాయి, పుట్టలో పనులకని విభాగాలుగా ఏర్పడతాయి. ఇతర చీమల సమాజాలతో యుద్ధాలూ చేస్తాయి. ఇంకా ఎన్నెన్నో అబ్బురపరిచే పనులు చేస్తాయి. కానీ ఒక చీమని విడిగా తీసుకుంటే, దానిలో అంత సంక్లిష్టత కనబడదు, అది చీమల సమాజంతో పోలిస్తే చాలా సరళమైన జీవయంత్రం అని చెప్పచ్చు.

మనిషి మేధస్సుని తీసుకుంటే, మెదడులో మనకి కనబడేది సంక్లిష్టంగా అల్లబడిన నాడీకణాల సమూహం. ఒక్క నాడీకణాన్ని విడిగా తీసుకుంటే దాని వ్యవహారపు తీరుతెన్నులు బాగా సరళంగానే ఉంటాయి. కానీ కోట్లాది సరళమైన నాడీకణాలు అల్లికలగానూ, ఉపవ్యవస్థలుగానూ వాటి అంగాంగవిభజనగానూ ఏర్పడి మనిషి మేధని ఆలోచనల నిలయంగా, సంక్లిష్టమైన సమాజాన్ని, దాన్ని నడిపే సంక్లిష్ట యంత్రాలను, యంత్రాంగాలను సృష్టించగలదానిగా తీర్చిదిద్దుతాయి.

చీమల సంక్లిష్టసమాజం ఎలా పనిచేస్తుందో తెలుసుకోవాలంటే, సరళమైన విడి చీమతో మొదలు పెట్టాలి. అలాగే, మనిషి మెదడు పనితీరు తెలుసుకోడానికి **నాడీకణం** (neuron) గురించిన పరిజ్ఞానం పునాది. అలా అని, పెద్దమొత్తంలో చీమలని ఏదోలా పోగు చేసినంతమాత్రాన చీమల సమాజం ఏర్పడుతుందనుకోవడం పొరపాటు. రాణి చీమకి, సమాజంలో వివిధమైన విధులు విభాగాలుగా ఏర్పడి నిర్వర్తించడానికి వీలుగా ప్రత్యేకరకాల చీమలు పుడతాయి. రాణి చీమ అనేది కూడా అలాంటి ప్రత్యేకరకపు చీమల్లో ఒకటి. ఆ సమాజం కూడా అంగాంగవిభజన కలిగి ఉంటుంది, ఈ అంగాలన్నీ వాటి వాటి పనులు చేసుకుంటూ, తత్తిమ్మా అంగాలతో లావాదేవీలు పెట్టుకుని, మొత్తం సమాజం అంతా సజావుగా నడిచేలా ఏర్పడతాయి.

నాడీకణానికి మెదడుకీ ఉన్న సంబంధం విడిచీమకీ, చీమలసమాజానికీ ఉన్న సంబంధం లాంటిదే. శరీరంలో నాడీకణాల సమూహాలు శ్వాస, ఆహారం జీర్ణం చేసుకోడం లాంటి అసంకల్పిత చర్యలని నడిపించడానికీ, అన్నం తినడం, సైకిలు నడపడం, బంతి ఆడటం లాంటి అలవాటైన పనులని చేయించడానికీ, అదివరకు తెలియని సరికొత్త మేధమెటిక్కు సమస్యని వితర్కించి పరిష్కరించడం లాంటి **ఆధిపత్య విధులని** (executive functions) నెరవేర్చడానికీ, శిల్పాలూ, యంత్రాలూ సృష్టించడానికీ కావాల్సిన సృజనాత్మకతని వెలయించడానికీ, ఇలా రకరకాల కార్యాలకి పనికొచ్చే స్పెషలిస్టులుగా ఏర్పడతాయి. ఆ స్పెషలిస్టులు ఒక్కోటి పరస్పరం పలకరించుకుని, సంభాషించుకుని సహకరిస్తాయి.

చీమల సమాజం పనిచేసే తంతూ, అంతకన్నా మనిషి మేధ పనిచేసే తంతు, అర్థం చేసుకోవాలంటే చాలా కృషి చెయ్యాల్సి ఉంటుందని తెలుస్తూనే ఉంది. అలాగే అదంతా ఒకేసారి ఔపోసన పట్టడం ఎవరి తరమూ కాదు. విడి చీమతోనూ, విడి నాడీకణంతోనూ మొదలెట్టాలి.

ప్రకృతికి చెందిన చీమల సమాజాలు, మానవ మేధ వంటి జీవ వ్యవస్థలు పరిణామ మార్గంలో వేలాది, లక్షలాది సంవత్సరాల వ్యవధిలో పరిమితమైన మార్గాల్లో నడిచే కోట్లాది చిరుమార్పులతో నిగ్గుదేరి, **సహజరీతి ఎన్నిక** (natural selection) జరిగి రూపొందుతాయి. మనిషి సృష్టించే వ్యవస్థల మాటకొస్తే, ఊహాశక్తితో ప్రేరేపించబడి, పైన చెప్పుకున్న మేధోబద్ధమైన సృజనాత్మకతనుంచి ఈ వ్యవస్థల ఉద్భవిస్తాయి గనక అవి తయారయ్యే మార్గానికి ప్రకృతిపోకడలతో పోలిస్తే పరిమితులు అంతగా ఉండవని అనుకోడం సమంజసం. విద్య, అనుభవం వల్ల సమకూర్చుకున్న అనేకమైన **మౌలికభావకల్పనలని** (elementary concepts) తలపెట్టిన ప్రయోజనానికే అనుగుణంగా సృజనాత్మకంగా అనుసంధించడం ద్వారా **కృత్రిమ సంక్లిష్ట వ్యవస్థలు** (artificial complex systems) రూపొందిస్తారు.

ఉదాహరణకి 1903లో రైట్ సోదరులు (Wright Brothers) తొలిసారిగా విమానం ఎగరేసిన విజయాన్ని తీసుకుందాం. ఈ సోదరులు వృత్తిరీత్యా సైకిలు కార్మికులు. వాళ్లకు రెండుచక్రాల సైకిలు బండి పడిపోకుండా సమతూకంతో (balance) ఎలా నడుస్తుంది అనే అవగాహనే ఉంది. విమానం తయారుచెయ్యడానికి అది సరిపోక పోవచ్చు, కానీ ఆ మొదటి ఊహ, సమతూకం గురించి ఆ సరళమైన భావన అత్యవసరమైన మొదటి మెట్టు. దాని తర్వాత వాళ్ళు **ద్రవ గతి శాస్త్ర సూత్రాల** (principles of fluid dynamics)ను తెలుసుకున్నారు. చిన్న పరిమాణంలో నమూనా విమానాలని తయారు చేయడం నేర్చుకున్నారు. వాజటి రెక్కల ప్రయోజకత్రాన్ని ప్రయోగాత్మకంగా కొలవడానికి **వాయు సొరంగాలని** (wind tunnels) నిర్మించుకున్నారు. ఇలా అంచెలంచెలుగా విమానంలోని ఒక్కొక్క అంగాన్ని, అందులోని ఉపాంగాలని ప్రయోగాలు చేసి, పడుతూ లేస్తూ, పనిచేసిన వాటిని కూడగట్టుకుంటూ, గెలుపు ఓటములను మెట్లుగా చేసుకుని ఓపికతో నిరంతరం శ్రమించారు. ఇటువంటివన్నీ ఈ సోదరుల విజయానికి ఉపయోగపడ్డ మౌలికభావకల్పనలు అని చెప్పవచ్చు.

ఇలాంటి మౌలికభావకల్పనలు సాధారణ స్థాయివారు అర్థం చేసుకోగలిగేలానే ఉంటాయి. ఇవి తెలిస్తే రైట్ సోదరుల మొదటి విమానం Wright Flyer పనితీరు ఓ మోస్తరుగా తెలిసినట్టనిపిస్తుంది. అలాగని సంక్లిష్టమైన ఆధునిక జెట్ విమానం ఎయిర్ బస్ A 380 లాంటిది ఎలా పనిచేస్తుందో, ప్రయాణీకులని సవ్యంగా గమ్యానికి ఎలా చేరుస్తుందో తెలుసుకోడానికి రైట్ సోదరుల 1903 నాటి మౌలిక భావకల్పనా పరిజ్ఞానం సరిపోదు. **జెట్ వాయునౌకలో** (jet airliner) జెట్ ఇంజను, రెక్కలు, **విమాన చట్రం** (airframe), చుక్కాని, వాయుపీడనా నియంత్రకం, కమ్యూనికేషన్, ఇలా ఎన్నో ఉపవ్యవస్థలు ఉంటాయి; ఇవి ఒక్కొక్కటి స్వయంగా మళ్ళీ సంక్లిష్టవ్యవస్థలుగా ఉంటాయి ఒక్కొక్కదాన్నీ క్రమపద్ధతిన ప్రయోగాలతో వడపోసి/ నిగ్గుదేర్చి రూపొందించుతారు. జెట్ వాయునౌకలో ప్రయాణీకులని రవాణా చేసే వ్యాపారం ఎడతెగకుండా కొనసాగాలంటే అందుకు తగ్గ ఆర్థిక వ్యవస్థ లేనిదే కుదరదు.

ఈ ప్రకారం, రైట్ సోదరుల సరళ భావకల్పనలకీ, ఆధునిక జెట్ విమాన నౌక అనే సంక్లిష్ట వ్యవస్థకీ చాలా అంతరం ఉంది; అయినప్పటికీ ఒక సంక్లిష్ట యంత్ర నిర్మాణం తొలిదశలలో సరళమైన భావనలతోనే మొదలవుతుందని మనకు తెలుస్తుంది. సంక్లిష్టమైన త్యాగరాజ పంచరత్న కృతులకు సరళమైన సప్త స్వరాలే మూలము. విశ్వవిజేత స్పైర విహారం చేసే సంక్లిష్టమైన చందరంగం ఆటలో కూడా ఆడేవారందరికీ తెలిసిన పావులను కదిపే సరళమైన నిమయాల్లే మూలం.

## పరిమిత దశ (పద) యంత్రం: ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధకి సరళ మౌలికం

పైన చెప్పుకున్నట్లుగా, **ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధ** (Generative AI) వ్యవస్థలని ఒక విధంగా సంక్లిష్ట యంత్రాలకి పరాకాష్ఠగా అనుకోవచ్చు. ఇతర సంక్లిష్ట వ్యవస్థల మాదిరిగానే ఈ వ్యవస్థలనీ అర్థం చేసుకోవాలంటే సరళ భావకల్పనలతో ఆరంభించవచ్చు.

అటువంటి సరళభావకల్పనలలో ప్రధానమైనది **జ్ఞాపకశక్తి** (memory). మరోటి **తార్కికశక్తి** (logical ability). ఇంకోటి **అభ్యాస శక్తి** (learning ability). జ్ఞాపకశక్తి అనే దాంట్లో సమాచారాన్ని నిలవచేసుకునే శక్తి, ఆ నిలవున్న సమాచారాన్ని సందర్భానుసరంగానూ, తప్పరితంగానూ **స్ఫూర్తికి తెచ్చుకునే శక్తి** (retrieval ability) అవిభక్తంగా మిళితమై ఉంటాయి. ప్రస్తుత పరిస్థితిని బట్టి, ఆ పైన ఏం చెయ్యాలో నిర్ణయించి, ఆ నిర్ణయం ప్రకారం యంత్రాన్ని నడిపేదే తార్కిక శక్తి. ఆ పైన అభ్యాస శక్తి, మనిషి మేధస్సు మాదిరిగానే అందుబాటులోకి వచ్చిన కొత్త సమాచారాన్నీ, పరిజ్ఞానాన్నీ, తప్పుల సవరణలనీ ఎప్పటికప్పుడు జ్ఞాపకభాండాంలో కలుపుకుని యంత్రాన్ని మెరుగు స్థాయికి తీసుకు పోతూ ఉంటుంది. ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధలో జ్ఞాపకశక్తి విస్తృతంగానూ బలంగానూ ఉంటుంది. **ఉపయోగకర్త** (user)తో అంతవరకూ సలిపిన **సంభాషణలతో** (interactions) పాటు, అంతర్జాల (internet) విశ్వంలో గల సంబంధిత విషయం తాలూకు **అభ్యసిత పరిజ్ఞానాన్ని** (learned knowledge) కూడా స్మరణలోకి తెచ్చుకుంటుంది. ఈ సంభాషణలనీ, పరిజ్ఞానాన్నీ ఆధారంగా తీసుకుని, తనకున్న తార్కిక శక్తిని ఉపయోగించి, ఉపయోగకర్తనుంచి వచ్చిన ప్రస్తుత ప్రశ్నకి సమాధానాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

ఉదాహరణకి, సంభాషణ సందర్భంగా, చిన్న పిల్లల కథ ఒకటి చెప్పమని జెమినీని అడిగామనుకోండి. సదరు పిల్లలు ఏ వయసు వాళ్ళు, వాళ్ళ విద్యా తదితర నేపథ్యాలు ఎలాంటివి, అనే విషయాలు ఉపయోగకర్త తానైతేల్ని చెప్పి ఉండకపోయినట్లయితే, ఉపయోగకర్త గత సంభాషణని ఆధారంగా తీసుకుని, జెమినీ ఆ వివరాలని అభ్యసిత పరిజ్ఞానంతో ఊహిస్తుంది. ఆ పైన తనకి అందుబాటులో ఉన్న తెలుగు బాలల కథాశిల్పాలూ, కథా వస్తువులూ మొదలైనవి అభ్యసిత పరిజ్ఞానంతోనే సమకూర్చుకుని, వాటి కలయిక ఏ విధంగా ఉంటే ఉపయోగకర్తకి నచ్చుతుందో ఊహించుకుని, ఆ ప్రకారం కథని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. ఈ మొత్తం ప్రక్రియలో అభ్యాసమూ, జ్ఞాపకశక్తి, తార్కికశక్తి పరస్పరం సహకరించుకుంటాయి. (అనుబంధంలో కథ చూడండి.)

జ్ఞాపకశక్తి అయినా, తార్కిక శక్తి అయినా, అభ్యాసం అయినా, కంప్యూటరు ప్రోగ్రాం రూపేణా బీజ గణితస్థాయిలో నిర్దిష్టంగా సారూప్యత కలగజేస్తారు. అలా చెయ్యడానికి గణితశాస్త్రబద్ధంగా ఈ శక్తులని నిర్వచించాల్సి ఉంటుంది. ఇటువంటి నిర్వచనాలు కొరుకుడు పడాలంటే పైన చెప్పుకున్న విధంగా సరళమైన మౌలిక భావకల్పనలతో ఆరంభించాల్సి ఉంటుంది. అటువంటి మౌలిక భావకల్పనల్లో ముఖ్యమైనది **పరిమిత దశా యంత్రం** (finite state automaton, ఫైనైట్ స్టేట్ ఆటోమేటాన్), పొడక్ష రాల్లో ప ద యంత్రం (FSA)<sup>8</sup>. ఇది అభ్యాసాన్ని మినహాయించి, జ్ఞాపకశక్తిని, తార్కిక శక్తిని మేళవించే సరళ యంత్రం.

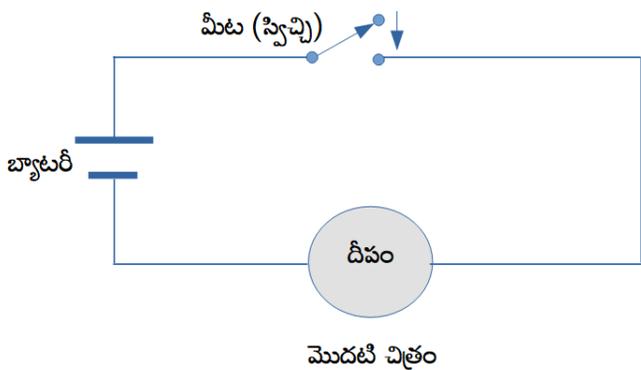
### పరిమిత దశా యంత్రం

ప ద యంత్రం ఎప్పుడు చూసినా ఏదో ఒక దశలో ఉంటుంది. (దశలంటే ఏమిటో క్రింది వివరణలో ఉదాహరణపరంగా చెప్పబడింది) ఆ దశలో ఉండగా ఎదురయ్యే ఇన్పుట్ ని బట్టి, మరే దశకి మారాలో తెలిపే నియమాలు ఉంటాయి. ఆ నియమాల ప్రకారం, ఎదురైన ఇన్పుట్ చూసుకుని మరో దశకి మారడమే పదయంత్రం పని.

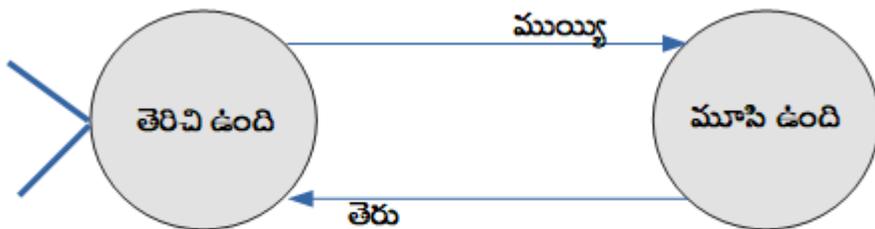
అందరికీ తెలిసున్న **దీపం మీట** (light switch)ని ఒక పదయంత్రంగా మనం భావించవచ్చు. **మొదటి చిత్రంలో** ఒక బ్యాటరీ, ఒక దీపం, వాటిని కలుపుతూ నడుమ స్విచ్చికలిగిన విద్యుత్ వలయం కనబడతాయి. చిత్రంలో బాణం గుర్తు ప్రకారం ఆ స్విచ్చిని కిందికి

<sup>8</sup> పరిమిత దశా యంత్రం అనే దానికి పొడక్ష రాలతో పదయంత్రం అనే పేరు కుదిరినా, భాషలో వాడే 'పదం' అనేదానికి ఈ 'పద' అనే పేరుకీ ప్రత్యక్ష సంబంధం ఏదీ లేదు. అయితే, ఈ రకం యంత్రాలని సాధారణంగా **యాంత్రిక భాషాగ్రహణం** (machine-based language understanding)లో పద విశ్లేషణలో ఉపయోగిస్తారు; ఇదో సరదా పుట్టించే యాదృచ్ఛికం మాత్రమే.

నొక్కితే (మూస్తే) వలయం పూర్తయి, విద్యుత్తు ప్రవహించి దీపం వెలుగుతుంది. స్విచ్ఛి పై స్థానానికి తెస్తే (తెరిచితే) వలయం భంగం అయి, విద్యుత్తు ప్రవాహం నిలిచిపోయి, దీపం ఆరిపోతుంది.



**రెండవ చిత్రం** స్విచ్ఛి పనితీరుని పదయంత్రం రూపంలో చూపిస్తుంది. స్విచ్ఛి అనే పదయంత్రానికి రెండు దశలు: “తెరిచి ఉంది,” “మూసి ఉంది” అనేవి. “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నప్పుడు “ముయ్యి” అనే ఇన్పుట్ వస్తే స్విచ్ఛి పదయంత్రం “మూసి ఉంది” అనే దశలోకి మారుతుంది. ఇప్పుడు “మూసి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్పుట్ వస్తే, “తెరిచి ఉంది” అనే దశలోకి తిరిగి వెళ్ళిపోతుంది.



**రెండవ చిత్రం: సాధారణ స్విచ్ఛి పదయంత్ర స్వరూపం**

ఈ పదయంత్రానికి, భౌతిక స్విచ్ఛికి గల సాపత్యం వేరే చెప్పక్కర్లేకుండానే తెలిసిపోతోంది. అందుక్కారణం ఒకటి మనం బోధనాసౌలభ్యం కోసం అతి సరళమైన సాధారణ స్విచ్ఛిని ఎన్నుకోడమైతే, మరో కారణం మనం ఈ పదయంత్రపు దశలకి తేలికగా తెలిసేలాగా “తెరిచి ఉంది,” “మూసి ఉంది” అనీ, ఇన్పుట్లకి “ముయ్యి,” “తెరు” అని పేర్లు పెట్టుకోడం. నిజానికి ఇలాంటి యంత్రాలు **బీజగణితపు అమూర్త శిల్పాలు** (abstract algebraic structures); వీటిని నేరుగా కంప్యూటరు కోడ్లోకి అనువదించి రాస్తారు. అంచేత ఈ దశలకి, ఇన్పుట్లకి A, B లాంటి అక్షరాలుగానీ, 0, 1, 2 లాంటి అంకెలుగానీ పెట్టుకున్నా గణితపరంగానూ, కంప్యూటరు పరంగానూ ఎలాంటి ఇబ్బంది ఉండదు.

**అదనపు వసతి: ఔట్పుట్**

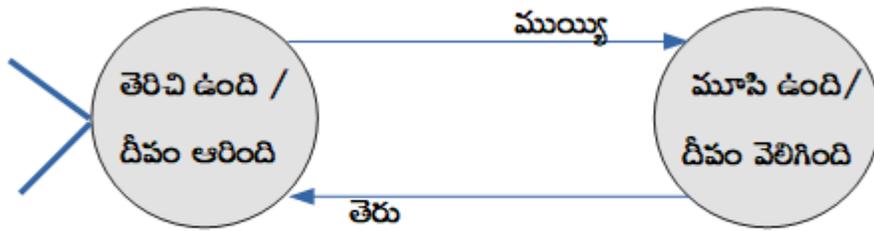
అయితే దీపం మాటేమిటి? పదయంత్రానికి ఒక చిన్న అదనపు వసతిని కలపవచ్చు – ఇన్పుట్ చూసుకుని దశ మారినప్పుడు కావాలంటే ఒక ఔట్పుట్ ని వెలువరించవచ్చు అన్నది. ఇప్పుడు “తెరిచి ఉంది” అనే దశనుంచి “మూసి ఉంది” అనే దశకి మారినప్పుడు “దీపం వెలిగింది” అనే ఔట్పుట్, మళ్ళీ స్విచ్ఛి తెరవబడి, “తెరిచి ఉంది” అనే దశకి చేరినప్పుడు “దీపం ఆరింది” అనే ఔట్పుట్ ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు. చిత్రం 3 లో దశ పేరు తరవాత ఏటవాల గీత గీసి ఆ దశ చేరినప్పుడొచ్చే ఔట్పుట్ చూపించబడింది.

దీపం స్థానంలో గంటని పెట్టుకుంటే, దీపానికి సంబంధించిన ఔట్ పుట్ ల బదులు “గంట మోగింది,” “గంట ఆగింది” అనే ఔట్ పుట్ లని ఏర్పాటు చేసుకోవచ్చు. స్విచ్ఛి పనితీరు మారదు, దాంతోబాటే స్విచ్ఛిని నిర్వచించే పదయంత్రపు తీరూను.

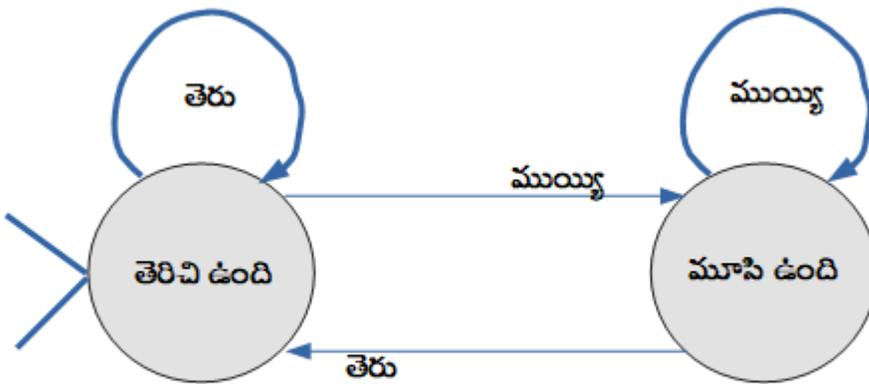
అదనపు వసతి: మార్పు కలిగించని ఇన్ పుట్

మరి “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్ పుట్ గానీ, అలాగే “మూసి ఉంది” అనే దశలో “ముయ్యి” అనే ఇన్ పుట్ గానీ వస్తే? తెరిచి ఉన్న స్విచ్ఛిని పైకి తోస్తే అది అలాగే తెరిచే ఉండిపోతుందనీ, అలాగే, మూసి ఉన్న స్విచ్ఛిని ఇంకా కిందికి నొక్కితే అది అలా మూసుకునే ఉండిపోతుందనీ మనకి తెలుసు.

రెండవ మూడవ చిత్రాలలో “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో “తెరు” అనే ఇన్ పుట్ గానీ, “మూసి ఉంది” అనే దశలో “ముయ్యి” అనే ఇన్ పుట్ గానీ చూపబడలేదు. అంటే ఆయా దశల్లో అయా ఇన్ పుట్ లవల్ల దశ మారదు అని అర్థం. కావాలంటే నాలుగవ చిత్రంలో మాదిరి దశమార్పిడి కలిగించని ఇన్ పుట్ లని సైతం చూపించవచ్చు.



మూడవ చిత్రం: ఔట్ పుట్ లతో సాధారణ స్విచ్ఛి పదయంత్రం



నాలుగవ చిత్రం: సాధారణ స్విచ్ఛి పదయంత్ర స్వరూపం, దశ మార్పిడి లేని ఇన్ పుట్ లతో

అదనపు స్వరూప సౌకర్యం: మాత్రికా స్వరూపం

అన్ని దశలలోనూ అన్ని ఇన్పుట్ల ప్రభావాన్ని—దశ మార్పిడి జరిగినా జరగకపోయినా—సమగ్రంగా పదయంత్రాన్ని చూపించడానికి **మాత్రికా స్వరూపం** (matrix or tabular form) ఒక అనువైన సాధనం. దశలని గుండ్రాలుగానూ, ఇన్పుట్లని బాణంములికిగల గీతలుగానూ గల బొమ్మగా చూపిస్తూ వచ్చిన 1 నుండి 4వ చిత్రాల పద్ధతికీ, 5వ చిత్రంలోని మాత్రికా స్వరూపానికి సూత్రప్రాయంగా వ్యత్యాసమేమీ లేదు. దశల సంఖ్య పెరిగే కొద్దీ బొమ్మ రద్దీ పెరిగి గజిబిజిగా అనిపించవచ్చు. మాత్రికా స్వరూపమైతే క్రమ పద్ధతిలో పెంచుకుపోవడానికి ఆస్కారం ఉంటుంది.

అయిదవ చిత్రంలో దశలు **అడ్డ వరసలు** (rows)గానూ, ఇన్పుట్లు **నిలువు స్తంభాలు**గానూ (కాలములు, columns) చూపించబడినాయి. అంటే ఒక్కోవరసా ఒక్కో దశ, ఒక్కో స్తంభం ఒక్కో ఇన్పుట్ అన్న మాట. దశల వరసలని పేర్చి, ఎడమచివర్న ఉన్న స్తంభంలో ఒక్కో దశ పేరూ సూచిస్తాము. అలాగే ఇన్పుట్లని నిలువుగా అన్ని, అన్నిటికంటా **పైనున్న వరసలో** (header, తలవరస) ఆ ఇన్పుట్ పేరు సూచిస్తాము.

ఇప్పుడు ఉదాహరణకు ఒక్క గడి తీసుకుందాం—మన యంత్రం ఇప్పుడు “మూసి ఉంది” అనే దశ లో ఉందనుకుందాం. అప్పుడు మనం అది ఉన్న వరసని ఎడమ చివరి స్తంభంలో వెతుక్కోవాలి. తర్వాత మనకివ్వబడిన ఇన్పుట్ “తెరు” అనుకుందాం. దాని స్తంభాన్ని ఆ వరసలో, “తెరు” అనే తలవరస కింద పట్టుకోవాలి. అందులో “తెరిచి ఉంది” అనే **ఆరోపం** (entry) ఉంది కదా అంటే “తెరిచి ఉంది” అనే దశకి మారాలన్న నిర్దేశం ఉంది. అలాగే ఇతర దశ మార్పు నిర్దేశాలూను.

	తెరు	ముయ్యి
> తెరిచి ఉంది	తెరిచి ఉంది	మూసి ఉంది
మూసి ఉంది	తెరిచి ఉంది	మూసి ఉంది

చిత్రం 5: మాత్రిక (table) స్వరూపంలో సాధారణ స్విచ్చి పదయంత్రం

జ్ఞాపకశక్తి, తార్కిక శక్తి

సాధారణ స్వచ్ఛిని చిత్రీకరించే ఈ పదయంత్రం అతి సరళమైనది. అయినా, ఇందులో తాను ఫలానా నిర్దిష్ట దశలో ఉన్నానన్న ఆత్మజ్ఞానం ఇమిడి ఉంది. అదే **జ్ఞాపకశక్తికి అణుస్థాయిమైన మూలాంకం** (an atomic-level element of memory). ఆ ఫలానా దశలో ఉండగా ఫలానా ఇన్పుట్ తారసపడితే ఒక నిర్దిష్టమైన దశకి (ఆ దశ తాను అప్పటికే ఉన్న దశే కావచ్చు) చేరుకోవాలన్న ఆదేశమే **తార్కిక శక్తికి ఓ అణుస్థాయి మూలాంకం** (an atomic-level element of logical processing).

అదనపు వసతి: ఆది దశ, దశలవారీ ఇన్పుట్ల మాలికల తరహాలు, శూన్యమాలిక

పదయంత్రం ఒక నిర్దిష్ట దశకి చేరిందంటే దానర్థం అది ఆ దశలో తనని దింపే ప్రత్యేకమైన తరహా **ఇన్పుట్ల మాలికని** (input string) చూసిందన్నమాట. ఈ మాలికకి ఒక మొదలు కలిగించాలంటే ఉన్న దశలో ఒకదాన్ని **ఆది దశ** (start state) గా నియమించుకోవాలి. అంటే యంత్రం అమర్చబడినప్పుడు అది ఆ ఆది దశలో జీవితం ఆరంభిస్తుందన్నమాట. స్వచ్ఛి అమర్చినప్పుడు అది తెరిచి ఉన్నట్టు. చిత్రాలు 2-4 లో దశ తాలూకు గుండ్రానికి ఎడం పక్క > తో సూచించాము. చిత్రం 5 లో ఆది దశని దశ పేరు మొదట్లో “>” గుర్తుతో సూచించాము.

ఔట్పుట్ల వసతి కల్పించాక ఇది మరో అదనపు వసతి. దీని సహాయంతో ఇప్పుడు మనం స్వచ్ఛి పదయంత్రపు రెండు దశలకీ వాటివాటి ప్రత్యేక తరహాల ఇన్పుట్ల మాలికలని జోడించవచ్చు. ఆది దశ అయిన “తెరిచి ఉంది” దశ మాటకొస్తే, “శూన్య” ఇన్పుట్ మాలిక కూడా ఆ దశతో జోడి అయి ఉంటుంది. “శూన్య” ఇన్పుట్ మాలిక అంటే, ఏ ఇన్పుట్ లేకపోయిన పక్షంలో ఆది దశలో ఉన్న పదయంత్రం అక్కడే ఉండిపోతుంది అని అర్థం. ఇలాంటి శూన్య ఇన్పుట్ని గ్రీకు అక్షరం ε (ఎప్పిలాన్) తో సూచిస్తారు. అంకెల్లో సున్నా ఎలాంటిదో, ఇన్పుట్ మాలికల్లో ఎప్పిలాన్ అలాంటిది. ఈ ఎప్పిలాన్ కలుపుకుంటే, మన రెండు దశలతో జోడి అయిన ఇన్పుట్ మాలికలు ఇలా ఉంటాయి:

“తెరిచి ఉంది” దశ: ε, తెరు-తెరు-తెరు- ..., ముయ్యి-తెరు-తెరు-..., తెరు-ముయ్యి-తెరు-తెరు-...

“మూసి ఉంది” దశ: ముయ్యి-తెరు-ముయ్యి-ముయ్యి-..., ముయ్యి-ముయ్యి-ముయ్యి-...,

ఈ మాలికల నమూనాలని గమనిస్తే, “తెరిచి ఉంది” దశకి చేర్చే మాలిక తప్పనిసరిగా ఎప్పిలాన్ (ε) అయినా అయి ఉండాలి, “తెరు” ఇన్పుట్ తో ఆఖరయ్యేదయినా ఉండాలి. అలాగే, “మూసి ఉంది” దశకి చేర్చే మాలిక ఎప్పటికీ ఎప్పిలాన్ (ε) అవ్వదు, ఎందుకంటే ఆ దశ ఆది దశ కాదుగనక. ఆ దశ తాలూకు మాలిక తప్పనిసరిగా “ముయ్యి” తో ఆఖరవ్వాలి.

ఇక్కడ మనం మాటవరసకి ఇన్పుట్ మాలిక “తెరు” తోనో, “ముయ్యి” తోనో “ఆఖరవ్వాలి” అంటున్నాగానీ, నిజానికి ఇప్పటిదాకా తయారు చేసుకున్న పదయంత్రం యొక్క ఇన్పుట్ మాలికలకి అంతం అంటూ ఉండదు. ఒకసారి అమర్చుకున్న భౌతిక స్వచ్ఛిని ఎన్నిసార్లైనా ముయ్యడం, తెరవడం, ఏ క్రమంలోనైనా చెయ్యచ్చు. మనం వాడిన “ఆఖరు ఇన్పుట్” అనే ప్రయోగానికి అసలు అర్థం “ఫలానా దశలోగనక పదయంత్రం ఉందంటే, అప్పటిదాకా కనబడ్డ ఇన్పుట్ మాలికలో చివరి ఇన్పుట్ ఫలానాది” అని. “తెరిచి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నామంటే, అప్పుడే ఎప్పిలాన్ (ε) గానీ, “తెరు” చివర్లగల మాలికనిగానీ చూసామన్నమాట. అలాగే “మూసి ఉంది” అనే దశలో ఉన్నామంటే, “ముయ్యి” చివర్లగల మాలికని చూసినట్టు. ఇలా అంతమంటూ లేకుండా సాగిపోగలిగే ఇన్పుట్ మాలికలకు బీజగణితంలో **అపరిమిత (unbounded) మాలికలని** పేరు.

అదనపు వసతి: అంత్యదశ, మిత నిడివి ఇన్పుట్ మాలికలు

దీన్ని బట్టి ఒక ఆలోచన తడుతుంది: స్విచ్చిల్లాంటివాటి పదయంత్రాలయితే సరే, అంతం లేకుండా అలా ఆడుతూ పోవడమే వాటికి తగిన సహజ భౌతిక లక్షణం. మరి వేరే రకం పదయంత్రాల ఇన్పుట్ మాలికలని ఒక నిడివిన తుంచెయ్యగలిగితే—అంటే పైన చెప్పుకున్నట్లు **అపరిమితాలు** కాకుండా **పరిమితాలు** (finite లేక bounded)<sup>9</sup> గా వాటిని చెయ్యగలిగితే—అలాంటి పదయంత్రాలతో సాధించగలిగే ఉపయోగకరమైన ప్రయోజనాలేవైనా ఉంటాయా?

ఇన్పుట్ మాలికని తుంచెయ్యడానికిగాను పదయంత్రపు ప్రణాళికలో ఇప్పుడున్న ఆది దశకి సమంగా అంత్యదశని ప్రవేశపెడితే సరిపోతుంది. పదయంత్రం అంత్యదశకి చేరుకోగానే అక్కడితో ఆగిపోతుంది. అంటే ఆ పైన ఇన్పుట్లని పట్టించుకోదు. అంతటితో ఇన్పుట్ మాలిక దానంతటదే తెగిపోతుంది. దాని నిడివి ఈ ప్రకారం పరిమితమవుతుంది. ఆ ఇన్పుట్ మాలికని అంత్యదశకి చేరిన పదయంత్రం **ఆమోదింపబడినది** (accepted) అవుతుంది.

### మరో మెట్టు: ఆమోదక పదయంత్రం (finite state acceptor)

అంత్యదశ కలిగి ఉండి, ఒక **నమూనా** (pattern) కి (క్రింది ఉదాహరణల్లో నమూనాలు అంటే ఎలా ఉంటాయో సూచించబడింది) లోబడే మిత ఇన్పుట్ మాలికని ఆమోదించి ఆగిపోయే పదయంత్రాలతో సరిపోయే ఔపయోగిక యంత్రాలు మనకి నిజజీవితంలో తారసపడుతూనే ఉంటాయి. ఉదాహరణకి:

- పెద్ద అక్షరంతో మొదలై, అక్షరాలూ, అంకెలూ, కనీసం ఒక ప్రత్యేక కారెక్టరూ కలిగి ఉండి, 7 నుంచి 20 కారెక్టర్ల నిడివి కలిగి ఉన్న పాస్వర్డుని ఆమోదించే యంత్రం (పాస్వర్డు తప్పొ బిచ్చో తేల్చే ముందు ఈ ఆమోద పరీక్ష అవసరం అవుతుంది). ఇక్కడ “ఆదిలో పెద్ద అక్షరం, ఎన్నో కొన్ని అక్షరాలూ, అంకెలూ, ‘#’ లాంటి ప్రత్యేక కారెక్టర్లూ ఉండాలి” అనేది ఒక నమూనా. ఇలాగే మరేదైనా నమూనా ఉండవచ్చు.
- కస్టమర్లతో సంభాషించి సంశయాలు తీర్చే బాతాఖానీ యంత్రాలు (చాట్ బాట్ లు) కస్టమర్ ప్రశ్నలనీ, వాటిలో పదాలనీ అర్థవంతాలుగా గుర్తించి ఆమోదించి, సంభాషణ ముగిసాక తామూ అంత్యదశకి చేరుకుని, ఆ పైన ఆగిపోతాయి. ఇక్కడ నమూనా, “పరిచయ వాక్యం, ఎన్నో కొన్ని సంభాషణ వాక్యాలు, వీడుకోలు వాక్యం” అనుకోవచ్చు.
- ఒక కథగానీ, కవితగానీ, కొన్ని నిర్ణీత నియమాలని, శిల్పాన్ని పాటిస్తున్నదా లేదా అని ఎలా చెప్పగలం? ఇటీవల మార్కెట్లో లభ్యం అవుతున్న కొన్ని ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ పరికరాలు ఒక కథను లేక కవితను తీసుకొని అందులోని పదాలను ఇన్పుట్ మాలికగా గ్రహించి అది నియమబద్ధమైనది అని ఆమోదమో లేక కాదని తిరస్కారమో తెలుపగలుగుతున్నాయి. ఇక్కడ ‘అనగా అనగా’ లాంటి నాందీపదం, ఆ పైన కథగా పనికొచ్చే ఎన్నో కొన్ని తెలుగు పదాల వరస, చివర్న ‘కథ కంచితీ’ అనే భరతవాక్యం—ఈ మాలికని నమూనాగా అనుకోవచ్చు.

పై ఉదాహరణలు కాస్త ఎక్కువ తక్కువగా సంక్లిష్టమైన యంత్రాలవి. వాటిని అర్థం చేసుకోవడంలో మొదటి మెట్టైన సరళభావకల్పనగా ఆమోదక పదయంత్రం పనికొస్తుంది.

### ఉదాహరణ: ఉత్పత్తి కథ

కథ ఉదాహరణ తీసుకుంటే, ‘అనగా అనగా’ అనే నాందీ పదానికీ, ‘కథ కంచితీ’ అనే భరతవాక్యానికీ మధ్యగా అనుబంధంలో ఇచ్చిన ‘చింటూ కోతి కథ’ లాంటిది ఉంటుందని ఊహించుకోవచ్చు. అలాంటి కథ **మధ్యభాగాన్ని** (body) ఆమోదించగలిగే యంత్రం బాగా సంక్లిష్టంగా, చాలా నియమాలు కలిగి ఉంటుంది. మన బోధనా సౌలభ్యంకోసం నాందీ పదాన్ని, భరతవాక్యాన్నీ ఉంచుకుని,

<sup>9</sup> ఇక్కడ ‘మితం’ అంటే, ‘అమితం కానిది’ అని అర్థం చేసుకోవాలి. అంతేకానీ, ఇన్పుట్ మాలిక ముందస్తుగా నిర్ధారించబడడం ఏదో ఒక నిడివి (మాటవరసకి 18 ఇన్పుట్ల మాలిక అనుకుందాం) కలిగి ఉంటుందని కాదు. యంత్రం ఇన్పుట్లని వరసగా స్వీకరిస్తూ ఎప్పుడో ఒకప్పుడు ఆగిపోతుంది, అప్పటిదాకా స్వీకరించిన ఇన్పుట్ల మాలిక అంతు, లేక సీమ కలిగి ఉంటుంది (మితమైనది).

మధ్యభాగపు నియమాలన్నీ తీసేసి, 'ఏవో తెలుగక్ష రాలుంటే చాలు' అన్న 'నియమం కాని నియమాన్ని' పెట్టుకుందాం. ఇలా కృత్రిమంగా సరళీకరించిన కథ నమూనాని 'ఉత్తుత్తి కథ' అందాము.

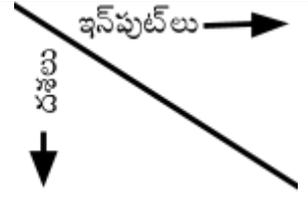
ఉత్తుత్తి కథ నియమాలు ఈ క్రింది ప్రకారంగా ఉంటాయి::

- “అనగా అనగా” ఇన్‌పుట్‌తో మొదలవ్వాలి.
- “కథ కంచికి” ఇన్‌పుట్‌తో ముగియాలి.
- “అనగా అనగా”కి, “కథ కంచికి”కి మధ్యగా ఒకటికి తగ్గకుండా సంఖ్యలో తెలుగక్ష రాలు ఉండాలి. ఏ అక్ష రాలైనా పరవాలేదు. (ఉత్తుత్తి కథే గనక కథకి అర్థం ఉండాలన్న నియమం లేదు.)

ఆరవ చిత్రం ఉత్తుత్తి కథని గుర్తించి ఆమోదించే ఆమోదక పదయంత్రాన్ని, మాతృక స్వరూపంలో చూపిస్తూంది. ఇందులో దశలు నాంది, మధ్య, భరతవాక్యం, తప్పుడు. అవి చెయ్యాలన్న పనులేవిటో పేర్లే చెప్పతున్నాయి. నాంది అనేది ఆది దశ కావటాన్న ఆ పేరు ముందు '>' గుర్తు ఉంది. భరతవాక్యం అనేది అంత్యదశ, అందువల్ల దాని పేరు చివర '>' ఉంది. దానికి మల్లనే తప్పుడు అనేది కూడా అంత్యదశే, పేరు చివర '>' కలిగింది. ఏదైనా దశ ఔట్‌పుట్ పంపే పక్షంలో అది సంబంధిత గడిలో ఏటవాలు గీతకి కుడిపక్కన చూపించబడింది. 'అవును', 'కాదు' అనే రెండే ఔట్‌పుట్‌లు సాధ్యం.

ఆది దశ ఒకటే ఉంటుంది, అంత్యదశలు మాత్రం ఎన్నైనా ఉండవచ్చు, ఈ ఉదాహరణలో మాదిరి రెండు ఉండచ్చు: ఒకటి ఆమోదానికి (అవును అనే ఔట్‌పుట్ పంపే భరతవాక్యం దశ), రెండోది తిరస్కారానికి (కాదు అనే ఔట్‌పుట్ పంపే తప్పుడు దశ) పనికొస్తుంది.

ఆమోదకం నాంది దశలో 'అనగా అనగా' కాకుండా మరే ఇన్‌పుట్ వచ్చినా తప్పుడు దశలోకి వెళ్ళిపోయి, 'కాదు' అనే ఔట్‌పుట్ పంపుతుంది. ఆ పైన ఆగిపోతుంది. 'అనగా అనగా' వస్తే మధ్య దశలోకి వెళ్ళి, ఆ పైన తెలుగక్ష రాలు ఎన్నొచ్చినా అన్నిటినీ భక్షిస్తూ అదే దశలో ఉండిపోయి, 'కథ కంచికి' ఇన్‌పుట్ కోసం ఎదురు చూస్తూంటుంది. ఈ దశలో 'అనగా అనగా' గనక వచ్చినట్లయితే, తప్పుడు దశలోకి వెళ్ళిపోయి, 'కాదు' అనే ఔట్‌పుట్ పంపి అంతటితో ఆగిపోతుంది. రావాల్సిన 'కథ కంచికి' వస్తే భరతవాక్యం దశకి వెళ్ళి, 'అవును' అనే ఔట్‌పుట్ పంపుతుంది.

	అనగా అనగా	తెలుగక్షరం ఏదైనా	కథ కంచికి
>నాంది	మధ్య	తప్పుడు / కాదు	భరతవాక్యం> / కాదు
మధ్య	తప్పుడు / కాదు	మధ్య	భరతవాక్యం> / అవును
భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం>	భరతవాక్యం>
తప్పుడు>	తప్పుడు>	తప్పుడు>	తప్పుడు>

**చిత్రం 6:** ఉత్పత్తి కథ ఆమోదక పదయంత్రం, మాతృక స్వరూపం

**మరో మెట్టు:** ఉత్పాదక పదయంత్రం (finite state generator)

ఇన్పుట్ గా వచ్చిన కథనం చదివి, అది కథగా ఆమోదయోగ్యమో కాదో తేల్చి చెప్పే ఆమోదక పదయంత్రాన్ని తిరగేసి వాడి, దానిచేత కథని ఉత్పత్తి చేయించడమూ సాధ్యమే. 'అవును', 'కాదు' అనే ఔట్పుట్లు పంపే బదులు ఆమోదకంలో ఇన్పుట్లుగా పనిచేసే కథనా శకలాలనే ఔట్పుట్లుగా పంపే విధంగా ఆమోదకాన్ని ఉత్పాదకంగా మార్చుకోవచ్చు.

**ఉదాహరణ:** ఔట్పుట్ గా ఉత్పత్తి కథ

ఏడవ చిత్రం ఉత్పత్తి కథని ఔట్పుట్ గా పంపే విధంగా మన ఆమోదకాన్ని ఉత్పాదకంగా మార్చి చూపిస్తూంది. ఈ ఉత్పాదకాన్ని నడిపించడానికిగాను 'ఇంకా కథ ఉంది', 'కథ అయిపోయింది' అనే రెండు ఇన్పుట్లని పెట్టుకుందాము. (వీటిని కథలని అర్థం చేసుకోగలిగే ఏదో సంక్లిష్టయంత్రం పంపుతుందని అనుకోవాలి, అదీ బోధనా సౌలభ్యంకోసమే.)

నాందితో మొదలెట్టి, 'ఇంకా కథ ఉంది' ఇన్పుట్ వస్తే, 'అనగా అనగా' ఔట్పుట్ పంపి, మధ్య దశలో, 'ఇంకా కథ ఉంది' అనే ఇన్పుట్ అందుతున్నంత సేపూ కథనాన్ని ఔట్పుట్ గా పంపుతూ అదే మధ్య దశలో ఉంటుంది. 'కథ అయిపోయింది' ఇన్పుట్ అందగానే 'కథ కంచికి' ఔట్పుట్ పంపి, భరతవాక్యం అంత్యదశలోకి వెళ్ళి ఆగిపోతుంది. ఆ దశలో మరి ఎటువంటి ఇన్పుట్ వచ్చినా అది 'తప్పు' అని ఔట్పుట్ పంపి, అదే దశలో ఉండిపోతుంది. (ఆ దశలోకి చేరాక యంత్రం పూర్తిగా ఆగిపోయింది అని కూడా అనుకోవచ్చు)

	<p>ఇంకా కథ ఉంది</p>	<p>కథ అయిపోయింది</p>
<p>&gt;నాంది</p>	<p>మధ్య / <b>అనగా అనగా</b></p>	<p>భరతవాక్యం&gt;</p>
<p>మధ్య</p>	<p>మధ్య / తెలుగక్షరం ఏదైనా</p>	<p>భరతవాక్యం&gt; / <b>కథ కంచికి</b></p>
<p>భరతవాక్యం&gt;</p>	<p>భరతవాక్యం&gt; / <b>తప్పు</b></p>	<p>భరతవాక్యం&gt; / <b>తప్పు</b></p>

**చిత్రం 7:** ఉత్తుత్తి కథ ఔట్పుట్ గా పంపే ఉత్పాదక పదయంత్రం, మాత్రిక స్వరూపం

## పదయంత్రానికి ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధకీ మధ్య అంతరం

చాలా సంక్లిష్టమైన ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ యంత్రాలని తెలుసుకునే యత్నం చాలా సరళమైన పదయంత్రాన్ని తొలి మెట్టుగా తీసుకుని మొదలు పెట్టాము. సూత్రప్రాయంగా ఇలాంటి పదయంత్రాలని పెద్దఎత్తున మోహరించి ఉత్పాదక కృత్రిమమేధయంత్రం లాంటిదేదో తయారు చెయ్యచ్చేమో అని అనిపించవచ్చు. కానీ అది ఆచరణీయం కాదు. అంత ఎత్తున కోట్ల సంఖ్యలో పదయంత్రాలని తయారు చేసి, నడిపించి నియంత్రించడం **స్కేలింగు** (scaling) కోవ సమస్యలని ముందుకు తెచ్చి ఈ పనిని దాదాపు అసాధ్యం (కాకపోయినా ఆర్థికంగా ఎవరూ మోయలేని భారం అవుతుంది) అయేటట్లు చేస్తుంది.

స్కేలింగ్ అంటే? నలుగురికి వంట చెయ్యడం సులభం. కానీ ఏ నలభై మందికో, నాలుగు వేల మందికో చెయ్యమంటే వచ్చే సమస్యలకు **స్థాయి పెంచటం** (scaling) సమస్యలని పేరు.

ఇదే కాకుండా పదయంత్రాలు జ్ఞాపకశక్తిని, తార్కికశక్తిని చిన్న ఎత్తున సాధించగలవుగానీ, అభ్యాస శక్తికి ఇవి పనికి రావు. పదయంత్రాలతో ఉత్పాదక కృత్రిమ మేధని సాధించాలంటే, అభ్యాసశక్తిని అందించే వేరే సంక్లిష్ట యంత్రాలను తప్పనిసరిగా వాడవలసి ఉంటుంది.

ఇరవయ్యో శతాబ్దం తుదిభాగంలో అభివృద్ధి చెయ్యబడి, ప్రస్తుతయుగంలో బాగా వాడుకలోకి వచ్చిన **కృత్రిమ నాడీ కణజాలాలు** (artificial neural networks) అభ్యాసశక్తిని, జ్ఞాపకశక్తిని, తార్కికశక్తిని, పనికొచ్చే తీరుగా మేళవించగలుగుతున్నాయి. స్కేలింగు కోవ సమస్యలు కూడా నిభాయించుకోగలిగే స్థాయిలోనే ఉంటున్నాయి.

కృత్రిమ నాడీ కణజాలాలూ పదయంత్రాల మాదిరిగానే అమూర్త బీజగణిత శిల్ప స్వరూపాలు; కానీ వీటి సంక్లిష్టత పదయంత్రాలతో పోలిస్తే చాలా ఎక్కువ. వీటితో తలపడటానికి పదయంత్రాలే మొదటి మెట్టు.

నూటపాతికేళ్ళనాడు రైల్వే సోదరులు అందుబాటులో ఉన్న సరళభావకల్పనలతో ఆరంభించి, శ్రద్ధ పెట్టి, శ్రమకోర్చి, ఓటములను పాఠాలుగా తీసుకుని ఒక్కొక్క మెట్టే ఎక్కి విమానయానానికి నాంది పలికారు. అదే మార్గాన్ని అవలంబించిన అనేక తరాల ఇంజనీర్లు కృషిచేసి, ఆధునిక జెట్ విమాననౌకల సంక్లిష్టతని జయించి, అద్భుతయంత్రాలని అతిసాధారణాలు అనిపించేలా వెలయించారు.

వాటికన్నా ఎన్నో రెట్లు సంక్లిష్టాలనడగిన ఉత్పాదక కృత్రిమమేధ పరికరాలయినా అంతే, వాటిని ఎవరికి నప్పనరీతిలో వాళ్ళు అర్థం చేసుకోవడానికి అధిగమించలేని అడ్డంకులేమీ లేవని - సూత్రప్రాయంగానైతేనేమి - చెప్పవచ్చు. ప్రస్తుత వ్యాసంలో ఆ యంత్రాల గురించిన అవగాహన సాధించడానికి కావలసిన మొదటి మెట్టు చూసాము. చాలా సరళమైన స్విచ్చితో మొదలెట్టి, పద యంత్రానికి చిన్న ఎత్తైన అదనపు వసతులని ఒకటొకటిగా కూర్చి, యంత్ర సంక్లిష్టతనీ, దాని ప్రయోజనాల పరిధినీ - చాలా చిన్న ఎత్తులోనైతేనేమి - విస్తరించగలగడం చూసాము. ఆకాశహర్యనిర్మాణం లాంటి యత్నానికి ఇదొక చిన్న పునాదిరాయి.

## అనుబంధం: జెమినీ చెప్పిన కథ

**ఉపయోగకర్త:** ఓ చిన్న పిల్లల కథ చెప్పు.

**జెమినీ:**

**అనగాఅనగా** ఒక ఊరిలో ఒక బుజ్జి కోతి ఉండేది. దాని పేరు చింటూ. చింటూ చాలా అల్లరిది, ఎప్పుడూ ఒకచోట ఉండకపోయేది. ఒకరోజు అది అడవిలో తిరుగుతూ ఉన్నప్పుడు, దాని కాలికి ఒక ముల్లు గుచ్చుకుంది.

ఆ నొప్పి భరించలేక చింటూ "అయ్యో! నా కాలికి ముల్లు గుచ్చుకుంది, ఎవరైనా సాయం చేయండి!" అని అరుస్తూ ఒక మంగళి దగ్గరికి వచ్చింది. మంగళి కోతిని చూసి జాలిపడి, దాని కాలిలో ఉన్న ముల్లను మెల్లగా తీసేశాడు. ముల్లు తీసిన తరువాత, చింటూ మంగళికి కృతజ్ఞతలు చెప్పి, అక్కడినుండి వెళ్ళిపోతూ మంగళి కత్తిని తీసుకుని పారిపోయింది.

కొంత దూరం వెళ్ళాక, అది ఒక వడ్రంగిని చూసింది. ఆ వడ్రంగి తన పని చేసుకుంటూ ఉన్నాడు. చింటూ ఆ వడ్రంగితో, "నా దగ్గర మంచి కత్తి ఉంది, నీ కత్తితో దీనిని మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది. వడ్రంగి సంతోషంగా ఒప్పుకుని తన పనిముట్లు ఇస్తుంటే, చింటూ తన కత్తిని అక్కడే వదిలేసి, వడ్రంగి పనిముట్లు తీసుకుని పారిపోయింది.

మళ్ళీ కొంతదూరం వెళ్ళాక, ఒక అమ్మాయి బొమ్మల పెళ్ళి చేస్తున్నది. చింటూ ఆ అమ్మాయిని చూసి, "నా దగ్గర మంచి పనిముట్లు ఉన్నాయి, నీ బొమ్మలతో వీటిని మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది. ఆ అమ్మాయికి బొమ్మల పెళ్ళికి పనిముట్లు కావాలి కాబట్టి, సంతోషంగా మార్చుకుంది. చింటూ బొమ్మలను తీసుకుని పారిపోయింది.

ఇలాగే చింటూ ఒక దాని తర్వాత ఒకటి తీసుకుని మార్చుకుంటూ పోయింది. చివరగా అది ఒక పక్షి దగ్గరికి వచ్చింది. ఆ పక్షి ఒక చిన్నపాట పాడుతూ ఉన్నది. చింటూ ఆ పక్షితో "నీ పాటతో నా బొమ్మలను మార్చుకుంటావా?" అని అడిగింది.

పక్షి పాడటం మానేసి, "నా పాట డబ్బుల కోసం కాదు, కేవలం సంతోషం కోసమే" అని చెప్పింది. అప్పుడు చింటూ తన తప్పు తెలుసుకుంది. తను చేసిన అల్లరి వల్ల ఎవరికీ సంతోషం కలగలేదని అర్థం చేసుకుంది. వెంటనే చింటూ, తాను తీసుకున్న వస్తువులన్నీ వాటి యజమానులకు తిరిగి ఇచ్చేసింది. అప్పటి నుండి చింటూ అల్లరి చేయడం మానేసి, అందరితో స్నేహంగా మెలిగింది.

నీతి: అల్లరి పనుల వల్ల వచ్చే లాభం ఏమీ ఉండదు. మంచిగా ఉంటేనే అందరూ ప్రేమిస్తారు.

**కథ కంచికి.**

\*\*\*

=====

శ్రీ కొచ్చెర్లకోట బాపారావు గారు ఐ టి మద్రాస్ నుండి ఎలక్ట్రానిక్స్ ఇంజనీరింగులో పట్టభద్రులు. అమెరికాలో దక్షిణ కాలిఫోర్నియా విశ్వవిద్యాలయంలో Ph.D. పొందారు. వృత్తిరీత్యా కంప్యూటర్ సాఫ్ట్వేర్ ఇంజనీరు. విద్యాబోధన, చరిత్ర, సంస్కృతి, సారస్వతం వీరి అభిరుచులు. ప్రస్తుత నివాసం కాలిఫోర్నియా రాష్ట్రంలోని లాస్ ఏంజలీస్ నగరంలో.

=====

